



MARCELO RODRIGUES

**CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS
DECOPO-DE-LEITE EM FUNÇÃO DE GRAUS-
DIA DEDESENVOLVIMENTO**

LAVRAS-MG

2012

MARCELO RODRIGUES

**CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE COPO-DE-LEITE EM
FUNÇÃO DE GRAUS-DIA DE DESENVOLVIMENTO**

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

Orientadora
Dra. Patrícia Duarte de Oliveira Paiva

LAVRAS-MG
2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Rodrigues, Marcelo.

Crescimento e trocas gasosas de copo-de-leite em função de
graus-dia de desenvolvimento / Marcelo Rodrigues. – Lavras :
UFLA, 2012.

84 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Patrícia Duarte de Oliveira Paiva.

Bibliografia.

1. *Zantedeschia aethiopica*. 2. Planta ornamental. 3. GDD. 4.
Ecofisiologia vegetal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 584.6404334

MARCELO RODRIGUES

**CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE COPO-DE-LEITE EM
FUNÇÃO DE GRAUS-DIA DE DESENVOLVIMENTO**

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

APROVADA em 17 de maio de 2012

Prof. Dr. João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa

UFLA

Prof. Dra. Fernanda Carlota Nery

UFSJ

Prof. Dr. Paulo Roberto Corrêa Landgraf

UNIFENAS

Pesq. Dra. Elka Fabiana Aparecida Almeida

EPAMIG

Prof. Dra. Patrícia Duarte de Oliveira Paiva
(Orientadora)

LAVRAS-MG
2012

OFEREÇO

Ao Deus vivo e verdadeiro...

“Porque por vós soou a palavra do Senhor, não somente na Macedônia e Acáia, mas, também, em todos os lugares, a vossa fé para com Deus se espalhou de tal maneira, que já dela não temos necessidade de falar coisa alguma. Porque eles mesmos anunciam de nós qual a entrada que tivemos para convosco, e como dos ídolos vos convertestes a Deus, para servir o Deus vivo e verdadeiro. E esperar dos céus o seu Filho, a quem ressuscitou dos mortos, a saber, Jesus, que nos livra da ira futura”.

(Carta do apóstolo Paulo aos I Tessalonicenses 1:8-10)

DEDICO

A minha querida esposa Pricila Maria Vieira Reis Rodrigues pelo carinho, paciência e dedicação durante esse processo de aprendizagem e cumprimento de mais uma etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar ao Autor da vida, Cristo Jesus, minha maior fonte de motivação em tudo o que faço.

Aos meus queridos pais Marcos Rodrigues e Marina Rodrigues, pelo grande amor, incentivo e pela confiança que depositam em minha vida.

A minha orientadora professora Dr. Patrícia Duarte de Oliveira Paiva, que me ajudou a crescer profissionalmente com novas ideias e oportunidades.

Ao coorientador professor Dr. João Paulo R.A.D Barbosa pela amizade e parceria incondicional. Obrigado pela disposição em sempre auxiliar na condução e sustentação deste trabalho.

Aos demais membros da banca, professores: Fernanda Carlota Nery, Paulo Roberto Corrêa Landgraf e a pesquisadora Dr. Elka Fabiana Aparecida Almeida, pelo grande apoio e colaboração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Biologia (DBI) e ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pela excelência e qualidade de ensino, contribuindo de modo efetivo em minha formação.

A todos meus amigos e colegas de trabalho do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da UFLA que me auxiliaram nesta caminhada para conclusão deste trabalho.

Deixo minha infinita gratidão a todos; Deus vos abençoe muitíssimo e prospere vossos caminhos.

“Portanto, dai a cada um, o que deveis: a quem tributo, tributo; a quem imposto, imposto; a quem temor, temor; a quem honra, honra”.
(Carta do apóstolo Paulo aos Romanos 13:7)

BIOGRAFIA

MARCELO RODRIGUES, filho de Marcos Rodrigues e Marina Rodrigues, nasceu no dia 29 de julho de 1982, na cidade de São José do Rio Preto, estado de São Paulo, Brasil. Ingressou no curso Bacharel em Ciências Biológicas na Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 2003, concluindo o mesmo em 2007, quando apresentou a monografia de conclusão do curso “Aspectos da germinação e calogênese *in vitro* de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.)” com auxílio financeiro de bolsa de iniciação científica do (CNPq). Atuou no ensino como professor titular da disciplina de Biologia do curso pré-vestibular (PRÉ-UNI), no período de 2004 a 2007. Participou em projeto de extensão como membro do corpo de implantação de curso pré-vestibular para alunos carentes de Lavras e região, em parceria com a (PRAECC-UFLA) e prefeituras locais. Foi membro da comissão organizadora do Núcleo de Estudos em Fisiologia Vegetal (NEF-UFLA) em 2006. Em fevereiro de 2008, ingressou no programa de pós-graduação mestrado, *stricto sensu*, em Botânica da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em julho de 2009, quando apresentou a dissertação “Morfogênese *in vitro*”, análise fitoquímica e caracterização anatômica de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) com auxílio financeiro do (CNPq). Em agosto de 2009, ingressou no programa de pós-graduação doutorado, *stricto sensu*, em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (UFLA), concluindo-o em maio de 2012, com auxílio financeiro do (CNPq). Foi Coordenador Técnico Científico do Núcleo de Estudos em Fisiologia Vegetal (NEF-UFLA) no período de 2010 a 2011. Durante o ano de 2011 foi professor voluntário da disciplina de Biologia Geral e Botânica do Departamento de Biologia (UFLA).

RESUMO GERAL

O copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) é uma planta ornamental com crescente aceitação no mercado brasileiro e apresenta restrições térmicas para seu cultivo. Objetivou-se estudar seu ciclo biológico em graus-dia de desenvolvimento (GDD), para caracterizar a melhor época de plantio e produção vegetal. Rizomas foram plantados individualmente, no outono e inverno, em vasos e mantidos em casa de vegetação. Mensalmente, foram avaliadas características fitotécnicas e taxas de trocas gasosas. Os resultados foram submetidos à análise de regressão e as curvas tiveram ajuste sigmoidal, polinomial ou exponencial. Mudanças plantadas no outono apresentaram maior desenvolvimento da parte aérea, do sistema radicular e produção de hastes florais, permanecendo maior tempo na fase vegetativa antes do início do florescimento, atingindo menor GDD. Já as mudas plantadas no inverno sofreram maturação precoce ao acumular maior GDD e menor produção de hastes florais. Mudanças de copo-de-leite plantadas no outono apresentaram: maior eficiência do uso da água; maior eficiência do uso da luz; maior taxa de fotossíntese líquida e maior densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos. O plantio de inverno apresentou maior taxa de transpiração, devido a maiores valores de temperatura e GDD. Sendo possível caracterizar os estágios de desenvolvimento de acordo com as trocas gasosas. O copo-de-leite necessita ser cultivado com irradiância entre 250 a 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, temperaturas entre 25 a 30° C na fase inicial de crescimento até atingir 1000 GDD, seguido de redução da temperatura entre 10 a 15° C até atingir 3500 GDD, possibilitando maior produção de hastes florais.

Palavras-chave: *Zantedeschia aethiopica*. Floricultura. GDD.

ABSTRACT

The calla lily (*Zantedeschia aethiopica*) is an ornamental plant with growing acceptance in the Brazilian market, and present thermal restrictions for its cultivation. The objective was to study its biological cycle in degree-days development (GDD) to characterize the best time for planting and vegetable production. Rhizomes were planted individually in the autumn and winter, in pots and kept in a greenhouse. Monthly, phytotechnical characteristics and gas exchange rates were evaluated. The results were submitted to regression analysis and the curves had sigmoidal fit, polynomial or exponential. Seedlings planted in the autumn showed greater development of the shoot, root and floral stem production, staying longer in the vegetative phase before to start flowering and reaching lower GDD. While the seedlings planted in winter suffered early maturation to accumulate higher GDD and lower floral stem production. Calla lily seedlings planted in autumn showed: higher efficiency of water use, more efficiency light use, the greater rate of net photosynthesis and higher density of active photosynthetic photon flux. The winter planting had higher transpiration rate due a higher temperature values of GDD. Being able to characterize the development stages according to gas exchange. The calla lily needs to be cultivated with irradiance between 250-450 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, temperatures between 25-30 °C in the initial growth phase until achieve 1000 GDD, followed reduction of the temperature between 10-15 °C until achieve 3500 GDD enabling higher floral stem production.

Keywords: *Zantedeschia aethiopica*. Floriculture. GDD.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Introdução geral.....	10
1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Descrição da espécie e suas propriedades ornamentais.....	13
2.2	Cultivo de copo-de-leite (<i>Zantedeschia aethiopica</i>).....	13
2.3	Temperatura e crescimento de plantas.....	14
2.4	Temperatura e metabolismo de plantas.....	16
2.5	Modelo de graus-dia de desenvolvimento (GDD).....	17
	REFERÊNCIAS.....	21
	CAPÍTULO 2 Crescimento vegetativo de copo-de-leite em função de graus-dia de desenvolvimento.....	27
	RESUMO.....	28
	ABSTRACT.....	29
1	INTRODUÇÃO.....	30
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3	RESULTADOS.....	35
4	DISCUSSÕES.....	47
5	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	CAPÍTULO 3 Características de trocas gasosas de copo-de-leite em função de graus-dia de desenvolvimento.....	56
	RESUMO.....	57
	ABSTRACT.....	58
1	INTRODUÇÃO.....	59
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3	RESULTADOS.....	64
4	DISCUSSÕES.....	75
5	CONCLUSÕES.....	81
	REFERÊNCIAS.....	82

CAPÍTULO 1
Introdução Geral

1 INTRODUÇÃO

A floricultura abrange o cultivo de plantas ornamentais e flores que por sua vez podem ser divididas em flores para corte e flores de vaso (LANDGRAF; PAIVA, 2009). Abrange também a produção de plantas envasadas e produção de sementes. As principais espécies de flores tropicais comercializadas no Brasil pertencem às famílias Araceae, Heliconiaceae, Musaceae e Zingiberaceae (ALMEIDA et al., 2009; ASSIS et al., 2002).

De modo geral essas plantas são herbáceas, rizomatosas, caracterizadas por suas flores de cores e formas variadas, utilizadas para ornamentação de ambientes ou jardins (ASSIS et al., 2002; LAMAS, 2002; REIS, 2009). Dentre essas se destaca o copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) da família Araceae, originário do sudoeste da África, que possui hábito herbáceo, com ciclo de vida do tipo perene (ALMEIDA; PAIVA, 2005; BLOOMZ, 2011).

O aumento da produtividade do copo-de-leite está relacionado com a disponibilidade de água, irradiância e temperaturas ótimas de cultivo (BANZATTO; KRONKA, 2006). Seu florescimento ocorre em temperaturas amenas durante o ano, preferencialmente no inverno (ALMEIDA; PAIVA, 2005; BLOOMZ, 2011), ou seja, existe uma dependência intrínseca das condições ambientais e climáticas para gerar flores e mudas de qualidade que permitam sua inserção no mercado consumidor. A temperatura é uma característica climática fundamental neste processo por auxiliar na modulação do crescimento de copo-de-leite de acordo com a época de cultivo (FUNNELL et al., 1998, 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

Em decorrência do aquecimento do ar é de suma importância o conhecimento das implicações da temperatura no crescimento, desenvolvimento e metabolismo de copo-de-leite. Modelos de projeções do clima têm sugerido que esse aumento pode chegar até 5,8 °C no final do século XXI, o que poderia

causar sérios danos ao cultivo da espécie em estudo (ALBERT et al., 2011; IGLESIAS-ACOSTA et al., 2010; KIM et al., 2007).

Na maioria dos estudos bioclimáticos, a temperatura média do ar tem sido avaliada por ser o principal fator que interage com a radiação, pois a relação entre essas duas variáveis é diretamente proporcional. Quanto mais quente for um corpo, maior será sua luminosidade emitida com menores comprimentos de onda, portanto mais energética (SALAZAR-PARRA et al., 2012).

A temperatura pode ser expressa em somatório térmico ou graus-dia de desenvolvimento (GDD), o qual tem sido usado para estimar a quantidade exigida de tempo biológico para o crescimento e maturação de órgãos vegetativos e reprodutivos de plantas (SALAZAR-PARRA et al., 2012; VILLANOVA et al., 1972). Há pouca pesquisa que tratam do cultivo da espécie *Zantedeschia aethiopica* em função das condições climáticas e diferentes épocas de plantio, assim como, estudos de trocas gasosas foliares para sua produção.

Dessa forma objetivou-se avaliar o crescimento e trocas gasosas de copo-de-leite em função do acúmulo de graus-dia de desenvolvimento nas estações de outono e inverno. Ainda, objetivou-se por meio de análise de regressão, obter ajustes que pudessem ser empregados para explicar a melhor época de plantio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Descrição da espécie e suas propriedades ornamentais

O copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) também pode ser conhecido como cala-branca, lírio-do-nilo ou jarra. Essa espécie caracteriza-se por suas aplicações no setor de paisagismo e ornamentação (ALMEIDA et al., 2007, 2009; ALMEIDA; PAIVA, 2005).

Na sua forma nativa ocorre em terrenos úmidos ou na margem de lagos. Possui folhas verdes, de aspecto brilhante, com hábito de crescimento formando uma touceira (ALMEIDA; PAIVA, 2005). A inflorescência é formada pela espata de coloração branca, protegendo a espádice, que possui coloração amarela, sendo a parte superior formada pelas flores masculinas e a parte inferior por flores femininas (ALMEIDA; PAIVA, 2005; LEKAWATANA; PITUCK, 1998; SALINGER, 1991).

No estado de Minas Gerais, a região Centro-Sul apresenta características favoráveis para o cultivo da espécie, com presença de pequenos produtores que comercializam as inflorescências em cidades próximas ao local de cultivo. As flores surgem após 60 a 120 dias do plantio. O comprimento das hastes florais do copo-de-leite pode variar de 45 a 60 cm (ALMEIDA et al., 2007, 2009; ALMEIDA; PAIVA, 2005).

2.2 Cultivo de copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*)

A espécie deve ser cultivada em grupos para melhor valorização de seu efeito paisagístico, principalmente em locais úmidos, como margens de lagos e espelhos d'água. O plantio em vasos também pode ser utilizado. O cultivo pode ser feito a pleno sol ou meia-sombra, em solos úmidos e ricos em matéria orgânica, onde ocorre a multiplicação por divisão das touceiras após a floração (ALMEIDA et al., 2007; ALMEIDA; PAIVA, 2005).

Quando cultivado à meia sombra, a espécie deve receber no mínimo quatro horas diárias de luz solar. O excesso de umidade pode ser prejudicial à planta, pois contribui para o aparecimento de bactérias, fungos, provocando a murcha e podridão do rizoma (ALMEIDA et al., 2007; ALMEIDA; PAIVA, 2005). A temperatura ideal para o crescimento e desenvolvimento de copo-de-leite varia entre 16°C e 22°C (SALINGER, 1991).

O ponto de colheita é determinado quando os botões florais iniciam a abertura ou quando a espata se encontra expandida e geralmente as flores são comercializadas em maços. Depois de colhida, a durabilidade média das hastes florais de copo-de-leite é de cinco dias, sendo que a temperatura para um melhor armazenamento deve ser de 4 a 5 °C, por um período de até quatro dias (ALMEIDA et al., 2007, 2009; ALMEIDA; PAIVA, 2005).

Em período de senescência das hastes florais de copo-de-leite, sinais de perda de qualidade são evidentes, tais como o escurecimento e perda de turgescência da espata, flores opacas, enrolamento da ponta da espata e necrose dos tecidos (ALMEIDA et al., 2007, 2009; ALMEIDA; PAIVA, 2005).

2.3 Temperatura e crescimento de plantas

A temperatura influencia diretamente o crescimento e desenvolvimento vegetativo das plantas, bem como a fase reprodutiva. Cada etapa ou fase de desenvolvimento é ajustada dentro de uma faixa de temperatura, na qual o crescimento ótimo é alcançado, desde que outras condições como disponibilidade de água e irradiância não sejam limitantes (LAISK et al., 2005).

O aumento da temperatura pode provocar diversas modificações durante o crescimento de plantas, modificando aspectos morfológicos (GIAVENO; FERRERO, 2003), anatômicos (ZHANG et al., 2005), fisiológicos, bioquímicos, mudança nas relações hídricas (MORALES et al., 2003), alterações hormonais (MAESTRI et al., 2002) e modificações moleculares (XU; BELANGER;

HUANG, 2008). Em culturas tais como cevada, algodão e pimenta, tem sido observado o aumento na condutância hidráulica da raiz em resposta ao aumento de temperatura, tendo implicações diretas no crescimento e desenvolvimento dessas espécies (CABAÑERO; MARTÍNEZ; CARVAJAL, 2004).

Para cultura de cânhamo tem-se estudado as implicações da temperatura associadas ao fotoperíodo no processo de crescimento pós-emergente, possibilitando a criação de modelos paramétricos para explicar as fases de desenvolvimento até a floração. Nessa abordagem foi quantificado o crescimento em graus-dia de desenvolvimento (GDD) durante o ciclo de vida da planta, aplicando períodos de luz e temperaturas ótimas de cultivo (AMADUCCIA et al., 2008).

O crescimento de várias espécies é tipicamente adaptado à temperatura de seus respectivos ambientes naturais (YANG; LOGAN; COFFEY, 1995). A resposta do desenvolvimento vegetal à temperatura pode ser definida por três temperaturas cardeais: temperatura mínima, ótima e máxima (STRECK, 2004).

Muitos dos processos fisiológicos nas plantas ocorrem com temperaturas entre 0 e 40 °C. Em espécies de zona temperada a divisão e a expansão celular dos órgãos vegetativos iniciam-se antes da temperatura atingir 10 °C; já em plantas tropicais esse crescimento não ocorre abaixo de 12 a 15 °C. A temperatura ótima na qual o crescimento se processa mais rapidamente em plantas tropicais e subtropicais situa-se entre 30 e 40 °C. Para as demais espécies entre 15 e 30 °C (LAISK et al., 2005).

Temperaturas ótimas para o cultivo de determinada espécie pode mudar de acordo com as fases de crescimento e estágios de desenvolvimento. De modo geral, a temperatura ótima diminui de acordo com o desenvolvimento da planta. Durante o período de propagação, as temperaturas devem ser maiores em relação à fase de produção (AMUTHA et al., 2007).

2.4 Temperatura e metabolismo de plantas

As diferentes faixas de temperatura possuem correlação direta com níveis de irradiância que podem alterar a eficiência metabólica das plantas. A assimilação de CO₂ em plantas com metabolismo do tipo C₃ é máxima na faixa de 15 a 30 °C, enquanto em plantas com metabolismo do tipo C₄ essa máxima é atingida entre 30 e 40°C (SAGE; KUBIEN, 2003, 2007; SALAZAR-PARRA et al., 2012).

Em períodos com temperaturas mais elevadas, a fotossíntese líquida passa a ser limitada pela taxa de regeneração de ribulose ou de fosfoenolpiruvato em plantas C₃ e C₄ respectivamente. A taxa de fotossintético pode sofrer ação direta de diferentes faixas de temperatura e indireta da concentração de CO₂ atmosférica, mesmo em planta com metabolismo do tipo C₄ durante crescimento e desenvolvimento (KIM et al., 2007).

Os efeitos da temperatura sobre a fotossíntese também têm sido investigados em várias plantas com metabolismo do tipo C₃ (VU et al., 1997). A principal razão descrita para plantas C₃, quando cultivadas em temperaturas mais elevadas, foi a redução da taxa de fotorrespiração e aumento da fotossíntese líquida até determinado ponto de compensação (LONG et al., 2004).

Com o aumento progressivo da temperatura até atingir o ponto ótimo, há aumentada condutância estomática e taxa de transpiração em plantas. Isso ocorre em virtude da maior difusividade dos gases no mesofilo, podendo provocar maior eficiência metabólica (GRACE, 2006; SAGE; KUBIEN, 2007).

Sendo assim, a quantidade de carbono atmosférico, a temperatura do ar e a irradiância estão entre as mais importantes variáveis ambientais que regulam processos fisiológicos e fenológicos em plantas. A temperatura e a irradiância influenciam diretamente os processos metabólicos como a respiração celular, a transpiração, a fotossíntese líquida, a condutância estomática, a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos e na eficiência dos

fotossistemas (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998; LONG et al., 2004; SAGE; KUBIEN, 2007; SALAZAR-PARRA et al., 2012).

As condições climáticas também influenciam nas fases de desenvolvimento e no ciclo biológico das plantas (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998; LONG et al., 2004). Portanto, o estudo das trocas gasosas em folhas do copo-de-leite, em função das condições ambientais, pode auxiliar na determinação da escolha da melhor época de plantio e produção.

2.5 Modelo de graus-dia de desenvolvimento (GDD)

O primeiro estudo quantitativo para explicar a relação do crescimento de vegetais em função da temperatura, foi realizado pelo francês René Antoine Ferchault de Réaumur em 1735. O pesquisador observou que o somatório da temperatura do ar era praticamente constante para completar o ciclo de desenvolvimento de várias espécies em diferentes anos. Além disso, Réaumur definiu graus-dia de desenvolvimento (GDD) como sendo a temperatura média do dia, suficiente para estimular o crescimento da planta (ALBERT et al., 2011; STRECK, 2004).

Este modelo apresenta-se matematicamente como um sistema linear e, por sua simplicidade de medições e formalismo, é amplamente utilizado para prever o crescimento de várias culturas com base na temperatura do ar possibilitando: estimar a duração de estágios de desenvolvimento vegetal; escolher a época de plantio; determinar prováveis datas de colheita; prever uma produção irregular além de ser útil em programas de melhoramento genético (STENZEL et al., 2006; THOMPSON et al., 2011).

Após o conceito e formalismo descrito por Réaumur, outros métodos de modelagem com unidades de temperatura foram criados para auxiliar no cultivo de plantas comerciais (MCMASTER; WILHELM, 1997). No método original de Réaumur a constante térmica é calculada a partir da soma das temperaturas

médias diárias acima de 0 °C que podem ser determinadas para o ciclo total ou para cada fase fenológica. Esse método foi denominado de método direto, mas apresentava limitações por sofrer variações em função das características locais (ALBERT et al., 2011; COELHO, 2004).

Para atender ao cálculo de GDD para diversas localidades, passou a ser utilizado o método residual, que consiste no somatório das diferenças entre a temperatura média diária e a temperatura-base determinada para cada espécie (ALBERT et al., 2011; COELHO, 2004). A magnitude de GDD varia conforme a espécie, tipo de cultivar, época de semeadura e a interação com outros elementos bio e geoclimáticos (THOMPSON et al., 2011).

A determinação da constante térmica é baseada na quantidade de energia equivalente à soma de graus centígrados e na temperatura-base (ALBERT et al., 2011; ORTOLANI; PEDRO JÚNIOR; ALFONSI, 1991). A temperatura-base pode ser definida como a temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve ou apresenta desenvolvimento em taxas reduzidas (ALBERT et al., 2011).

Após a realização do cálculo das constantes térmicas durante o ciclo biológico de uma espécie é possível obter com precisão a data de maturação e colheita de determinada cultura (ORTOLANI; PEDRO JÚNIOR; ALFONSI, 1991; THOMPSON et al., 2011). A aplicabilidade de GDD para previsão das fases fenológicas de plantas tem sido determinado para diversas espécies, sendo uma medida de tempo mais realística do que o tempo em si, expresso em dias do calendário civil, tais como, dias após a semeadura ou transplante (MCMMASTER; WILHELM, 1997).

Conforme descrito por Baseggio, Franke e Nabinger (1998), essa técnica foi utilizada para determinar a duração do período de florescimento e a variação na taxa de emissão de inflorescências de *Desmodium incanum*. Nesse estudo, os autores observaram a necessidade de 600 GDD para a maturação da primeira inflorescência. Também já foi utilizado GDD para descrever o crescimento de

trigo de primavera (MCMASTER; WILHELM, 1997), crescimento e frutificação de videira (ROBERTO et al., 2004), crescimento de milho (YANG et al., 2004), batata (PAULA et al., 2005), mandioca (SCHONS et al., 2007), arroz (STRECK et al., 2007), florescimento de crisântemo e calandiva (LESSA, 2009), crescimento de tubérculos de inhame (MARCOS et al., 2011) além do crescimento e florescimento de três espécies do gênero *Watsonia sp* (THOMPSON et al., 2011).

Além disso, o modelo de GDD pode auxiliar na adaptabilidade de uma nova cultivar em uma área de sensibilidade, gerar uma programação de período de plantio, colheita e seleção de cultivares (TIMMERMANS; VOS; STOMPH, 2009). Permite também maior valorização no comércio de flores de corte e plantas de vaso, conforme a época de produção (GARY; JONES; TCHAMITCHIAN, 1998; LEE; GOUDRIAAN; CHALLA, 2002).

As necessidades térmicas de emergência-maturação para diferentes cultivares de triticales (CEP 15 e IAC 3) quando utilizado temperatura base de 8 °C, foi de 1.172 e 1.263 graus-dia de desenvolvimento respectivamente. A duração do período de emergência-maturação obtida foi de 120 e 128 dias, respectivamente. As durações médias, do subperíodo emergência-florescimento, foram de 50 e 56 dias respectivamente, enquanto a duração do subperíodo florescimento-maturação foi em média de 70 dias para as duas cultivares de triticales. A temperatura do ar tem influência na duração do ciclo biológico em plantas, por torná-lo mais longo em plantios efetuados em épocas mais frias (PEDRO JÚNIOR et al., 2004).

No desenvolvimento de plantas comerciais, a duração do ciclo em dias tem demonstrado inconsistência. Isso se deve ao fato de que a duração de subperíodos e ciclos das plantas estão associados às variações das condições ambientais e não ao número de dias. A temperatura tem-se apresentado como o elemento climático mais importante para prever os eventos fenológicos de

espécies comerciais, desde que não haja deficiência hídrica (GADIOLI et al., 2000).

A utilização da temperatura média do ar, numa escala diária, é uma estimativa indireta da quantidade de energia química metabólica produzida pelo material genético. O método de graus-dia de desenvolvimento baseia-se na premissa de que uma planta necessita de certa quantidade de energia, representada pela soma de graus térmicos necessários, para completar determinada fase fenológica ou mesmo o seu ciclo total. Admite, além disso, uma relação linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal (GADIOLI et al., 2000).

Diante da escassez de pesquisas utilizando o método de graus-dia de desenvolvimento para determinar as fases fenológicas para cultura do copo-de-leite, este estudo se propõe atender esse fim, bem como estudar o crescimento da espécie em função de GDD quando plantado em diferentes estações. Os resultados possibilitarão indicar a melhor época de plantio favorecendo a produção do copo-de-leite.

REFERÊNCIAS

ALBERT, K. R. et al. Interactive effects of drought, elevated CO₂ and warming on photosynthetic capacity and photosystem performance in temperate heath plants. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 168, n. 13, p. 1550-1561, 2011.

ALMEIDA, E. F. A. et al. Senescência de inflorescências de copo-de-leite: influência de diferentes armazenamentos e procedimentos pós-colheita. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-76, 2009.

_____. Soluções de condicionamento para conservação pós-colheita de inflorescências de copo-de-leite armazenadas em câmara fria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1442-1445, set./out. 2007.

ALMEIDA, E. F. A.; PAIVA, P. D. O. Cultivo de copo-de-leite. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 227, p. 30-35, 2005.

AMADUCCIA, S. et al. Modelling post-emergent hemp phenology (*Cannabis sativa* L.): theory and evaluation. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 90-102, Feb. 2008.

AMUTHA, R. et al. Physiological studies on evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes for high temperature stress. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, Ma'an, v. 3, n. 4, p. 245-251, 2007.

ASSIS, S. M. P. et al. **Doenças e pragas de helicônias**. Recife: UFRPE, 2002. 102 p.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2006. 237 p.

BASEGGIO, J.; FRANKE, L. B.; NABINGER, C. Dinâmica do florescimento e produção de sementes de *Desmodium incanum* DC. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 118-124, mar./abr. 1998.

BLOOMZ. **Bloomz on line**. Melbourne, 2011. Disponível em: <<http://www.bloomz.co.nz/Products/Zantedeschia/History-Habitat>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

CABAÑERO, F. J.; MARTÍNEZ, V.; CARVAJAL, M. Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants, or is it water flux which determines calcium uptake? **Plant Science**, Davis, v. 166, n. 2, p. 443-450, 2004.

COELHO, M. R. **Coeficiente de cultura (kc) e desenvolvimento inicial de duas variedades de cafeeiro (Coffea arabica L.) associados a graus-dia**. 2004. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

FUNNELL, K. A. et al. Leaf mass partitioning as a determinant of dry matter accumulation in *Zantedeschia*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 6, p. 973-979, Dec. 1998.

_____. Tuber dry-matter accumulation of *Zantedeschia* in response to temperature and photosynthetic photon flux. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Dundee, v. 77, n. 4, p. 446-455, Aug. 2002.

FUNNELL, K. A.; HEWETT, E. W. Acclimation of photosynthetic activity of *Zantedeschia* 'Best Gold' in response to temperature and photosynthetic photon flux. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 127, n. 2, p. 290-296, Apr. 2002.

GADIOLI, J. L. et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 377-383, 2000.

GARY, C.; JONES, J. W.; TCHAMITCHIAN, M. Crop modeling in horticulture: state of the art. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 74, n. 1/2, p. 3-20, June 1998.

GIAVENO, C.; FERRERO, J. Introduction of tropical maize genotypes to increase silage production in the central area of Santa Fe, Argentina. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 3, n. 2, p. 89-94, 2003.

GRACE, J. The temperature of buds may be higher than you thought. **New Phytologist**, Oxford, v. 170, n. 1, p. 1-3, Feb. 2006.

IGLESIAS-ACOSTA, M. et al. The response of broccoli plants to high temperature and possible role of root aquaporins. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 68, n. 1, p. 83-90, Jan. 2010.

KIM, S. H. et al. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 61, n. 3, p. 224-236, Mar. 2007.

LAISK, A. et al. Adjustment of leaf photosynthesis to shade in a natural canopy: rate parameters. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v. 28, n. 3, p. 375-388, 2005.

LAMAS, A. M. **Floricultura tropical: técnicas de cultivo**. Recife: SEBRAE-PE, 2002. 87 p.

LANDGRAF, P. R. C.; PAIVA, P. D. O. Produção de flores cortadas no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 120-126, jan./fev. 2009.

LEE, J. H.; GOUDRIAAN, J.; CHALLA, H. Using the exponential growth equation for modeling crop growth in year-round cut chrysanthemum. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, n. 5, p. 697-708, May 2002.

LEKAWATANA, S.; PITUCK, O. New floricultural crops in Thailand. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 454, n. 1, p. 59-64, 1998.

LESSA, M. A. **Análise e modelagem do crescimento de crisântemo e calandiva em vaso em função de graus dias de desenvolvimento**. 2009. 116 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LONG, S. P. et al. Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future. **Annual Review Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 591-628, 2004.

MAESTRI, E. et al. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 48, n. 5/6, p. 667-681, June 2002.

MARCOS, J. et al. Water yam (*Dioscorea alata* L.) development as affected by photoperiod and temperature: experiment and modeling. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 34, n. 4, p. 247-256, Apr. 2011.

MCMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 87, n. 4, p. 291-300, Apr. 1997.

MORALES, D. et al. High-temperature preconditioning and thermal shock imposition affects water relations, gas exchange and root hydraulic conductivity in tomato. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v. 47, n. 2, p. 203-208, Feb. 2003.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R.
Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUES, O. et al. (Ed.).
Citricultura brasileira. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 153-188.

PAULA, F. L. M. et al. Filocrono da planta de batata cultivar Asterix em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 3, p. 367-374, 2005.

PEDRO JÚNIOR, M. J. et al. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 447-453, 2004.

REIS, S. N. **Soluções de pulsing e de manutenção de pós-colheita de flores de corte**. 2009. 73 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ROBERTO, S. R. et al. Fenologia e soma térmica (graus-dia) para a videira 'Isabel' (*Vitis labrusca*) cultivada no Noroeste do Paraná. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 273-280, 2004.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. *Quo vadis C4?* an ecophysiological perspective on global change and the future of C₄ plants. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 77, n. 2/3, p. 209-225, 2003.

_____. The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis. **Plant Cell and Environment**, Malden, v. 30, n. 9, p. 1086-1106, Sept. 2007.

SALAZAR-PARRA, C. et al. Climate change (elevated CO₂, elevated temperature and moderate drought) triggers the antioxidant enzymes' response of grapevine cv. Tempranillo, avoiding oxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 144, n. 2, p. 99-110, Feb. 2012.

SALINGER, J. P. **Producción comercial de flores**. Zaragoza: Acribia, 1991. 371 p.

SCHONS, A. et al. Emissão de folhas e início de acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1586-1592, nov./dez. 2007.

STENZEL, N. M. C. et al. Maturation curves and degree-days accumulation for fruits of 'Folha Murcha' orange trees. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 219-225, 2006.

STRECK, N. A. A. A temperature response function for development of the chrysanthemum (*Chrysanthemum x morifolium* Ramat.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 49-54, jan./fev. 2004.

STRECK, N. A. A. et al. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da escala de counce para cultivares sul-brasileiras de arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 357-364, 2007.

THOMPSON, D. I. et al. Flowering control in *Watsonia*: effects of corm size, temperature, photoperiod and irradiance. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, n. 3, p. 493-502, Mar. 2011.

TIMMERMANS, B. G. H.; VOS, J.; STOMPH, T. J. The development, validation and application of a crop growth model to assess the potential of *Solanum sisymbriifolium* as a trap crop for potato cyst nematodes in Europe. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 111, n. 1/2, p. 22-31, Apr. 2009.

VILLA-NOVA, N. A. et al. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas: máximas e mínimas**. São Paulo: USP, 1972. 8 p. (Caderno de Ciências da Terra, 30).

VU, J. C. V. et al. Effects of elevated CO₂ and temperature on photosynthesis and Rubisco in rice and soybean. **Plant Cell and Environment**, Malden, v. 20, n. 1, p. 68-76, Feb. 1997.

XU, J.; BELANGER, F.; HUANG, B. Differential gene expression in shoots and roots under heat stress for a geothermal and non-thermal *Agrostis* grass species contrasting in heat tolerance. **Environmental Experimental Botany**, Manitoba, v. 63, n. 1/3, p. 240-247, June 2008.

YANG, H. S. et al. Hybrid-maize a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 87, n. 2/3, p. 131-154, Apr. 2004.

YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 74, n. 1/2, p. 61-74, June 1995.

ZHANG, J. H. et al. Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under cross-temperature stresses. **Journal of Integrative Plant Biology**, Malden, v. 47, n. 8, p. 959-970, Aug. 2005.

CAPÍTULO 2

Crescimento vegetativo de copo-de-leite em função de graus-dia de desenvolvimento

RESUMO

O copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) é uma planta ornamental pertencente à família Araceae, com crescente aceitação no mercado brasileiro. Todavia, existem restrições quanto a seu cultivo devido ao desconhecimento dos fatores ambientais que regulam seu crescimento, com especial destaque para a temperatura. Objetivou-se neste trabalho estudar o crescimento de copo-de-leite em função de graus-dia de desenvolvimento – GDD para caracterizar a melhor época de plantio e produção vegetal. Rizomas não enraizados de copo-de-leite foram plantados individualmente no outono e inverno em vasos e mantidos em casa de vegetação. Mensalmente foram avaliadas as características: número de folhas; área foliar total (cm²); altura das plantas (cm); número de brotações; diâmetro do colo dos pecíolos (cm); número de raízes primárias, comprimento radicular total (cm); massa fresca total (g), massa seca total (g) e produção de hastes florais em ambos os experimentos. Além das avaliações de crescimento, valores de temperatura máxima, mínima e temperatura de base foram incorporadas no modelo de GDD a partir da data de plantio. Os resultados foram submetidos à análise de regressão e as curvas de crescimento foram ajustadas utilizando o ajuste sigmoidal. Mudanças plantadas no outono apresentaram maior crescimento e produção de hastes florais. As plantas permaneceram maior tempo na fase vegetativa antes do início do florescimento e atingiram menor valor de GDD. Já as mudas plantadas no inverno permaneceram menor tempo na fase vegetativa atingindo maior valor de GDD, resultando em menor produção de hastes florais, tendo maior acúmulo de reservas nos rizomas, como mecanismo de adaptação.

Palavras-chave: *Zantedeschia aethiopica*. Curva de crescimento. GDD.

ABSTRACT

The calla lily (*Zantedeschia aethiopica*) is an ornamental plant belonging to the Araceae family, with increasing acceptance in the Brazilian market. However, there are restrictions on its cultivation due to lack of environmental factors that regulate their growth, with particular emphasis for the temperature. The objective of this work was to study the calla lily growth in function degree-days development (GDD), to characterize the best time for planting and vegetable production. Rhizomes do not rooted in calla lily were individually planted in autumn and winter, in pots and kept in a greenhouse. Monthly, characteristics were evaluated: number of leaves, total leaf area (cm²), plant height (cm), number of shoots, stem diameter of petiole (cm), number of primary roots, total root length (cm), total fresh mass (g), total dry mass (g) and floral stem production in both experiments. In addition to the growth assessments, values of maximum temperature, minimum and base temperature were incorporated in the GDD model from the date of planting. The results were submitted to regression analysis and growth curves were fitted using the sigmoidal fit. Seedlings planted in the autumn had higher growth and floral stem production. The plants remained longer in the vegetative phase before of the flowering start and reached the lowest value of GDD. While, the seedlings planted in winter remained less time in the vegetative phase reaching higher GDD value, resulting in lower floral stem production, with greater accumulation of reserves in the rhizomes, as adaptation mechanism.

Keywords: *Zantedeschia aethiopica*. Growth curve. GDD.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as plantas cultivadas no Brasil com expressivo crescimento econômico no setor de flores e de plantas ornamentais pode-se citar o copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica* Spreng), pertencente à família Araceae, originária do sudoeste da África (BLOOMZ, 2011; JUNQUEIRA; PEETZ; BEZERRA, 2009).

O cultivo e produção de flores de copo-de-leite estão intrinsecamente associados aos efeitos climáticos, com destaque para a temperatura (LANDGRAF; PAIVA, 2009). A temperatura influencia no crescimento das plantas e particularmente sobre as taxas de desenvolvimento (KIM et al., 2007; TERASHIMA et al., 2006). Muitos estudos já demonstraram que a iniciação e alongamento das folhas são eventos modulados pela temperatura, assim como o crescimento do sistema radicular e do rizoma (FUNNELL et al., 1998, 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002; GUILIONI et al., 2000).

A taxa de crescimento de órgãos vegetativos e reprodutivos poder ser expressa em tempo térmico baseada na temperatura do ar e temperatura de base chamada graus-dia de desenvolvimento (GDD). A temperatura pode ser expressa em GDD gerando uma idade biológica que descreve o crescimento e o metabolismo das plantas com maior precisão (SALAZAR-PARRA et al., 2012).

Quando esse método de quantificação do tempo biológico é aplicado, observa-se uma diferença entre épocas de plantio ou período de semeadura. Essa variação tem sido atribuída a um pré-condicionamento de respostas que determinam o filocrono térmico no período de emergência (JAMIESON et al., 1995).

O GDD tem sido utilizado para determinar, em diversas condições ambientais, o tempo necessário entre o florescimento e a maturação do fruto ou estudar e caracterizar qualquer fase fenológica das plantas (VOLPE;

SCHOFFEL; BARBOSA, 2002). O crescimento de copo-de-leite pode estar relacionado de forma indireta com a quantidade de radiação incidente, porém de modo direto pela temperatura e distribuição de fotoassimilados, por ser uma planta rizomatosa. O rizoma é o órgão responsável por armazenar e distribuir esses metabólitos na planta (FUNNELL et al., 1998, 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

A área foliar é uma característica determinante para o crescimento dos rizomas e brotações em copo-de-leite, bem como o acúmulo de matéria seca, sendo essas características agrônômicas influenciadas pela temperatura local. Para aperfeiçoar a produção comercial de copo-de-leite é essencial caracterizar os efeitos de sazonalidade no ambiente em que se deseja realizar o plantio (FUNNELL et al., 1998, 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

Existe uma demanda crescente de informações sobre o manejo e cultivo do copo-de-leite que integre dados meteorológicos para favorecer o desenvolvimento dos rizomas, bem como da produção de hastes florais. Assim, objetivou-se avaliar o crescimento vegetativo de plantas de copo-de-leite formadas de mudas plantadas nas estações outono e inverno para caracterizar seu ciclo biológico em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os rizomas de copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) não enraizados e sem a presença de folhas, com altura média de 4,31 cm e diâmetro 1,42 cm, foram adquiridos de um produtor do município de Carmópolis - MG e plantados individualmente em vasos de 11 litros e mantidos em casa de vegetação com tela de sombreamento 50%.

Como substrato foi utilizado uma mistura de latossolo vermelho, esterco bovino curtido e areia lavada na proporção de 2:1:1 para permitir a aeração e favorecer a percolação da água. O primeiro plantio do copo-de-leite foi realizado no dia 15/04/2011, sendo caracterizado como plantio de outono, enquanto o segundo foi feito no dia 15/07/2011, caracterizando-se como plantio de inverno. As plantas foram cultivadas por um período de 210 dias na cidade de Lavras - MG.

Quanto à irrigação das mudas foi utilizado o método direto de capacidade de vaso, considerando como capacidade de campo o conteúdo de água retido pelo solo após sofrer saturação e, conseqüentemente, ação da gravidade, cuja determinação foi desenvolvida a partir de cinco vasos com média de $0,462 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Após o plantio, as mudas foram irrigadas com água pura e tratadas com solução fúngica Rovral SC[®] ($1,5 \text{ mL L}^{-1}$).

Como controle fitossanitário, durante o período de condução dos experimentos, foi realizado pulverizações mensais com fungicida Folicur 200 CE (Bayer[®]), Priorixtra (Syngenta[®]), e inseticida Decis 25 EC (Bayer[®]), na concentração de $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ de cada produto comercial. As plantas foram adubadas mensalmente com macro e micronutrientes conforme recomendado por (MALAVOLTA, 2006).

A cada 30 dias durante 210 dias foram avaliadas as seguintes características: número de folhas; área foliar total (cm^2) pelo método direto

utilizando discos foliares de área conhecida; altura total da planta mãe e dos brotos por vaso (cm); número de brotações por vaso; diâmetro do colo dos pecíolos da planta mãe e dos brotos por vaso (cm); número total de raízes primárias do rizoma; comprimento radicular total (cm); massa fresca total da planta por vaso (g); massa seca total da planta por vaso (g) e produção média de hastes florais em ambos os experimentos.

Para medir os diâmetros do colo dos pecíolos foi utilizado paquímetro digital (Modelo 1101-150). Para mensurar a massa seca total, as plantas foram acondicionadas em saco de papel tipo kraft, identificadas e secas em estufa de circulação forçada de ar com temperatura regulada entre 65 e 70 °C até peso constante.

Além das avaliações de crescimento, valores de temperatura máxima e mínima foram registrados diariamente com auxílio de um termo-higrômetro digital com datalogger (Minipa, Modelo RHT10) instalado a 1,0 m de altura do solo e no centro da área de cultivo. Os dados foram utilizados na Equação 1 descrita por Villa-Nova et al. (1972) para determinação do acúmulo de graus-dia de desenvolvimento(GDD) a partir da data de plantio.

$$GDD = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{T_{máx}(i) + T_{mín}(i)}{2} \right) - T_{base} \right] \text{ Eq.1}$$

Sendo GDD o somatório térmico diário de desenvolvimento em °C; T_{máx} – temperatura máxima do dia em °C; T_{mín} – temperatura mínima do dia em °C e T_{base} – temperatura de base em °C. A incorporação da T_{base} na equação foi adotada conforme a média 4,5 °C, da temperatura da parte aérea (4,7 °C) e do rizoma (4,3 °C) dos dados publicados por (FUNNELL et al., 1998, 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, dos quais dois experimentos (plantio de outono e inverno) foram compostos de cinco repetições com dez plantas por parcela, totalizando 50 plantas por plantio. A base de dados para regressão foi submetida ao teste de normalidade Shapiro-Wilk ($P < 0,05$). As equações ajustadas foram analisadas quanto a sua significância pelo teste F ($P < 0,01$) da análise de variância. Os parâmetros das equações ajustadas foram analisados quanto a sua significância pelo teste t ($P < 0,01$). Os resultados foram submetidos à análise de regressão e as curvas de crescimento foram ajustadas utilizando o ajuste sigmoidal, pois o mesmo tende a uma assíntota superior finita, com significação biológica.

3 RESULTADOS

As variações diárias de temperatura máxima, temperatura mínima e de graus-dia de desenvolvimento (GDD) durante o período de condução dos experimentos podem ser observadas na Figura 1.

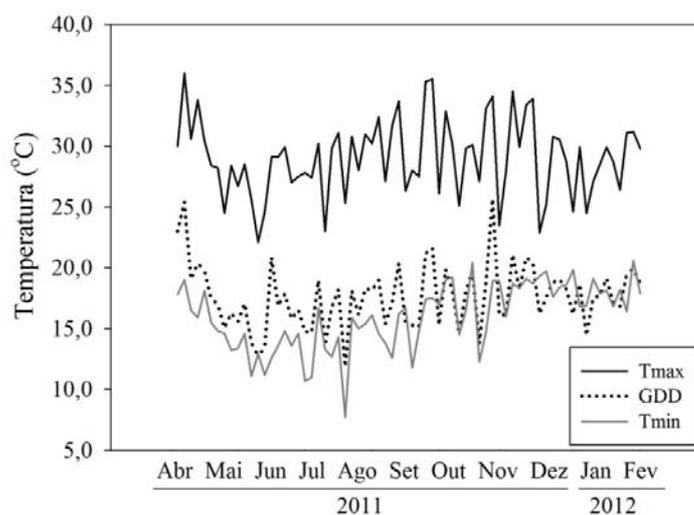


Figura 1. Temperatura máxima (Tmáx), temperatura mínima (Tmín.) e graus-dia de desenvolvimento (GDD), no período de 15 de abril de 2011 a 15 de fevereiro de 2012, durante a experimentação com copo-de-leite plantado no outono e inverno.

Os GDD em função do tempo de cultivo de mudas de copo-de-leite plantadas no outono e inverno, durante o período de condução dos experimentos, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Acúmulo de temperatura pelo método de graus-dia de desenvolvimento (GDD) durante o período experimental de 15 de abril de 2011 a 15 de fevereiro de 2012 de copo-de-leite plantado no outono e inverno.

Dias de cultivo	GDD Outono	GDD Inverno	Diferença GDD
0	20,45	14,70	5,75
30	555,05	519,30	35,75
60	1022,75	1055,61	-32,86
90	1481,75	1594,43	-112,68
120	1986,35	2131,66	-145,31
150	2522,66	2685,40	-162,74
180	3061,48	3218,68	-157,20
210	3598,71	3790,09	-191,38

Foi observado que a partir dos 60 dias de cultivo, os valores de GDD do plantio de inverno se tornaram superiores em relação aos do plantio de outono. Verificou-se maior crescimento da parte aérea do copo-de-leite plantado no outono quando comparado com as mudas plantadas no inverno.

Ao ser avaliado o incremento de folhas em mudas de copo-de-leite plantadas no outono e inverno foi observada uma diferença a partir dos 150 dias de cultivo. Nesse período, observou-se média de nove folhas por planta com 2522,66 GDD no plantio de outono, enquanto no plantio de inverno foi observada média de cinco folhas por planta aos 2685,4 GDD, uma diferença de 162 GDD para o mesmo tempo de cultivo. Na sequência, houve tendência de estabilização, seguido de redução no incremento foliar, até o final do período avaliado. Já no plantio de outono, o incremento foliar foi crescente e progressivo, alcançando média de dez folhas por planta aos 3061,48 GDD, com tendência de estabilização após esse valor de GDD (Figura 2).

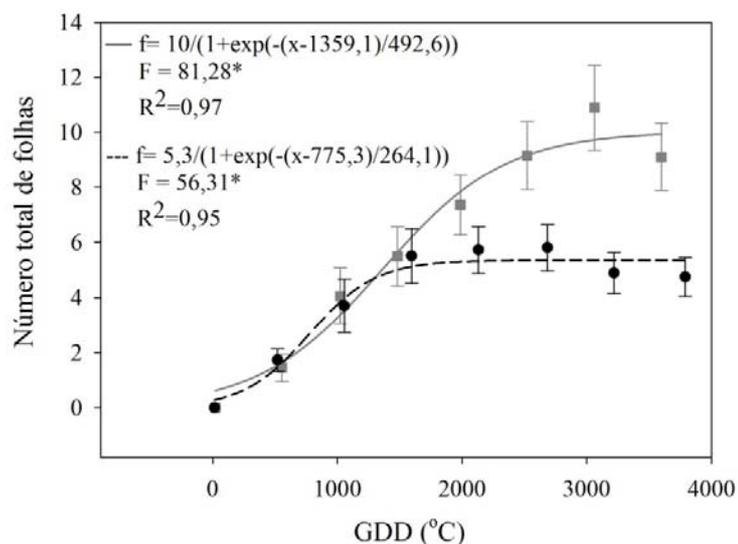


Figura 2. Número total de folhas em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

O incremento foliar em mudas de copo-de-leite plantadas no outono implicou em uma relação direta no crescimento da área foliar total em função do GDD, atingindo valor médio de 1740 cm² aos 3598,71 GDD, os quais foram acumulados com 210 dias de cultivo. No plantio de inverno, o valor máximo de área foliar foi de 950 cm² com 2685,4 GDD, acumulado aos 150 dias, seguido de redução no período avaliado, devido à senescência precoce de folhas. Nesse mesmo período no plantio de outono, foi observado acúmulo de 2522,66 GDD, uma diferença de 162,74 GDD (Figura 3).

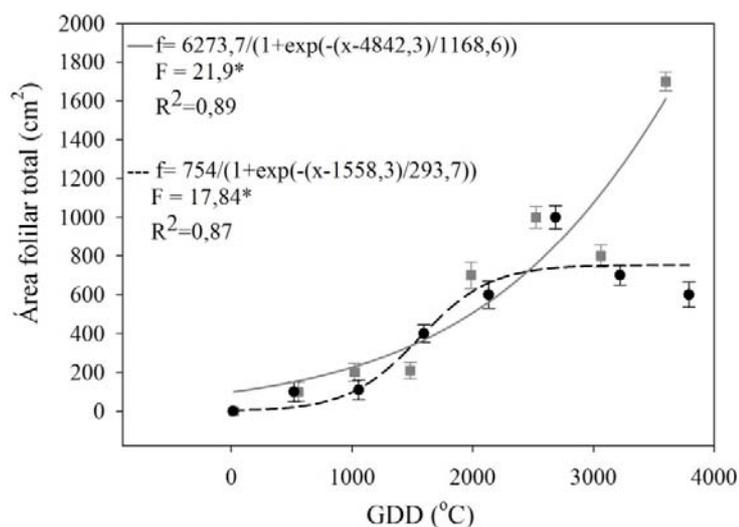


Figura 3. Área foliar total em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

O incremento em altura de plantas de copo-de-leite foi contínuo em ambos os períodos de cultivo. Sendo que o plantio de outono proporcionou maiores valores quando comparado com o plantio de inverno, atingindo média de 59 cm aos 3598,71 GDD, acumulado aos 210 dias quando somado a altura da planta mãe e dos brotos por vaso. No mesmo período de cultivo, o maior valor médio para essa característica no plantio de inverno foi observado aos 3790,09 GDD com média de 31 cm (Figura 4).

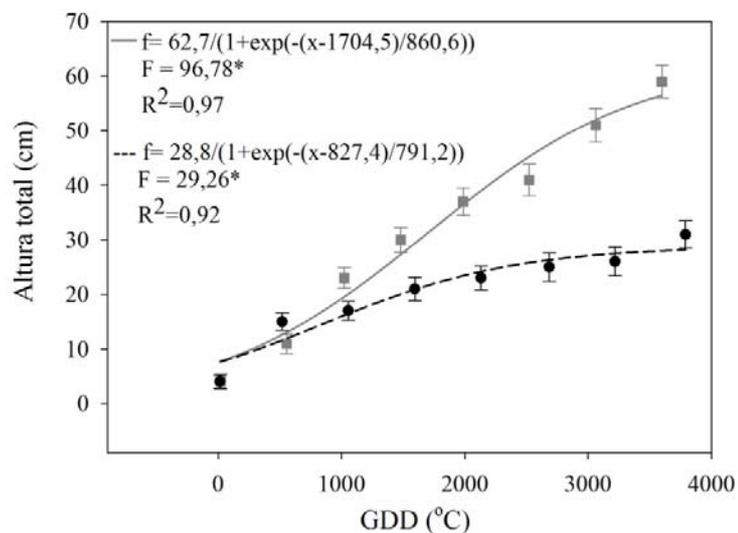


Figura 4. Altura total da planta mãe e dos brotos em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

No plantio de outono, aos 3598,71 GDD, observou-se a média de quatro brotos por planta, enquanto no plantio de inverno a média máxima foi de dois brotos aos 3790,09 GDD, acumulado aos 210 dias de cultivo (Figura 5).

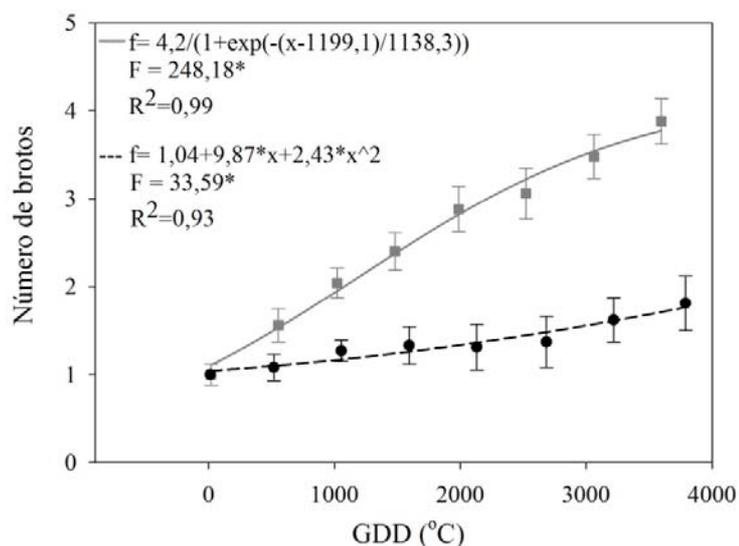


Figura 5. Número de brotos em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

Analisando-se a soma do diâmetro do colo da planta mãe e dos brotos a partir dos 120 dias de cultivo, quando acumulado 1986,35 GDD no plantio de outono e 2131,66 GDD no plantio de inverno, houve diferença de 145,31 GDD nesse período. Além disso, a partir desse período, houve diferença no diâmetro entre os plantios com maiores valores no experimento plantado na estação de outono, quando comparado com o de inverno. O maior valor médio do diâmetro do colo da planta mãe e dos brotos foi de 7,3 cm por vaso no plantio de outono aos 3598,71 GDD. Enquanto no plantio de inverno, o maior valor médio observado foi de 3,9 cm aos 3790,09 GDD no mesmo período avaliado aos 210 dias de cultivo (Figura 6).

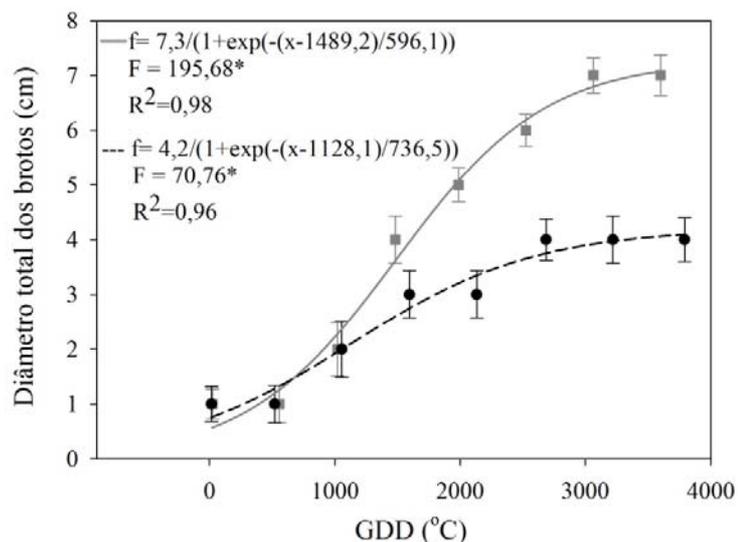


Figura 6. Diâmetro total do colo da planta mãe e dos brotos em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

Quanto ao crescimento do sistema radicular das plantas de copo-de-leite, esse foi semelhante entre plantas cujos plantios foram realizados no outono e inverno, apresentando valores crescentes e contínuos em função de GDD. Contudo, o maior valor médio de raízes primárias por vaso no plantio de outono foi de 56 raízes, quando se atingiu 3598,71 GDD. Já no plantio de inverno, o maior valor observado foi de 44 raízes aos 3790,09 GDD, apresentando diferença entre os tratamentos apenas nesse período aos 210 dias de cultivo (Figura 7).

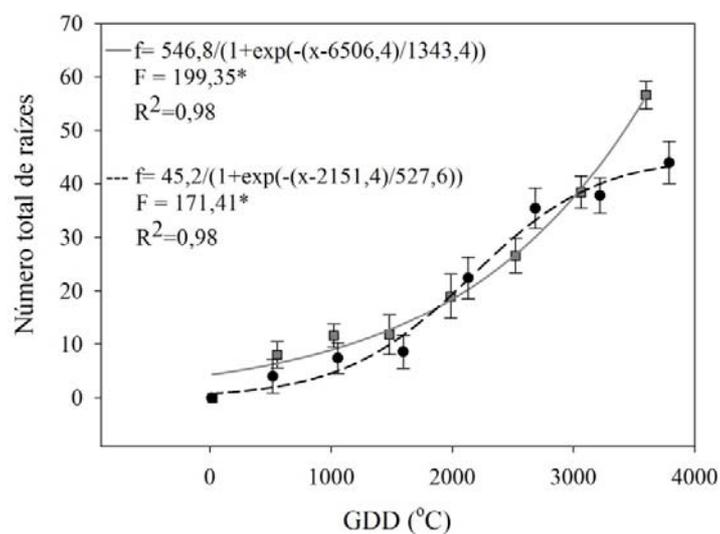


Figura 7. Número total de raízes primárias em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

Analisando-se o comprimento total das raízes primárias no plantio de outono, o crescimento ocorreu de modo crescente e progressivo, atingindo valor máximo de 975 cm aos 3598,71 GDD, acumulado aos 210 dias. Já no plantio de inverno, o crescimento inicial foi lento até os 1594,43 GDD, acumulado aos 90 dias de cultivo. Todavia, entre 1650 a 2685,4 GDD dos 100 aos 150 dias após o plantio houve um acelerado crescimento em comprimento do sistema radicular, seguido de estabilização, com valor máximo de 807 cm aos 3790,09 GDD, correspondendo à 210 dias após o plantio. Nesse período, foi observado um acréscimo de 191,38 GDD em relação ao plantio de outono (Figura 8).

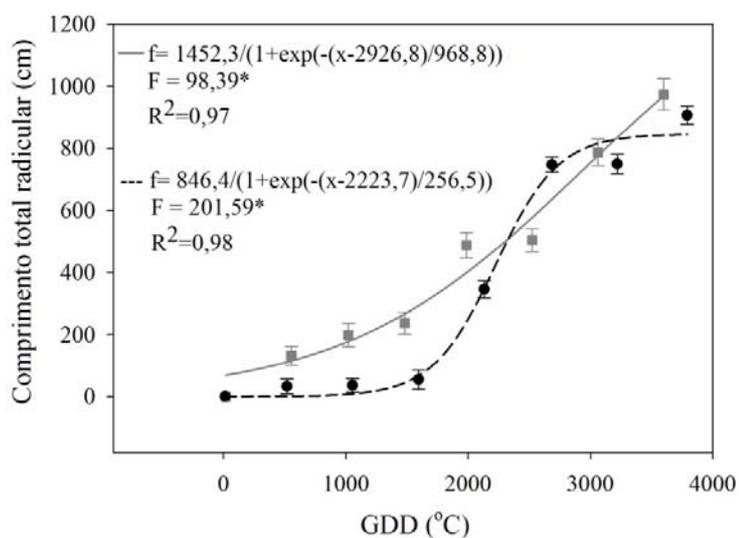


Figura 8. Comprimento total das raízes primárias em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

O cultivo de inverno apresentou valores superiores de massa fresca total em relação ao cultivo de outono até atingir 1594,43 GDD correspondendo aos 90 dias após o plantio, com valor médio de 76 g por amostra neste valor de GDD. Provavelmente, isso ocorreu devido à maior massa dos rizomas iniciais do plantio de inverno. Todavia, após o acúmulo de 2500 GDD, foram observados maiores valores no plantio de outono, com máxima de 267g com 3598,71 GDD correspondendo a 210 dias de cultivo. Nesse mesmo período de cultivo, o plantio de inverno alcançou máxima de 188g com acúmulo de 3790,09 GDD com diferença de 191,38 GDD em relação ao plantio de outono (Figura 9).

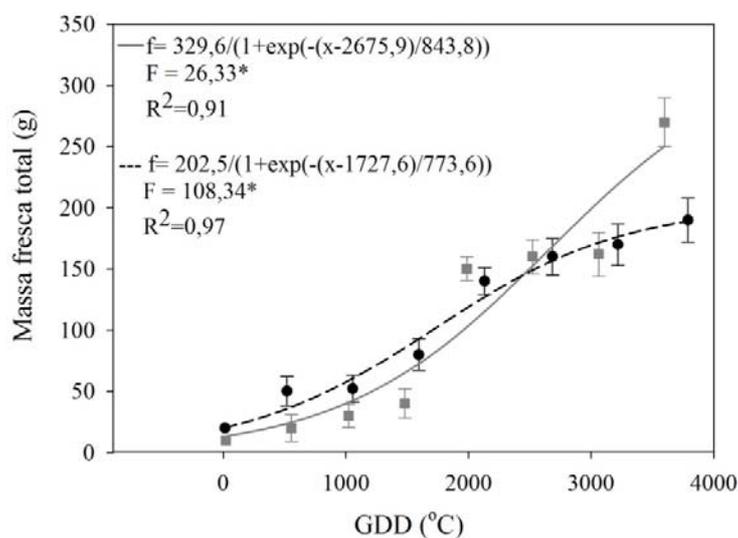


Figura 9. Massa fresca total em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

O incremento de massa seca total foi crescente em função do acúmulo de temperatura semelhante ao comportamento da massa fresca. O maior acúmulo inicial de massa seca foi observado no plantio de inverno até aos 1594,43 GDD, com média de 16g por amostra. Todavia, após o acúmulo de 2300 GDD, foram observados maiores valores no plantio de outono, com máxima de 37 g aos 3598,71GDD, acumulado aos 210 dias. Enquanto nesse mesmo tempo de cultivo o plantio de inverno alcançou máxima de 27 g aos 3790,09 GDD (Figura 10).

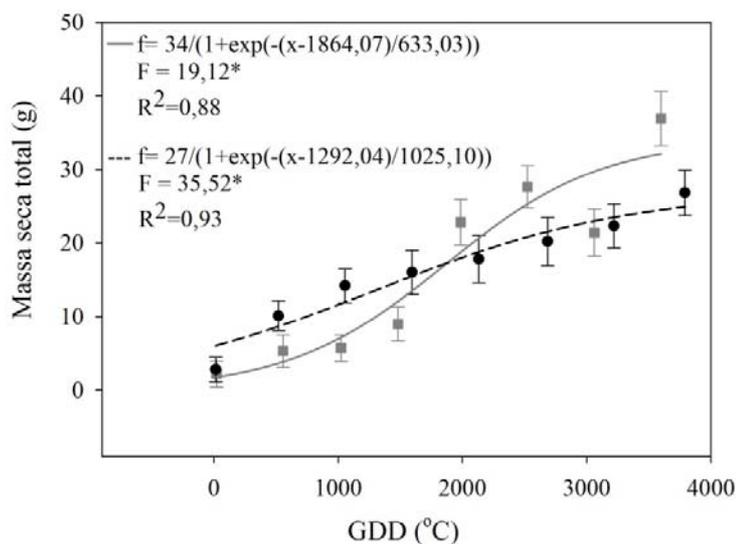


Figura 10. Massa seca total em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

A produção de hastes florais foi maior no plantio de outono com início do florescimento aos 111 dias de cultivo, quando acumulado 1816,62 GDD. A redução da produção ocorreu aos 172 dias com acúmulo térmico de 2919,64 GDD. Desse modo, as plantas de copo-de-leite plantadas no outono permaneceram 62 dias na fase de florescimento, sendo que a maior produção ocorreu entre 2200 e 2600 GDD. A produção de hastes florais foi menor no plantio de inverno, com início do florescimento aos 41 dias de cultivo, quando acumulado 706,25 GDD. A redução da produção ocorreu aos 76 dias com acúmulo térmico de 1313,19 GDD. Desse modo, as plantas de copo-de-leite plantadas no inverno permaneceram 36 dias na fase de florescimento, sendo que a maior produção ocorreu entre 900 e 1100 GDD (Figura 11).

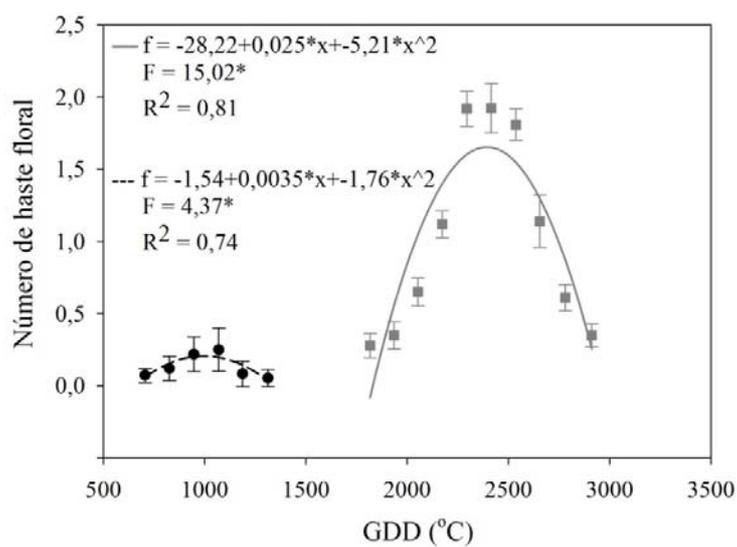


Figura 11. Produção média por vaso de hastes florais de copo-de-leite quando em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) quando plantado no outono (—) e inverno (----).

4 DISCUSSÕES

A cultura do copo-de-leite de modo geral cresce linearmente com o aumento da temperatura entre 13 e 28 °C. Como mecanismo adaptativo, o copo-de-leite pode investir seu fotoassimilado para o crescimento da parte aérea ou dos rizomas, de acordo com a temperatura do ar. Essa mudança de investimento energético da parte aérea para o rizoma pode ocorrer em virtude de faixas de temperaturas consideradas prejudiciais ou que não estão enquadradas nas condições ótimas de cultivo da espécie (FUNNELL et al., 1998, 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

Apesar dos valores de GDD serem semelhantes entre os plantios no período de estabilização do incremento de folhas, o cultivo de outono foi superior em quase 50% em relação ao cultivo de inverno. Isso indica que no plantio de outono as plantas de copo-de-leite permanecem mais tempo na fase vegetativa até atingirem o mesmo valor de GDD em relação ao plantio de inverno, favorecendo o crescimento da parte aérea e produção de hastes florais. Entretanto, as mudas plantadas no inverno apresentaram maior acúmulo de GDD em menor tempo de cultivo. Após 60 dias de cultivo, observou-se o acúmulo de 1055,61 GDD, induzindo um desenvolvimento precoce das plantas de copo-de-leite, diminuindo o período de seu ciclo biológico, refletindo em menor crescimento da parte aérea e produção de hastes florais. Neste mesmo período, no plantio de outono, foi observado 1022,75 GDD, uma diferença de 32,86 GDD.

A quantidade de folhas, assim como a área foliar total são variáveis fundamentais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, por favorecer a captação de irradiância e possibilitar maior rendimento metabólico (TAEB; ALDERSON, 1990).

A área foliar de copo-de-leite pode aumentar em função da elevação de temperatura e da saturação luminosa (FUNNELL; HEWETT, 2002). De modo geral, o plantio da cultura de copo-de-leite na estação de outono apresentou maiores valores das características fitotécnicas avaliadas em função de menor acúmulo de GDD, resultando em plantas mais robustas. Devido à permanência dessas plantas em maior tempo de cultivo na fase vegetativa para completar seu ciclo biológico, enquanto que o inverso foi observado no plantio de inverno.

Desse modo, a temperatura pode auxiliar na modulação do crescimento e desenvolvimento da parte aérea de plantas de copo-de-leite. As mudanças climáticas decorrentes das estações do ano podem prejudicar a produção vegetal por alterar a distribuição de fotoassimilados, tendo um efeito direto na propagação de plantas e na quantidade de flores (THOMPSON et al., 2011). Portanto, temperaturas abaixo da mínima (15 °C) e acima da máxima (30 °C) para plantas do tipo C₃ como a cultura do copo-de-leite podem prejudicar sua produção vegetativa e reprodutiva (TAEB; ALDERSON, 1990).

Os autores Funnell et al. (2002) relataram que não há necessidade obrigatória de condições favoráveis do ambiente durante o plantio e crescimento inicial de copo-de-leite para emissão de brotações, pois o rizoma possui reservas nutricionais e água para isso. Contudo, resultados contrastantes foram observados no presente trabalho, o que fica evidente o efeito da temperatura no incremento de novas brotações da espécie.

O número e a altura dos brotos produzidos são características importantes, pois a divisão de touceiras constitui o principal método de propagação dessa espécie (ALMEIDA; PAIVA, 2005). Conforme Souza et al. (2010), plantas de copo-de-leite desenvolvidas entre abril e novembro em solução nutritiva, atingiram altura média de 70 cm. Além disso, os maiores valores médios observados para o número de folhas, comprimento do pecíolo e número de brotos foi de 6; 65 cm e 1,51 respectivamente.

Para cultura da videira 'Isabel' foi necessário o acúmulo de 56,6 GDD para iniciar a brotação. A exigência térmica na fase fenológica da brotação ao aparecimento da inflorescência e do aparecimento da inflorescência ao florescimento foi de 36,15 e 156,95 GDD, respectivamente (ROBERTO et al., 2004).

O diâmetro do colo das brotações de mudas de copo-de-leite acompanhou o crescimento em altura da planta em ambos os experimentos, possibilitando a sustentação do peso da parte aérea, evitando assim o tombamento das plantas. Além disso, essa relação indica que não houve estiolamento da parte aérea, conforme já relatado por (CARNEIRO, 2009).

O maior comprimento total radicular observado para cultura de copo-de-leite segundo Souza et al. (2010) correspondente ao somatório de todos os eixos radiculares formados foi de 2015 cm. Nesse estudo foram observados menores valores médios, por serem contabilizadas apenas as raízes primárias e menor tempo de cultivo durante as avaliações. Esse parâmetro de crescimento do sistema radicular pode ser um indicador do potencial de absorção de água e nutrientes pela planta. De modo geral, ocorre um crescimento contínuo da parte aérea e do sistema radicular em mudas de copo-de-leite por se tratar de uma planta perene.

Analisando-se a matéria seca para ambos os períodos de cultivo de plantas de copo-de-leite, não foram verificadas diferenças substanciais. Essa diferença foi observada entre o crescimento da parte aérea e do sistema radicular com maiores valores observado para o plantio de outono. Isso implica dizer que mudas de copo-de-leite plantadas no outono investem mais energia para o desenvolvimento da parte aérea, produção de hastes florais e do sistema radicular, mas quando plantadas no inverno, investem mais energia para o desenvolvimento dos rizomas como mecanismo de adaptação. A função de dreno que o rizoma pode assumir está relacionada com a posterior redistribuição

de fotoassimilados para formação de novas brotações em condições ambientais favoráveis (LINO-NETO et al., 2004).

Em condições ambientais que limitam a fotossíntese e o crescimento de copo-de-leite, como temperaturas inferiores a 10 °C, a produção reduzida de fotoassimilados pode resultar em aumento da partição para órgãos com maior prioridade, ou seja, o rizoma, como observado no período inicial do plantio de inverno no presente estudo. Em temperaturas mais elevadas a mobilidade é preferencial para as folhas, como observado no plantio de outono. Portanto, a temperatura pode auxiliar na modulação da relação fonte e dreno na cultura do copo-de-leite. Além disso, a temperatura auxilia na regulação da produção, no particionamento ou alocação de carboidratos da espécie (FUNNELL et al., 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

Quando o copo-de-leite é plantado em estações mais quentes, ocorre declínio no incremento de massa seca dos rizomas, enquanto que regimes de temperaturas inferiores, ou seja, em plantios feitos em estações mais frias ocorre aumento da massa seca dos rizomas. Em contraste com a redução de crescimento dos rizomas em temperatura próxima de 28 °C, ocorre maior crescimento das folhas e brotos nesta condição de cultivo, como observado no plantio de outono (FUNNELL et al., 2002).

O acúmulo proporcional de massa seca entre a parte aérea e rizomas teve comportamento de forma inversa, segundo relatado por Carneiro et al. (2011), o que corrobora com os resultados observados. Os mesmos autores descreveram que houve redução da parte aérea em função do período de cultivo, entretanto, houve considerado aumento de massa seca dos rizomas. O rizoma constitui o principal órgão de reserva e de propagação do copo-de-leite, demonstrando sua capacidade de dreno durante o crescimento da planta, enquanto que, a parte aérea, desempenha a função de fonte em condições ótimas de cultivo.

Mudas de copo-de-leite plantadas no outono permanecem mais tempo na fase vegetativa antes da reprodução, resultando em maior crescimento da parte aérea, maior produção e crescimento de hastes florais e do sistema radicular, tendo implicações diretas na quantidade de flores. O inverso ocorreu no plantio de inverno, pois com rápida elevação da temperatura que ocorre após este período, foi observado menor produção de hastes florais devido à maturidade precoce da planta, decorrente da redução do ciclo biológico em função das condições climáticas desfavoráveis.

Métodos como o GDD podem ser utilizados para analisar respostas observadas do crescimento vegetal em função de fatores climáticos. Além disso, permite a previsão do comportamento vegetal sob futuras condições climáticas (SACKSA; KUCHARIK, 2011).

5 CONCLUSÕES

Mudas de copo-de-leite plantadas no outono apresentam maior crescimento da parte aérea do sistema radicular e maior produção de hastes florais. As plantas permanecem maior tempo na fase vegetativa com menor valor de 3598,71 GDD, caracterizando um maior ciclo biológico quando plantadas nessa estação.

Mudas de copo-de-leite, plantadas no inverno, apresentam maior crescimento dos rizomas como mecanismo de adaptação e posterior redistribuição dessa reserva para propagação de brotos. As plantas permanecem menor tempo na fase vegetativa atingindo maior valor de 3790,09 GDD o que caracteriza maturidade precoce com menor período na fase de florescimento e menor produção de hastes florais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. F. A.; PAIVA, P. D. O. Cultivo de copo-de-leite. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 227, p. 30-35, 2005.
- BLOOMZ. **Bloomz on line**. Melbourne, 2011. Disponível em: <<http://www.bloomz.co.nz/Products/Zantedeschia/History-Habitat>>. Acesso em: 10 fev. 2012.
- CARNEIRO, D. N. M. **Acúmulo de nutrientes em copo-de-leite em fase inicial de cultivo**. 2009. 53 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- CARNEIRO, D. N. M. et al. Development and dry mass accumulation in callalily at the initial cultivation stage. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1085-1092, nov./dez. 2011.
- FUNNELL, K. A. et al. Leaf mass partitioning as a determinant of dry matter accumulation in *Zantedeschia*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 6, p. 973-979, Dec. 1998.
- _____. Tuber dry-matter accumulation of *Zantedeschia* in response to temperature and photosynthetic photon flux. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Dundee, v. 77, n. 4, p. 446-455, Aug. 2002.
- FUNNELL, K. A.; HEWETT, E. W. Acclimation of photosynthetic activity of *Zantedeschia* 'Best Gold' in response to temperature and photosynthetic photon flux. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 127, n. 2, p. 290-296, Apr. 2002.
- GUILIONI, L. et al. A model to estimate the temperature of a maize apex from meteorological data. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 100, n. 2/3, p. 213-230, June 2000.
- JAMIESON, P. D. et al. Prediction of leaf appearance in wheat: a question of temperature. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 41, n. 1, p. 35-44, Mar. 1995.
- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S.; BEZERRA, P. R. C. **Cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais da grande Natal, RN**. Natal: SEBRAE-RN, 2009. 239 p.

KIM, S. H. et al. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 61, n. 3, p. 224-236, Mar. 2007.

LANDGRAF, P. R. C.; PAIVA, P. D. O. Produção de flores cortadas no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 120-126, jan./fev. 2009.

LINO-NETO, T. et al. Identification of *Zantedeschia aethiopica* *Cat1* and *Cat2* catalase genes and their expression analysis during spathe senescence and greening. **Plant Science**, Davis, v. 167, n. 4, p. 889-898, Apr. 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

ROBERTO, S. R. et al. Fenologia e soma térmica (graus-dia) para a videira 'Isabel' (*Vitis labrusca*) cultivada no Noroeste do Paraná. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 273-280, 2004.

SACKSA, W. J.; KUCHARIK, C. J. Crop management and phenology trends in the U.S. Corn Belt: impacts on yields, evapotranspiration and energy balance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 7, p. 882-894, July 2011.

SALAZAR-PARRA, C. et al. Climate change (elevated CO₂, elevated temperature and moderate drought) triggers the antioxidant enzymes' response of grapevine cv. Tempranillo, avoiding oxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 144, n. 2, p. 99-110, Feb. 2012.

SOUZA, R. R. et al. Doses de boro no desenvolvimento de copo-de-leite em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1396-1403, nov./dez. 2010.

TAEB, A. G.; ALDERSON, P. G. Effect of low temperature and sucrose on bulb development and on the carbohydrate status of bulbing shoots of tulip *in vitro*. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Dundee, v. 65, n. 2, p. 193-197, Apr. 1990.

TERASHIMA, I. et al. Irradiance and phenotype: comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO₂ diffusion. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, n. 2, p. 343-354, Feb. 2006.

THOMPSON, D. I. et al. Flowering control in *Watsonia*: effects of corm size, temperature, photoperiod and irradiance. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, n. 3, p. 493-502, Mar. 2011.

VILLA-NOVA, N. A. et al. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas:** máximas e mínimas. São Paulo: USP, 1972. 8 p. (Caderno de Ciências da Terra, 30).

VOLPE, C. A.; SCHOFFEL, E.; BARBOSA, J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 436-441, mar./abr. 2002.

CAPÍTULO 3

Características de trocas gasosas de copo-de-leite em função de graus-dia de desenvolvimento

RESUMO

O copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) é uma planta ornamental com crescente aceitação no mercado nacional. Todavia, seu cultivo pode ser restrito de acordo com condições climáticas como a temperatura. Objetivou-se avaliar as trocas gasosas em função de graus-dia de desenvolvimento - GDD, para definir a melhor época de plantio da espécie. Assim, rizomas foram plantados individualmente no outono e inverno em vasos e mantidos em casa de vegetação. A cada 30 dias foram avaliados as características de trocas gasosas foliares. Não foi observado diferença entre as épocas de plantio outono e inverno em mudas de copo-de-leite para as características déficit de pressão de vapor, condutância estomática e eficiência fotoquímica do fotossistema II. Mudas de copo-de-leite plantadas no outono apresentam maior eficiência do uso da água; maior eficiência do uso da luz; maiores valores médio de fotossíntese líquida; maior densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos e maior produção de hastes florais. O plantio de inverno apresentou maior taxa de transpiração, devido aos maiores valores de temperatura e GDD após esse período. Sendo possível caracterizar os estágios de desenvolvimento e idade foliar de acordo com os níveis de trocas gasosas. O copo-de-leite necessita de irradiância entre 250 a 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com temperaturas entre 25 a 30 °C na fase inicial de crescimento até atingir 1000 GDD, seguido de redução da temperatura entre 12 a 15 °C até atingir 3500 GDD, possibilitando maior produção de hastes florais.

Palavras-chave: *Zantedeschia aethiopica*. Fotossíntese. GDD.

ABSTRACT

The calla lily (*Zantedeschia aethiopica*) is an ornamental plant with growing acceptance in the national market. However, its cultivation can be restricted according to climatic conditions such as temperature. The objective was to evaluate the gas exchange in function of degree-day development (GDD), to set the best time for planting of the species. Thus, individually rhizomes were planted in autumn and winter in pots and kept in a greenhouse. Every 30 days were evaluated characteristics of leaf gas exchange. No differences were observed between planting time autumn and winter in calla lily seedlings for the characteristics of vapor pressure deficit, stomatal conductance and photochemical efficiency of photosystem II. Calla lily seedlings planted in autumn present greater efficiency of water use, higher efficiency of light use, higher average values of net photosynthesis, higher density of active photosynthetic photon flux and higher floral stem production. The winter planting present a higher transpiration rate, due higher values of temperature and GDD after this period. It is possible to characterize the developmental stage and leaf age in accordance with the gas exchange levels. The calla lily need irradiance between 250-450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at temperatures between 25-30 °C at the initial growth stage until achieve 1000 GDD, followed by reduction of the temperature between 12-15 °C until achieve 3500 GDD, allowing higher floral stem production.

Keywords: *Zantedeschia aethiopica*. Photosynthesis. GDD.

1 INTRODUÇÃO

O copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) é uma planta ornamental pertencente à família Araceae, originária do sudoeste da África (LINS; COELHO, 2004; MOTA et al., 2007). Essa espécie possui hábito herbáceo e seu florescimento ocorre na primavera e no verão, com ciclo de vida do tipo perene (BLOOMZ, 2011). O fator regulatório para produção de copo-de-leite está relacionado com as diferentes faixas de temperatura, da irradiância e da disponibilidade de água durante seu crescimento (FUNNELL et al., 1998, 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

Temperaturas mais amenas induzem ao florescimento do copo-de-leite, porém a produção é drasticamente reduzida ou interrompida quando ocorrem temperaturas elevadas, principalmente durante a noite, tendo implicações econômicas para os produtores (TJIA, 1989). A temperatura e a irradiância influenciam diretamente nos processos metabólicos como: respiração celular; transpiração; taxa de fotossíntese; eficiência do uso da luz e água; condutância estomática; densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos e eficiência fotoquímica do fotossistema II (BERNACCHI et al., 2002; IGLESIAS-ACOSTA et al., 2010; SAGE; KUBIEN, 2007).

Na cultura do copo-de-leite foi observada redução da condutância estomática e fotossíntese líquida aos 40 °C. Estudos revelam que o pecíolo e o pedúnculo floral de copo-de-leite também são órgãos fotossintetizantes. No entanto, apesar de tais órgãos terem a concentração de pigmentos e taxa de fluxo de elétrons semelhante às folhas, sua eficiência para fixação de carbono é menor. Isso provavelmente ocorre devido às diferenças anatômicas existente entre os diferentes órgãos, tendo implicações na difusividade de CO₂ (YIOTIS; PSARAS, 2011).

Na maioria dos estudos bioclimáticos, a temperatura média do ar tem sido avaliada por ser o principal fator que interage com a radiação, concentração de CO₂ atmosférico e umidade relativa, tendo implicações diretas no metabolismo e nas fases fenológicas das plantas. A temperatura pode ser expressa em somatório térmico ou graus-dia de desenvolvimento (GDD), gerando uma idade biológica que descreve o crescimento, o desenvolvimento e o metabolismo das plantas com maior precisão (SALAZAR-PARRA et al., 2012).

Esta precisão do modelo de graus-dia ocorre por agregar medidas biológicas de crescimento em função de unidades meteorológicas como: a temperatura e umidade relativa do ar, o que torna possível caracterizar as fases de desenvolvimento e o ciclo biológico das espécies vegetais. Desse modo, existe a necessidade da realização de estudos ecofisiológicos da cultura de copo-de-leite devido seu valor comercial, proporcionando maior entendimento dos mecanismos de adaptação durante as diferentes estações climáticas.

Assim, objetivou-se avaliar as trocas gasosas em função de graus-dias de desenvolvimento (GDD) em folhas de copo-de-leite plantado nas estações de outono e inverno para determinar a melhor época de plantio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os rizomas de copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*) não enraizados e sem a presença de folhas, com altura média de 4,31 cm e diâmetro 1,42 cm, foram adquiridos do produtor do município de Carmópolis-MG e plantados individualmente em vasos de 11 litros e mantidos em casa de vegetação com tela de sombreamento 50%.

Como substrato foi utilizado uma mistura de latossolo vermelho, esterco bovino curtido e areia lavada na proporção de 2:1:1 para permitir a aeração e favorecer a percolação da água. O primeiro plantio do copo-de-leite foi realizado dia 15/04/2011 sendo caracterizado como plantio de outono, enquanto o segundo foi realizado dia 15/07/2011 caracterizado, portanto, como plantio de inverno. As plantas foram cultivadas por um período de 210 dias na cidade de Lavras, MG.

Quanto à irrigação das mudas foi utilizado o método direto de capacidade de vaso, considerando como capacidade de campo o conteúdo de água retido pelo solo após sofrer saturação e, conseqüentemente ação da gravidade, cuja determinação foi desenvolvida a partir de cinco vasos, com média de $0,462 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Após o plantio, as mudas foram irrigadas com água pura e tratadas com solução fúngica Rovral SC[®] ($1,5 \text{ mL L}^{-1}$).

Como controle fitossanitário, durante o período de condução dos experimentos, realizou-se pulverizações mensais com fungicida Folicur 200 CE (Bayer[®]), Priorixtra (Syngenta[®]) e inseticida Decis 25 EC (Bayer[®]) na concentração de $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ de cada produto comercial. As plantas foram adubadas mensalmente com macro e micronutrientes conforme recomendado por (MALAVOLTA, 2006).

A cada 30 dias durante 210 dias foram avaliados: o déficit de pressão de vapor (DPV); a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos

(DFFFA) dado pela fotossíntese líquida (A) em função da irradiância (P.A.R.); condutância estomática (gs); transpiração (E); eficiência do uso da água dado pela razão entre a taxa de fotossíntese líquida e a taxa de transpiração (A/E); eficiência do uso da luz dado pela razão da taxa de fotossíntese líquida pela irradiância (A/P.A.R.); fotossíntese líquida (A); eficiência fotoquímica do fotossistema II (FSII) e produção média por vaso de hastes florais em ambos os experimentos.

Para as análises de trocas gasosas foi utilizado um Analisador Portátil de CO₂ a infravermelho (IRGA LCA-4 ADC Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas em dias típicos, predominantemente claros, entre 9h e 30min e 11h, em folhas iniciais completamente expandidas. Utilizou-se uma folha de cada planta e 20 plantas por época de plantio. As avaliações de fluorescência (Yield FSII) foram feitas no período noturno, utilizando um Mini-PAM Fluorômetro portátil (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Alemanha) nas mesmas folhas avaliadas no período matutino para trocas gasosas.

O déficit de pressão de vapor do ar (DPV_{ar}) do local onde foi realizado o experimento foi calculado segundo a Equação 1 proposta por (JONES, 1992).

$$DPV = 0,61137 e^t * \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \text{ Eq. 1}$$

Em que t é calculado pela Equação 2:

$$t = \frac{17,502 * (T_{ar})}{(240,97 + T_{ar})} \text{ Eq. 2}$$

Sendo UR a umidade relativa do ar e T_{ar} a temperatura do ar. Além das avaliações de trocas gasosas, valores de temperatura máxima, mínima e de umidade relativa do ar foram registrados diariamente com o auxílio de um

termo-higrômetro digital com datalogger (Minipa, Modelo RHT10) instalado a 1,0 m de altura do solo e no centro da área de cultivo. Os dados foram utilizados na Equação 3 descrita por Villa-Nova et al. (1972) para determinação do acúmulo de graus-dia de desenvolvimento (GDD) a partir da data de plantio.

$$GDD = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{T_{máx}(i) + T_{mín}(i)}{2} \right) - T_{base} \right] \text{ Eq.3}$$

Sendo GDD o somatório térmico diário de desenvolvimento em °C; Tmax – temperatura máxima do dia em °C; Tmin – temperatura mínima do dia em °C e Tbase – temperatura de base em °C. A incorporação da Tbase na equação foi adotada conforme a média 4,5 °C, da temperatura da parte aérea (4,7 °C) e do rizoma (4,3 °C) dos dados publicados por Funnell et al. (1998, 2002).

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado com 20 repetições por plantio. A base de dados para regressão foi submetida ao teste de normalidade Shapiro-Wilk (P<0,05). As equações ajustadas foram analisadas quanto a sua significância pelo teste F (P<0,01) da análise de variância. Os parâmetros das equações ajustadas foram analisados quanto sua significância pelo teste t (P<0,01). Os resultados foram submetidos à análise de regressão e as curvas de crescimento foram ajustadas utilizando o ajuste exponencial ou polinomial.

3 RESULTADOS

As variações de temperatura máxima, temperatura mínima e graus-dia de desenvolvimento (GDD) durante o período da condução dos experimentos podem ser observados na Figura 1.

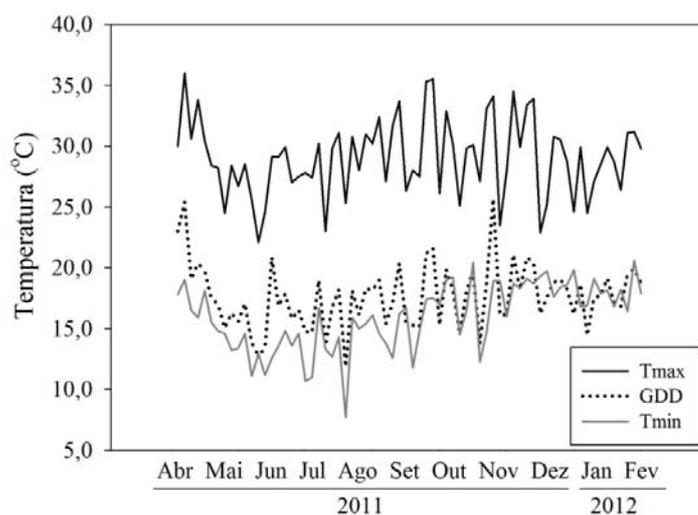


Figura 1. Temperatura máxima (T_{máx}), temperatura mínima (T_{mín.}) e graus-dia de desenvolvimento (GDD) no período de 15 de abril de 2011 a 15 de fevereiro de 2012, durante a experimentação com copo-de-leite plantado no outono e inverno.

Os GDD em função do tempo de cultivo de mudas de copo-de-leite plantadas no outono e inverno, durante o período de condução dos experimentos, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Acúmulo de temperatura pelo método de graus-dia de desenvolvimento (GDD) durante o período experimental de 15 de abril de 2011 a 15 de fevereiro de 2012 de mudas de copo-de-leite plantadas no outono e inverno.

Dias de cultivo	GDD Outono	GDD Inverno	Diferença GDD
0	20,45	14,70	5,75
30	555,05	519,30	35,75
60	1022,75	1055,61	-32,86
90	1481,75	1594,43	-112,68
120	1986,35	2131,66	-145,31
150	2522,66	2685,40	-162,74
180	3061,48	3218,68	-157,20
210	3598,71	3790,09	-191,38

Foi observado que a partir dos 60 dias de cultivo, os valores de GDD do plantio de inverno se tornaram superiores em relação aos do plantio de outono.

Analisando-se a condutância estomática (gs), em função do déficit de pressão de vapor do ar (DPV), em folhas de plantas de copo-de-leite, de modo geral, observaram-se maiores valores de gs em menores valores de DPV em ambos os experimentos, seguido de decréscimo exponencial em gs quanto maior o valor de DPV. O maior valor de gs no plantio de outono $0,098 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foi registrado com DPV igual a 0,36 kPa, enquanto no plantio de inverno o maior valor de gs $0,092 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foi observado com DPV igual a 0,25 kPa. A menor média de gs registrada no plantio de outono foi de $0,021 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com DPV igual a 1,85 kPa, enquanto no plantio de inverno o menor valor médio de gs $0,024 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foi observado com DPV igual a 1,69 kPa não havendo diferença entre os tratamentos (Figura 2).

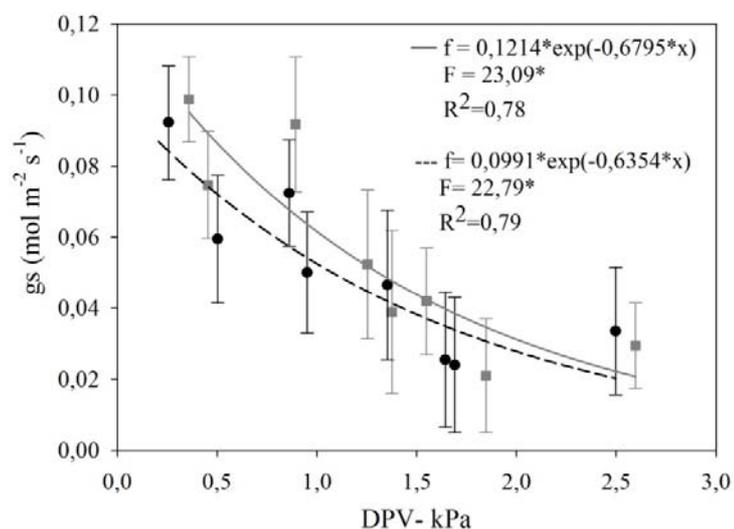


Figura 2. Conduância estomática em função do déficit de pressão de vapor da atmosfera durante o cultivo de copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

Foi observado na análise de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) em folhas de mudas de copo-de-leite, que de modo geral, os maiores valores ocorreram na faixa de 250 a 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de irradiância. No plantio de outono a maior densidade foi observada com 303 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e mínima com 427 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; enquanto no de inverno a maior densidade foi com 285,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e mínima com 637 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 3).

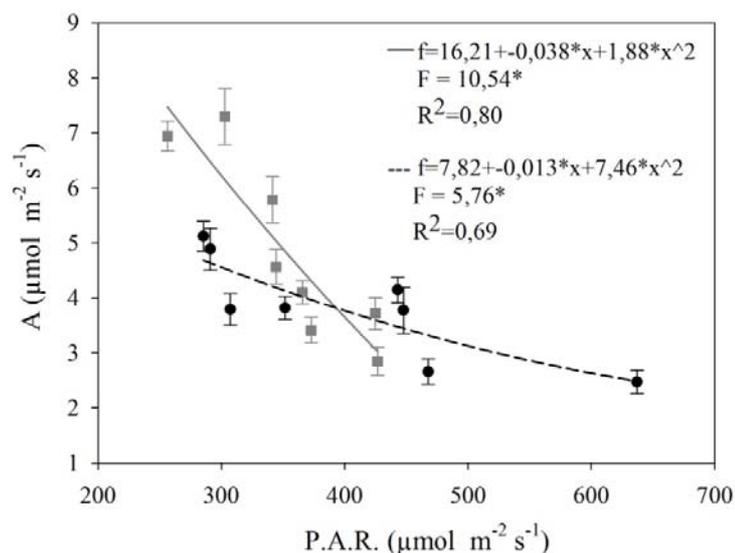


Figura 3. Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), em folhas de plantas de copo-de-leite plantadas no outono (—) e inverno (----), dado pela fotossíntese líquida em função da irradiância.

Na análise de condutância estomática, as plantas de copo-de-leite plantadas no outono e inverno apresentaram resultados semelhantes em função de GDD. O maior valor no plantio de outono foi observado com 555,05 GDD, correspondendo aos 30 dias após o plantio, com média de $0,98 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; enquanto no mesmo período no inverno foi observado máxima de $0,092 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 519,3 GDD. Posteriormente, houve progressiva redução das curvas até atingir $0,023 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com 3598,71 GDD no outono e $0,033 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 3790,09 GDD no plantio de inverno no mesmo período, correspondendo aos 210 dias de cultivo (Figura 4).

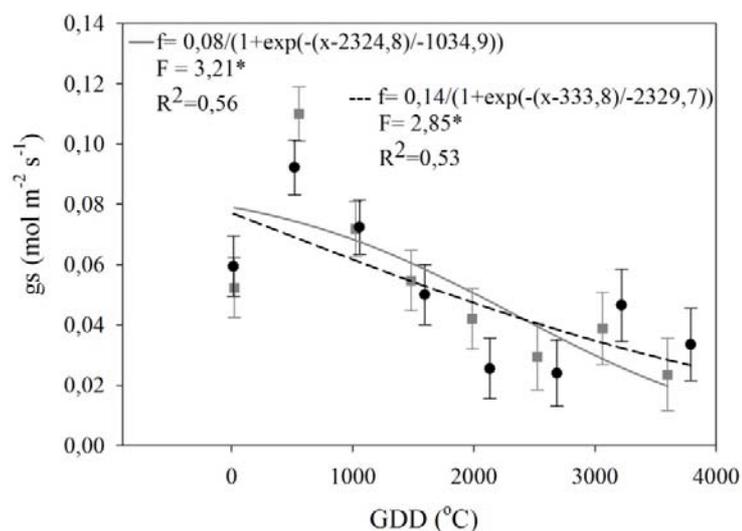


Figura 4. Condutância estomática em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em folhas de copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

Na análise de transpiração foliar no plantio de outono o maior valor médio observado foi de $1,19 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com 555,05 GDD, correspondendo aos 30 dias após o plantio; enquanto a máxima $1,44 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no plantio de inverno foi observada com 1055,61 GDD, correspondendo aos 60 dias após o plantio. Na sequência foi observada progressiva redução nas curvas em função de GDD, com mínima de $0,53 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ao atingir 3598,71 GDD no cultivo de outono e $0,63 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com 3790,09 GDD no cultivo de inverno, no mesmo período, correspondente aos 210 dias após o plantio, caracterizando o envelhecimento foliar (Figura 5).

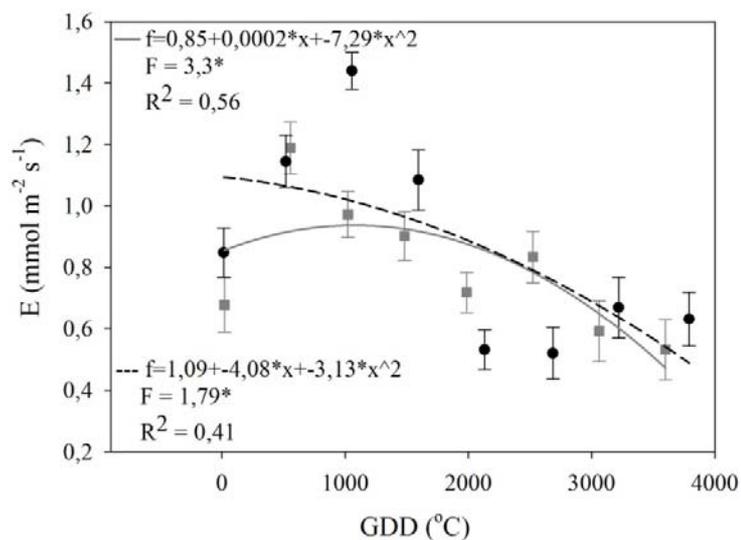


Figura 5. Transpiração em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em folhas de copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

O cultivo de outono apresentou maior eficiência do uso de água em função de GDD em relação ao plantio de mudas no inverno, dos 20 aos 2522,66 GDD, ou seja, apresentou maiores valores médios desta variável na maior parte do tempo de avaliação. O maior valor observado no outono foi aos 1022,75 GDD com média de 7,5 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$, correspondente aos 60 dias de cultivo, seguido de redução progressiva em função do tempo de cultivo, atingindo mínima de 4,45 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ com 3598,71 GDD, aos 210 de cultivo (Figura 6).

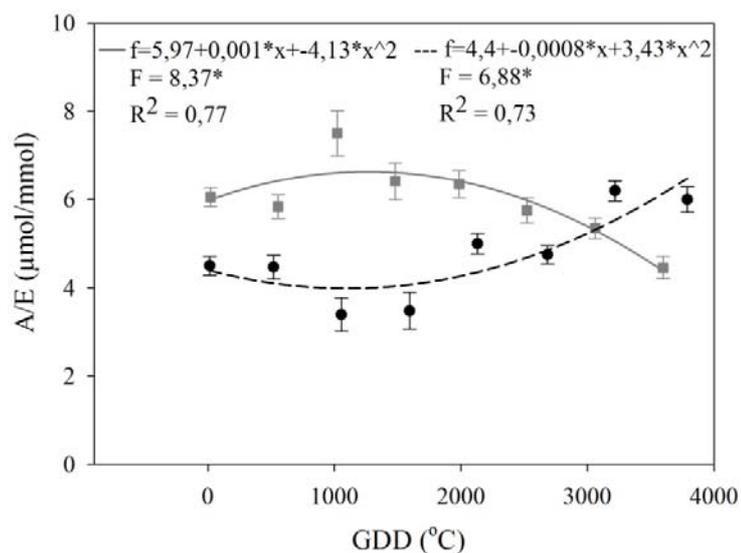


Figura 6. Eficiência do uso da água em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em folhas de copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (----) dado pela razão da taxa de fotossíntese líquida pela taxa de transpiração (A/E).

No cultivo de inverno foi observado um comportamento inverso com menor valor médio $3,4 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ aos $1055,61$ GDD e maior valor médio $6,2 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ com $3218,68$ GDD, correspondente aos 60 e 180 dias respectivamente.

As plantas de outono apresentaram maior quantidade de folhas e área foliar total capazes de captar maior quantidade de irradiância, resultando em maior taxa de fotossíntese líquida e maior eficiência do uso da luz em relação às plantas de copo-de-leite plantadas no inverno (Figura 7).

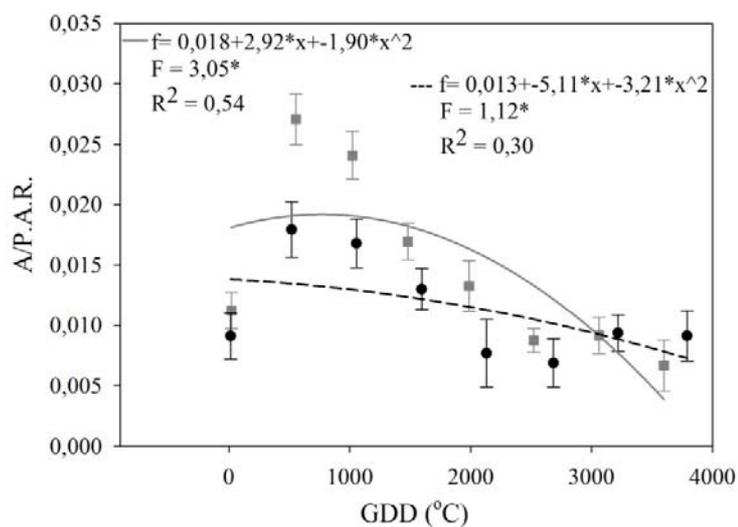


Figura 7. Eficiência do uso da luz em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em folhas de copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (----) dado pela razão da taxa de fotossíntese líquida pela irradiância (A/P. A.R.).

O copo-de-leite quando plantado no outono apresenta maior eficiência do uso da luz praticamente durante todo o período avaliado, dos 20,45 aos 3061,48 GDD, ou seja, correspondente até aos 180 dias de cultivo. Os maiores valores foram registrados aos 555,05 GDD acumulados com média de 0,027. Seguido de redução progressiva da eficiência do uso da luz em função do tempo de cultivo, caracterizando o envelhecimento foliar, até atingir mínima de 0,0067 com 3598,71 GDD. Já no cultivo de inverno, a maior eficiência foi registrada aos 519,3 GDD com média de 0,018. Seguido de redução progressiva da eficiência em função do tempo de cultivo com mínima de 0,0039 com 2685,4 GDD.

Foi observado maiores valores de fotossíntese líquida (A) no plantio de outono dos 20,45 aos 2522,66 GDD. A maior taxa foi observada com 1022,75

GDD com média de $7,29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Após esse intervalo, houve redução gradativa até atingir média de $1,84 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 3598,71 GDD. Já o plantio de inverno apresentou menores taxas de fotossíntese líquida em praticamente todo o período de avaliação com máxima de $5,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com 519,3 GDD e mínima de $2,47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com 2685,4 GDD (Figura 8).

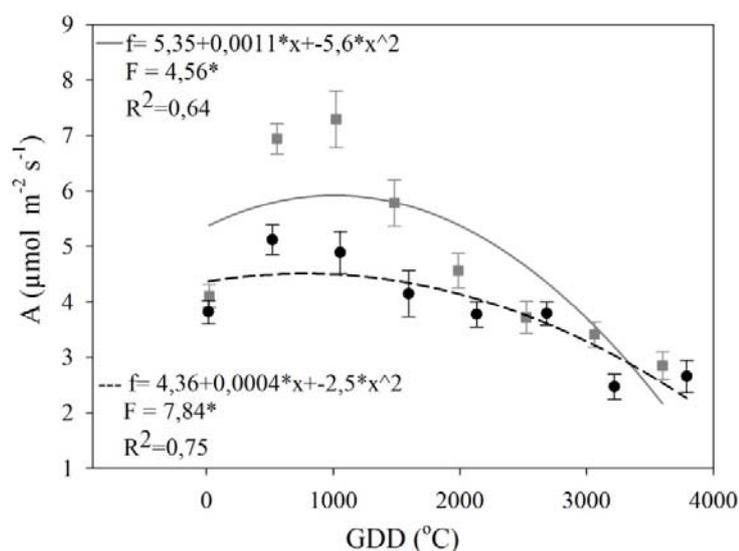


Figura 8. Fotossíntese líquida (A) em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em folhas de copo-de-leite plantado no outono (—) e inverno (-----).

Também foi avaliada a eficiência fotoquímica do fotossistema II em ambos os experimentos, mas não foi observado diferença entre os mesmos. O cultivo de inverno apresentou maiores valores médio em relação ao plantio de outono com máxima de 0,69, registrada quando somado 1594,43 GDD. Enquanto no plantio de outono foi observada média máxima de 0,68 com 1481,75 GDD no mesmo período. Na sequência houve redução da eficiência em

ambos os tratamentos com mínima de 0,64 com 3790,09 GDD no plantio de inverno e 0,62 com 3598,71 GDD no outono, em mesmo período correspondente aos 210 dias de cultivo (Figura 9).

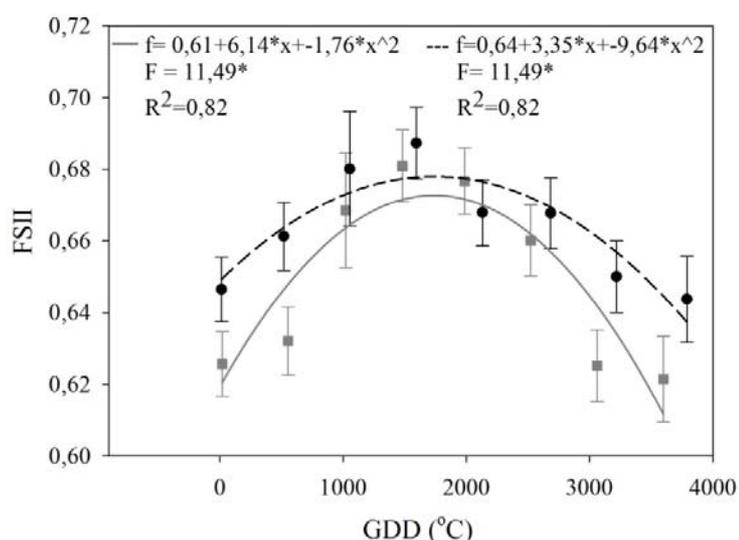


Figura 9. Eficiência do fotossistema II em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) em folhas de copo-de-leite plantado no outono(—) e inverno (-----).

A produção de hastes florais foi maior no plantio de outono, com início do florescimento aos 111 dias de cultivo, quando acumulado 1816,62 GDD. A redução da produção ocorreu aos 172 dias com acúmulo térmico de 2919,64 GDD. Desse modo, as plantas de copo-de-leite plantadas no outono permaneceram 62 dias na fase de florescimento, sendo que a maior produção ocorreu entre 2200 e 2600 GDD. A produção de hastes florais foi menor no plantio de inverno com início do florescimento aos 41 dias de cultivo, quando acumulado 706,25 GDD. A redução da produção ocorreu aos 76 dias com acúmulo térmico de 1313,19 GDD. Desse modo, as plantas de copo-de-leite

plantadas no inverno permaneceram 36 dias na fase de florescimento, sendo que a maior produção ocorreu entre 900 e 1100 GDD (Figura 10).

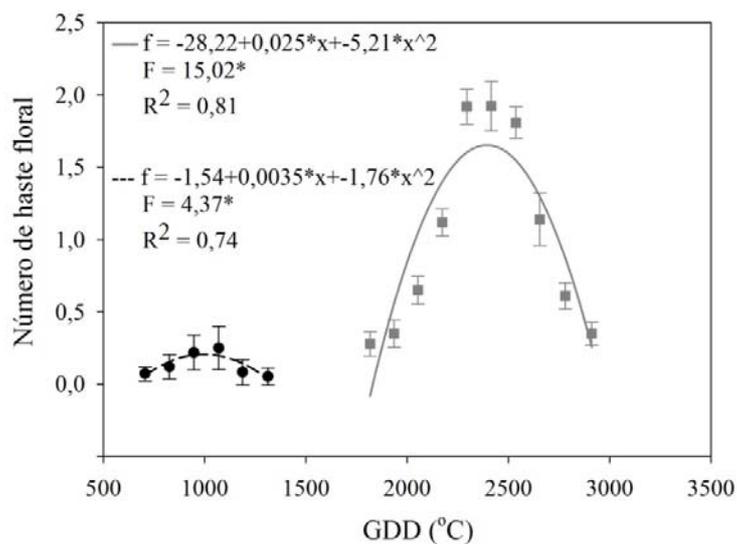


Figura 10. Produção média por vaso de hastes florais de copo-de-leite em função de graus-dia de desenvolvimento (GDD) quando plantado no outono (—) e inverno (-----).

4 DISCUSSÕES

A resposta de g_s em função do DPV não é dependente da época de plantio, outono ou inverno, para mudas de copo-de-leite.

Na fase inicial da ação dos fatores ambientais sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas pode-se considerar o mecanismo estomático como alvo primário. Os comprometimentos na assimilação fotossintética do carbono e na taxa de transpiração, por meio da ação estomática à difusão de vapor podem afetar o crescimento e diminuir a produtividade das plantas. O fato de as trocas gasosas em folhas apresentarem uma grande sensibilidade aos fatores climáticos, principalmente, a maior sensibilidade à diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) se deve à baixa condutividade hidráulica do sistema radicular (FRANKS; FARQUHAR, 1999).

Franks e Farquhar (1999) estudaram as respostas dos estômatos às mudanças no teor de água na atmosfera, demonstrando que existem diferenças entre as espécies, em relação à sensibilidade dos estômatos. O DPV pode ser o principal fator controlador das trocas gasosas e da produção de matéria seca das plantas. Apesar de não ter sido observado esta relação para as mudas de copo-de-leite plantadas no outono e inverno. Entretanto, possivelmente existe uma modulação da relação fonte e dreno na cultura do copo-de-leite em função das condições ambientais nas diferentes estações avaliadas (FUNNELL et al., 2002; FUNNELL; HEWETT, 2002).

Pelo déficit de pressão de vapor do ar entre 1,0 e 0,2 kPa (55 a 90% UR, a 20°C) verificou-se pouco efeito sobre os processos fisiológicos como a fotossíntese e de desenvolvimento de plantas hortícolas (GRANGE; HAND, 1987). El-Sharkawy, Cock e Hernandez (1985) descreveram que a espécie *Carica papaya* foi responsiva ao $DPV_{folha-ar}$. Em ambientes com uma variação de $DPV_{folha-ar}$ de 3,5 a 4,5 kPa, os valores da taxa fotossintética líquida

(A) foram 40% inferiores aos medidos em folhas de plantas crescidas em ambientes com 1,0 a 1,5 kPa de $DPV_{\text{folha-ar}}$.

A taxa de fotossíntese líquida é limitada pela radiação acima de $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em plantas de copo-de-leite, necessitando de maior concentração da enzima rubisco no mesófilo foliar para fixação de carbono interno por tratar-se de uma planta com metabolismo do tipo C_3 (LINO-NETO et al., 2004). No plantio de outono observou-se a relação de maiores taxas de fotossíntese líquida em menores valores de irradiância, em temperaturas mais baixas, resultando em maior acúmulo de matéria seca. Já no plantio de inverno observaram-se menores taxas de fotossíntese líquida devido aos maiores valores de irradiância em temperaturas mais elevadas, resultando menor acúmulo de matéria seca.

Quanto à condutância em folhas de plantas de copo-de-leite não houve limitação estomática nos plantios de outono e inverno. O copo-de-leite possui estômatos nos pecíolos, nos pedúnculos florais e nas folhas (YIOTIS; MANETAS, 2010). Todavia, a densidade estomática foliar é até 50% maior em relação aos outros órgãos. De modo geral, a densidade estomática de *Zantedeschia aethiopica* é baixa devido ao nicho ecológico que ela ocupa, ou seja, áreas úmidas com irradiância mediana, justificando os baixos valores médios observados de condutância estomática.

No copo-de-leite a taxa de assimilação líquida de CO_2 é consideravelmente maior nas folhas, tanto a nível limitante quanto aos níveis com saturação luminosa. Além disso, a condutância estomática foliar em copo-de-leite pode aumentar em função da intensidade ótima de luz, próximo de $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de irradiância (YIOTIS; MANETAS, 2010).

As plantas de copo-de-leite plantadas no outono permaneceram na maior parte do tempo a temperaturas mais baixas, enquanto as plantadas no inverno permaneceram em temperaturas mais elevadas após essa estação, ou seja, na primavera e verão. Reduções substanciais na condutância do mesófilo em

temperaturas elevadas foram relatadas para o tabaco e espinafre (BERNACCHI et al., 2002; WARREN; DREYER, 2006).

Contudo, não foi observada essa relação em copo-de-leite quando plantado no outono e inverno. Tais resultados de condutância estomática em função de GDD indicam que não houve alterações ambientais na casa de vegetação e que o processo de antogênese foliar não é dependente das épocas de plantio: outono e inverno. Entretanto, verificaram-se menores taxas fotossintéticas no plantio de inverno em relação às plantas cultivadas no outono.

Altas temperaturas podem contribuir para redução da condutância estomática e pode afetar a condutância do mesofilo, levando à redução intercelular da concentração de CO₂ (C_i) e fotossíntese líquida em plantas C₃ (FLEXAS et al., 2006; IGLESIAS-ACOSTA et al., 2010; LEAKEY et al., 2009). Sendo assim, para se entender os efeitos de várias alterações em processos fisiológicos de plantas, frente às alterações climáticas, são necessários estudos coletivos que integrem maior número de variáveis (DERMODY, 2006).

As maiores taxas de transpiração no plantio de inverno estão relacionadas com as maiores faixas de temperatura após os 60 dias de cultivo. Isso ocorreu, pois houve a mesma disponibilidade de água e nutrientes para ambos os experimentos, ou seja, não houve estresse hídrico ou nutricional nas plantas de copo-de-leite, possibilitando a abertura estomática no plantio de inverno, mesmo com temperaturas mais elevadas, resultando em maior taxa de transpiração. No entanto, a redução da taxa de transpiração em temperaturas elevadas pode ocorrer devido ao fechamento dos estômatos o que pode induzir aumento da fotorrespiração foliar (NIYOGI, 2000).

Os dados de eficiência do uso da água e de luz em plantas de copo-de-leite apresentam respostas de idade foliar no ambiente de cultivo. O aumento da taxa de fotossíntese líquida foi decorrente do aumento da irradiância até 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, não apresentando limitações hídricas ou nutricionais. A maior

eficiência do uso da água no plantio de outono foi decorrente à maior eficiência da luz em plantas de copo-de-leite plantadas nessa estação, apresentando limitação por irradiância acima de $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ principalmente no plantio de inverno. Sendo assim, o copo-de-leite deve ser cultivado preferencialmente em ambientes sombreados.

O copo-de-leite pertence ao grupo das monocotiledôneas com metabolismo do tipo C_3 (LINO-NETO et al., 2004). Nesse tipo de metabolismo, a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) nas folhas pode ser limitada por diferentes faixas de temperatura fora das consideradas ótimas, entre 15 e 30 °C (SAGE; KUBIEN, 2007). Possivelmente, esse efeito limitante para fixação de carbono tenha ocorrido na fase inicial de cultivo das mudas de copo-de-leite quando plantadas na estação de inverno.

O copo-de-leite é uma planta tolerante e adaptada para otimizar a taxa fotossintética em seu habitat natural com baixa irradiância. A fotossíntese líquida aumenta à medida que a folha se desenvolve. Quando as folhas atingem expansão acima de 85% podem ser observados valores máximos de trocas gasosas (FUNNELL; HEWETT, 2002).

A fotossíntese líquida pode ser definida como a capacidade máxima de carboxilação menos a taxa de respiração e fotorrespiração (IGLESIAS-ACOSTA et al., 2010). Valores máximos de fotossíntese líquida em copo-de-leite ($10,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram observados em plantas cultivadas sob saturação luminosa, alto fluxo de fótons fotossinteticamente ativos $694 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura de 28 °C. De modo geral, o copo-de-leite cresce linearmente na faixa de temperatura entre 13 a 28 °C, tendo uma relação direta entre a quantidade de fótons fotossinteticamente ativos nas folhas para fixação de carbono e produção vegetal em condições favoráveis até a senescência foliar (FUNNELL; HEWETT, 2002).

Todavia, a taxa máxima de fotossíntese pode ser atingida em temperatura ótima de cultivo que corresponde em média o meio da faixa não nociva ou prejudicial e reduz a taxa com o aumento da inclinação da curva. Com as mudanças nas condições de cultivo a temperatura ótima pode se deslocar em até um terço do número de graus (ATKIN; SCHEURWATER; PONS, 2006; LAWLOR; TEZARA, 2009).

O adiantamento do plantio implica em maturidade precoce da planta e pode comprometer a atividade metabólica do aparato fotossintético, prejudicando a produtividade na fase reprodutiva devido à redução na eficiência do uso da água e no fluxo de energia na planta. A antecipação da maturidade devido ao adiantamento da época de plantio também pode resultar em aumento da taxa de transpiração da planta e maior fluxo de água (SACKSA; KUCHARIK, 2011), o que foi igualmente observado para a cultura do copo-de-leite plantada no inverno. Isso ocorreu, pois houve maior acúmulo de GDD caracterizando a maturidade precoce e maiores taxas de transpiração, resultando em menor taxa de desenvolvimento dos órgãos vegetativos e conseqüentemente menor produção de hastes florais neste período.

Quanto à atividade fotoquímica do copo-de-leite, entre 0 a 1000 GDD e 3000 a 4000 GDD, observa-se fotoinibição em folhas de plantas de copo-de-leite quando plantado no outono e inverno. Os maiores valores foram observados com acúmulo entre 1400-1800 GDD. Nesse período, ocorre maior demanda de água e nutrientes para a planta independente da estação de cultivo avaliada. Tais dados de eficiência do fotossistema II indicam as fases de crescimento e desenvolvimento de copo-de-leite quando relacionados com a idade foliar que compõe os estágios de desenvolvimento como: expansão, maturação e senescência foliar.

O envelhecimento precoce de órgãos vegetativos de copo-de-leite, dado pela época de plantio e maior acúmulo de GDD, pode provocar problemas no

ciclo biológico da espécie e como consequência afetar o ciclo reprodutivo e produção de hastes florais onde está concentrado seu valor econômico (FUNNELL; HEWETT, 2002; SCHRADER et al., 2004).

De modo geral, as maiores taxas de trocas gasosas de copo-de-leite ocorrem próximo de 1000 GDD, período em que as folhas alcançam a maturação, correspondendo aos 60 dias após o plantio. A expansão foliar pode continuar até atingir aproximadamente 1600 GDD, correspondendo aos 100 dias de cultivo, seguida da redução das taxas, devido ao envelhecimento foliar. O envelhecimento foliar pode provocar oxidação e redução da atividade das moléculas de clorofila e carotenoides, inativação de cloroplastos, lise e extravasamento celular até a senescência foliar (LAWLOR; TEZARA, 2009; SCHRADER et al., 2004).

Nas condições do estudo, isso implica dizer que o copo-de-leite apresenta ciclo foliar entre 110 a 130 dias na estação de outono e entre 90 a 110 dias no inverno. As menores taxas de trocas gasosas avaliadas foram observadas entre 2500 a 3500 GDD, principalmente no plantio de inverno, devido ao envelhecimento foliar precoce. Esse intervalo de GDD no plantio de outono corresponde dos 150 aos 210 dias após o plantio e de 140 aos 190 dias no inverno.

Essas evidências apontam para uma interação múltipla dos fatores ambientais tais como: irradiância, temperatura e disponibilidade de água para o crescimento e desenvolvimento satisfatório da espécie. Portanto, o plantio de mudas de copo-de-leite necessita de irradiância entre 250 a 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, acondicionadas em temperaturas entre 25 a 30 °C na fase inicial de crescimento até atingir 1000 GDD, seguido de redução da temperatura entre 12 a 15 °C até atingir 3500 GDD, possibilitando maior produtividade de hastes florais.

5 CONCLUSÕES

O plantio de outono apresentou-se como a melhor época de cultivo, pois temperaturas mais amenas prolongam o ciclo biológico de plantas de copo-de-leite até a fase de florescimento. Nessa época de plantio observou-se: maior densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, maior eficiência do uso da água, maior eficiência do uso da luz e maiores taxas de fotossíntese líquida.

É possível caracterizar os estágios de desenvolvimento e idade foliar de copo-de-leite de acordo com os níveis de trocas gasosas. O copo-de-leite necessita de irradiância entre 250 a 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, temperatura entre 25 a 30 °C na fase inicial de crescimento até atingir 1000 GDD, seguido de redução da temperatura entre 12 a 15 °C até atingir 3500 GDD, possibilitando maior produtividade de hastes florais.

REFERÊNCIAS

ATKIN, O. K.; SCHEURWATER, I.; PONS, T. L. High thermal acclimation potential of both photosynthesis and respiration in two lowland *Plantago* species in contrast to an alpine congeneric. **Global Change Biology**, Malden, v. 12, n. 3, p. 500-515, Mar. 2006.

BERNACCHI, C. J. et al. Temperature response of mesophyll conductance: implications for the determination of Rubisco enzyme kinetics and for limitations to photosynthesis in vivo. **Plant Physiology**, Rockville, v. 130, n. 4, p. 1992-1998, Apr. 2002.

BLOOMZ. **Bloomz on line**. Melbourne, 2011. Disponível em: <<http://www.bloomz.co.nz/Products/Zantedeschia/History-Habitat>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

DERMODY, O. Mucking through multifactor experiments: design and analysis of multifactor studies in global change research. **New Phytologist**, Oxford, v. 172, n. 4, p. 589-591, Apr. 2006.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; HERNANDEZ, A. D. P. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 7, n. 2, p. 137-149, Apr. 1985.

FLEXAS, J. et al. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 127, n. 3, p. 343-352, Mar. 2006.

FRANKS, P. J.; FARQUHAR, G. D. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C₃ plants. **Plant Cell and Environment**, Malden, v. 22, n. 11, p. 1337-1349, Nov. 1999.

FUNNELL, K. A. et al. Leaf mass partitioning as a determinant of dry matter accumulation in *Zantedeschia*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 6, p. 973-979, Dec. 1998.

_____. Tuber dry-matter accumulation of *Zantedeschia* in response to temperature and photosynthetic photon flux. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Dundee, v. 77, n. 4, p. 446-455, Aug. 2002.

FUNNELL, K. A.; HEWETT, E. W. Acclimation of photosynthetic activity of *Zantedeschia* 'Best Gold' in response to temperature and photosynthetic photon flux. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 127, n. 2, p. 290-296, Apr. 2002.

GRANGE, R. I.; HAND, D. W. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Dundee, v. 62, n. 1, p. 125-134, Mar. 1987.

IGLESIAS-ACOSTA, M. et al. The response of broccoli plants to high temperature and possible role of root aquaporins. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 68, n. 1, p. 83-90, Jan. 2010.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University, 1992. 85 p.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 561-579, Apr. 2009.

LEAKEY, A. D. B. et al. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 10, p. 2859-2876, Oct. 2009.

LINO-NETO, T. et al. Identification of *Zantedeschia aethiopica* *Cat1* and *Cat2* catalase genes and their expression analysis during spathe senescence and greening. **Plant Science**, Davis, v. 167, n. 4, p. 889-898, Apr. 2004.

LINS, S. R. O.; COELHO, R. S. B. Ocorrência de doenças em plantas ornamentais tropicais no Estado de Pernambuco. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 332-335, maio/jun. 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MOTA, P. R. D. A. et al. Desenvolvimento de plantas de crisântemo cultivadas em vaso em resposta a níveis de condutividade elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 164-171, 2007.

NIYOGI, K. K. Safety valves for photosynthesis. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 3, n. 6, p. 455-460, Dec. 2000.

SACKSA, W. J.; KUCHARIK, C. J. Crop management and phenology trends in the U.S. Corn Belt: impacts on yields, evapotranspiration and energy balance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 7, p. 882-894, July 2011.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant Cell and Environment**, Malden, v. 30, n. 9, p. 1086-1106, Sept. 2007.

SALAZAR-PARRA, C. et al. Climate change (elevated CO₂, elevated temperature and moderate drought) triggers the antioxidant enzymes' response of grapevine cv. Tempranillo, avoiding oxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 144, n. 2, p. 99-110, Feb. 2012.

SCHRADER, S. M. et al. Thylakoid membrane responses to moderately high leaf temperature in pima cotton. **Plant Cell and Environment**, Malden, v. 27, n. 6, p. 725-735, June 2004.

TJIA, B. O. *Zantedeschia*. In: HALEVY, A. H. (Ed.). **Handbook of flowering**. Boca Raton: CRC, 1989. v. 6, p. 697-702.

VILLA-NOVA, N. A. et al. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas: máximas e mínimas**. São Paulo: USP, 1972. 8 p. (Caderno de Ciências da Terra, 30).

WARREN, C. R.; DREYER, E. Temperature response of photosynthesis and internal conductance to CO₂: results from two independent approaches. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, n. 12, p. 3057-3067, Dec. 2006.

YIOTIS, C.; MANETAS, Y. Sinks for photosynthetic electron flow in green petioles and pedicels of *Zantedeschia aethiopica*: evidence for innately high photorespiration and cyclic electron flow rates. **Planta**, New York, v. 232, n. 2, p. 523-531, Feb. 2010.

YIOTIS, C.; PSARAS, G. K. *Dianthus caryophyllus* stems and *Zantedeschia aethiopica* petioles/pedicels show anatomical features indicating efficient photosynthesis. **Flora**, Jena, v. 206, n. 4, p. 360-364, Apr. 2011.