

PACLOBUTRAZOL E RESTRIÇÃO HÍDRICA NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE CAFÉ

André Felipe Fialho Ribeiro¹, Sylvana Naomi Matsumoto², Paula Acácia Silva Ramos³, Jefferson Luan Dias dos Santos⁴, Ednilson Carvalho Teixeira⁵, Lucialdo Oliveira d'Arêde⁶, Anselmo Eloy Silveira Viana⁷

(Recebido: 24 de novembro de 2016; aceito: 08 de março de 2017)

RESUMO: O paclobutrazol pode atenuar os efeitos negativos do estresse hídrico em diversas espécies vegetais, todavia, para cafeeiros é necessário ampliar a base de conhecimentos sobre este tema. Neste estudo, objetivou-se avaliar a morfofisiologia de plantas jovens de *Coffea arabica* var. 'Catuai Vermelho IAC 144' em resposta a diferentes regimes hídricos e concentrações de paclobutrazol aplicado via solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Vitória da Conquista, BA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com esquema fatorial representado por cinco concentrações de paclobutrazol (0, 50, 100, 150 e 200 mg L⁻¹) aplicado via solo e dois regimes hídricos (com e sem restrição hídrica), em cinco repetições. Aos 120 dias após a aplicação do regulador vegetal avaliou-se o *status* hídrico, o índice SPAD e as características morfológicas das plantas. A aplicação de paclobutrazol reduziu o índice SPAD e a área foliar individual, e favoreceu o *status* hídrico dos cafeeiros sob restrição hídrica. As plantas jovens de café, sem restrição hídrica e tratadas com o regulador vegetal, tiveram maior retenção foliar e índice SPAD, e menor área foliar individual. A aplicação de paclobutrazol em concentrações elevadas resultou em plantas mais compactas. A restrição hídrica proporcionou menor área foliar total, número de ramos e massa seca dos cafeeiros.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, inibidor de crescimento, triazol, estresse hídrico, biometria.

PACLOBUTRAZOL AND WATER RESTRICTION ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF COFFEE PLANTS

ABSTRACT: Paclobutrazol can mitigate the negative effects of water stress in many plant species, however, for coffee plants is necessary to expand the knowledge base on the subject. In this research it was aimed to evaluate the morphophysiology of young plants of *Coffea Arabica* cv. 'Catuai Vermelho IAC 144' in response to different water regimes and paclobutrazol concentrations applied in the soil. The trial was carried out in a greenhouse at Vitória da Conquista, BA. The experimental design was a randomized block with factorial arrangement represented by five concentrations of paclobutrazol (0, 50, 100, 150 and 200 mg L⁻¹) applied in the soil and two water regimes (with and without water restriction) in five replicates. At 120 days after the application of plant growth regulator was evaluated the water status, the SPAD index and the morphological characteristics of plants. The application of paclobutrazol reduced the SPAD index and individual leaf area, and favored the water status of coffee plants under water restriction. The young coffee plants without water restriction and treated with the plant growth regulator, had higher leaf retention and SPAD index, and lowest individual leaf area. Paclobutrazol at high concentrations resulted in plants more compact. The water restriction provided less total leaf area, number of branches and dry weight of the coffee.

Index terms: *Coffea arabica*, growth inhibitor, triazole, water stress, biometry.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura de grande importância socioeconômica, representando a segunda maior *commodity* no mundo (NABAIS et al., 2008). O Brasil é o maior produtor e exportador mundial desse produto, com produção e exportação estimadas em mais de 43,23 e 28,54 milhões de sacas beneficiadas na safra de 2015, respectivamente (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2015).

No cenário climático atual, em diversas

regiões agrícolas do Brasil, as lavouras de café são constantemente expostas a adversidades climáticas que limitam seu estabelecimento inicial em campo, refletindo negativamente no potencial produtivo. Dentre estas, a intensa radiação solar, baixo volume pluviométrico e a sazonalidade das precipitações são as mais limitantes.

O déficit hídrico pode ocasionar drásticas alterações no metabolismo vegetal, de modo a reduzir o potencial hídrico foliar, teor relativo de água na folha (GALMÉS; MELDRANO; FLEXAS, 2007), condutância estomática, teor de

^{1,2,3,4,5,7}Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB - Departamento de Fitotecnia e Zootecnia/DFZ - Cx. P. 95 - 45.031-900 Vitória da Conquista - BA - andrefelipe.agro@gmail.com, sylvanaonami@yahoo.com.br, paula_agro_ramos@yahoo.com.br, jeffersonluan.santos@hotmail.com, ed.cezar@hotmail.com, ae-viana@uol.com.br

⁶Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas/IFAM - Rua Santos Dumont - 69.640-000 - Tabatinga - AM lucialdo@hotmail.com

clorofila foliar, taxa fotossintética (ANJUM et al., 2011; ZHOU et al., 2013), crescimento e acúmulo de massa na planta (JALEEL et al., 2008).

Mesmo em lavouras de alto padrão tecnológico, com manejo adequado de irrigação, a ocorrência de altas temperaturas eleva a evapotranspiração, de modo a limitar a disponibilidade hídrica e comprometer o status hídrico das plantas de café (CONAB, 2015).

Os reguladores de crescimento vegetal, sobretudo os inibidores da síntese de giberelinas, têm sido adotados no manejo tradicional de culturas altamente tecnificadas (CORDÃO SOBRINHO et al., 2007; MOUCO; ONO; RODRIGUES, 2011; VIANA et al., 2008). A capacidade de modulação que estes compostos apresentam, tem substancial importância frente às frequentes adversidades climáticas.

O paclobutrazol (PBZ) [(2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-pentan-3-ol] é um regulador de crescimento pertencente ao grupo dos triazóis, capaz de inibir a biossíntese de giberelinas (BANINASAB; GHOBADI, 2011). Esta substância atua inibindo as mono-oxigenases dependentes do citocromo P450, que catalisam as etapas oxidativas da conversão de *ent*-caureno para ácido *ent*-caurenóico no retículo endoplasmático (RADEMACHER, 2016).

O efeito do PBZ tem variações de acordo com a dosagem, estágio fenológico e forma de aplicação. Quando aplicado via solo, o PBZ é absorvido passivamente pelas raízes, movendo-se por meio do xilema para folhas e brotos (BENNETT et al., 2014).

A aplicação de PBZ pode resultar em plantas mais compactas, com maior crescimento do sistema radicular (BRITO et al., 2016; FERNÁNDEZ et al., 2006), acréscimo nos teores de clorofilas da folha (NIZAM; TE-CHATO, 2009), aumento na taxa fotossintética e decréscimo na taxa de transpiração (JALEEL et al., 2007), e elevação da produção de antioxidantes (SRIVASTAV et al., 2010). Estes efeitos em conjunto podem contribuir para a melhoria do *status* hídrico das plantas, de modo a proporcionar maior tolerância ao déficit hídrico.

O PBZ pode atenuar os efeitos negativos do estresse hídrico em diversas espécies vegetais, como trigo (ALY; LATIF, 2011), maçã (ZHU et al., 2004), amendoim (SANKAR et al., 2007) e gergelim (SOMASUNDARAM et al., 2009). Para cafeeiros, todavia, o conhecimento sobre tal tecnologia ainda é escasso, havendo necessidade de mais estudos sobre o tema.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a morfofisiologia de plantas jovens de *Coffea arabica* L. cv. 'Catuaí Vermelho IAC 144' em resposta a diferentes regimes hídricos e concentrações de paclobutrazol aplicado via solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Vitória da Conquista, durante os meses de setembro de 2014 a fevereiro de 2015. A área experimental localiza-se nas coordenadas 40° 48' 02" W e 14° 53' 08" S, a uma altitude de 882 m. O clima do município, conforme classificação climática de Köppen-Geiger é do tipo Cwb (tropical de altitude). A temperatura média anual é de 20,2°C e a precipitação média é de 733,9 mm por ano, com período chuvoso bem definido concentrado entre novembro e janeiro (SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA-SEI, 2013).

O ensaio foi realizado em casa de vegetação com 50% de restrição luminosa, coberta por plástico transparentee revestida lateralmente com tela tipo sombrite. Utilizou-se mudas de *C. arabica* cv. 'Catuaí Vermelho IAC 144', obtidas em viveiro credenciado localizado no município de Barra do Choça – BA. Quando apresentavam três pares de folhas maduras (aproximadamente quatro meses de idade), as mudas foram transplantadas individualmente para vasos com capacidade de 20 dm³.

Os recipientes foram preenchidos com uma mistura de solo (LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico) e matéria orgânica (esterco bovino), na proporção 3:1, homogeneizada utilizando peneira de cinco milímetros. A calagem e adubação do substrato foram realizadas com base na análise química do solo, e conforme recomendação técnica da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, representado por cinco concentrações de paclobutrazol e dois regimes hídricos, em cinco repetições. Cada parcela experimental foi representada por um vaso contendo uma planta de café.

Para definição dos regimes hídricos (com e sem restrição hídrica), as plantas foram conduzidas em dois turnos de rega diferentes. No regime com restrição hídrica, as plantas foram irrigadas a cada sete dias, durante 120 dias após a aplicação

do regulador de crescimento, com ressuprimento hídrico na capacidade de campo. O período de sete dias foi determinado pela observação de experimentos anteriores, em que turnos de rega superiores causaram efeitos demasiadamente drásticos aos cafeeiros. Para as plantas conduzidas sem restrição hídrica foi mantida a condição de máxima capacidade de campo constantemente, verificada diariamente.

Inicialmente, seis vasos controle (três para cada regime hídrico), foram condicionados à sua máxima capacidade de retenção de água, por meio de saturação com posterior drenagem gravimétrica até obter peso constante. Foi calculado o peso médio dos vasos para cada regime hídrico, obtendo assim o peso inicial (PI). Na data de cada reposição hídrica (diária ou semanal), foi realizada a pesagem dos vasos controle, com posterior média, de modo a obter o peso final (PF). A quantidade de água a ser aplicada em cada regime hídrico (QA), em litros, foi determinada pela seguinte equação: $QA = PI - PF$, sendo os pesos expressos em quilograma.

Plantas com cinco pares de folhas expandidas e altura de 17 cm, foram submetidas a uma única aplicação da solução do produto comercial Cultar 250 SC® (250 g i.a. L⁻¹ de paclobutrazol) via solo, nas concentrações de 0, 50, 100, 150 e 200 mg L⁻¹ do ingrediente ativo (PBZ), com volume de 250 mL por planta.

As avaliações foram realizadas aos 120 dias após a aplicação (DAA) do paclobutrazol, quando as plantas ainda se encontravam na fase juvenil. Foram analisados os seguintes parâmetros: potencial hídrico foliar (Ψ_w), teor relativo de água na folha (TRA), altura da planta (entre a base do caule e o meristema apical), diâmetro do caule (medido a 0,01 m acima do nível do solo), intensidade da cor verde na folha (índice SPAD), número de folhas e de ramos laterais, área foliar total (AFT) e individual (AFI), e massa seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR), e total (MST).

O Ψ_w , TRA e índice SPAD foram obtidos na primeira folha totalmente expandida a partir do ápice da haste principal. O Ψ_w foi determinado por meio de bomba de pressão (PMS 1000, PMS, Inglaterra), no período antemanhã, de acordo metodologia de Scholander et al. (1965), e as leituras convertidas para MPa. O TRA foi obtido conforme metodologia de Čatský (1960), utilizando-se a equação: $TRA = [(MF - MS)/(MT - MS)] \times 100$, onde MF, MT e MS são as massas fresca, túrgida e seca, respectivamente.

Para determinação do índice SPAD empregou-se clorofilômetro portátil, modelo SPAD 502, da Minolta, Japão, obtendo-se a média de três leituras.

A AFT foi medida em integrador de área foliar modelo LI-3100, LI-COR, USA. A AFI foi determinada pela razão entre a AFT e o número de folhas. As massas secas foram obtidas após permanência do material em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C, até atingir massa constante.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Lilliefors e homogeneidade de Cochran e, posteriormente, à análise de variância. As médias dos regimes hídricos foram comparadas pelo teste “F”, enquanto as concentrações de paclobutrazol foram estudadas por meio de regressão. Os modelos matemáticos foram definidos com base na significância (5% e 1% de probabilidade), maior valor do coeficiente de determinação (R²) e na explicação biológica de cada variável. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), versão 9.1, e os gráficos plotados por meio do *software* SigmaPlot 13.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos das concentrações de paclobutrazol (PBZ) foram verificados para a altura das plantas, área foliar total, massa seca da parte aérea, da raiz e massa seca total (Tabela 1). Para o regime hídrico verificou-se efeito no número de ramos, área foliar total, e massa seca da parte aérea, da raiz e total. A interação entre os fatores concentração de PBZ e regime hídrico foi manifestada para o potencial hídrico foliar, área foliar individual, índice SPAD e número de folhas.

Para a altura das plantas foi delineado um modelo polinomial de terceira ordem, observando-se incremento dos valores até a concentração de 47,34 mg L⁻¹ de PBZ. Concentrações superiores a 111,26 mg L⁻¹ refletiram em menores valores em relação à testemunha (Figura 1A). A concentração do regulador que mais reduziu a altura das plantas foi 180,06 mg L⁻¹. Segundo Rademacher (2016), o PBZ diminui o alongamento e divisão celulares devido à redução dos níveis de giberelinas biologicamente ativas. Esta resposta pode levar à redução do comprimento dos entrenós, e consequentemente da altura das plantas.

Para a área foliar total (AFT) das plantas de café, verificou-se efeito quadrático das concentrações de PBZ (Figura 1B).

TABELA 1 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) da altura da planta (ALT), área foliar total (AFT), massa seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR), e total (MST), número de ramos laterais (NR), potencial hídrico foliar (Ψ_w), área foliar individual (AFI), intensidade da cor verde na folha (SPAD), número de folhas (NF), teor relativo de água na folha (TRA) e diâmetro do caule (DC) de plantas de *C. arabica* cv. 'Catuaí Vermelho IAC 144' submetidas a diferentes concentrações de paclobutrazol (C) e regimes hídricos (R), avaliados aos 120 dias após a aplicação do regulador vegetal. Vitória da Conquista – BA, 2015.

QUADRADOS MÉDIOS													
FV	GL	ALT x10 ⁻¹	AFT x10 ⁻⁶	MSPA x10 ⁻²	MSR x10 ⁻²	MST x10 ⁻²	NR	Ψ_w	AFI x10 ⁻²	SPAD x10 ⁻²	NF x10 ⁻²	TRA x10 ⁻¹	DC
C	4	4,2**	1,1*	2,3**	0,3**	4,0**	1,7 ^{ns}	0,2*	2,2**	1,3*	1,5 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,0 ^{ns}
R	1	0,7 ^{ns}	5,1**	2,1*	1,0**	6,1**	8,0*	3,5**	3,8**	2,4*	3,6*	0,9 ^{ns}	3,0 ^{ns}
CxR	4	1,2 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,4 ^{ns}	2,5 ^{ns}	0,3*	0,1*	2,1**	7,0**	2,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}
BL	4	0,7	0,2	0,4	0,1	0,9	0,7	0,1	0,5	1,0	0,7	6,1	0,7
Res	36	1,1	0,3	0,4	0,1	0,7	1,5	0,1	0,4	0,4	0,8	4,6	1,3
CV (%)		8,7	18,8	18,5	27,1	19,1	11,5	38,9	16,8	11,5	11,2	7,9	12,5

^{ns}, * e **: não significativo, significativo pelo teste “F” a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

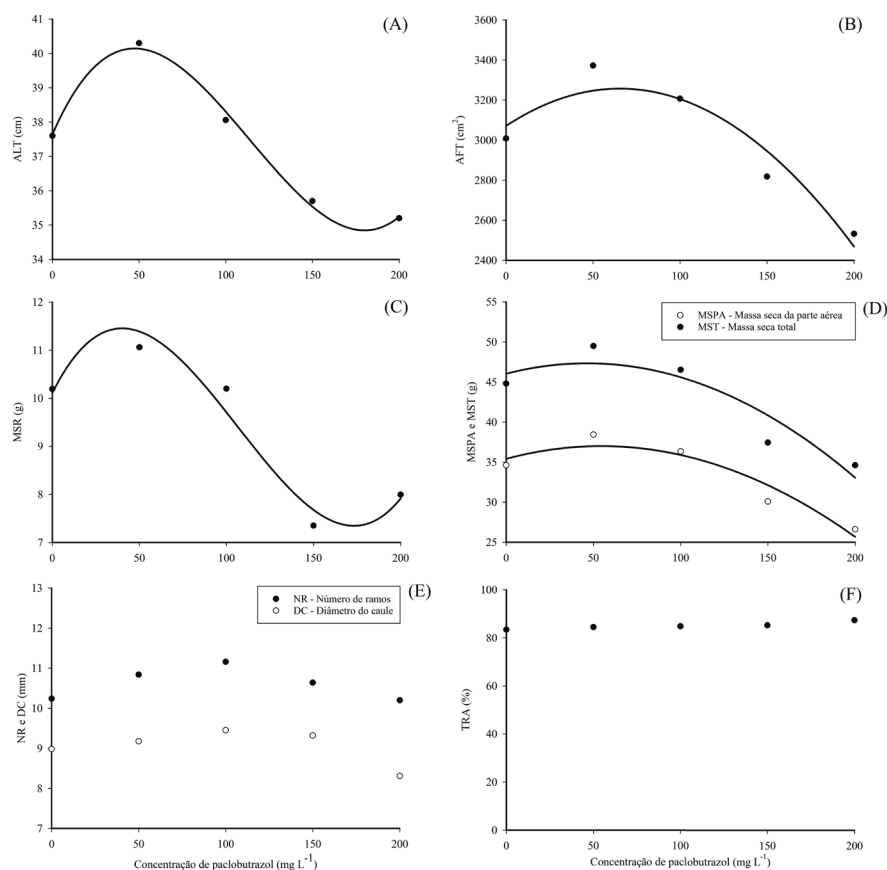


FIGURA 1 - Características morfofisiológicas de cafeeiros (*C. arabica* cv. *Catuaí Vermelho IAC 144*) em resposta a diferentes concentrações de paclobutrazol, aos 120 dias após a aplicação do regulador. (A) altura da planta (ALT): $\hat{Y}^* = 37,6406 + 0,115924X - 0,00154629X^2 + 0,00000453333X^3$ ($R^2 = 0,9931$); (B) área foliar total (AFT): $\hat{Y}^* = 3071,59 + 5,68901X - 0,0435143X^2$ ($R^2 = 0,9075$); (C) massas seca da raiz (MSR): $\hat{Y}^* = 10,11091786 + 0,0725847X - 0,00111447X^2 + 0,00000348X^3$ ($R^2 = 0,9538$); (D) massa seca da parte aérea (MSPA) e total(MST): $\circ \hat{Y}^* = 35,4069 + 0,0583634X - 0,000535257X^2$ ($R^2 = 0,9138$); $\bullet \hat{Y}^* = 46,0403 + 0,0560672X - 0,000604879X^2$ ($R^2 = 0,8669$); (E) número de ramos (NR) e diâmetro do caule (DC); (F) teor relativo de água na folha (TRA). *: significativo pela análise de regressão, a 5% de probabilidade.

A curva foi caracterizada por um leve acréscimo nos valores (máximo de 6,05%) até a concentração de 65,37 mg L⁻¹ (3257,53 cm²), permanecendo superiores à testemunha até 130,74 mg L⁻¹. Embora a aplicação de PBZ tenha resultado em maior número de folhas, a área foliar total da planta foi reduzida nas concentrações de PBZ superiores à 130,74 mg L⁻¹, a partir da qual a aplicação de PBZ restringiu substancialmente a área foliar dos cafeeiros em até 602,77 cm² (19,62%). A redução da AFT foi associada à redução expressiva da AFI em concentrações elevadas de PBZ.

Plantas de café conduzidas sem restrição hídrica tiveram maiores valores de AFT em relação às conduzidas com restrição (Tabela 2). Como resultado da redução na área foliar, a planta transpira em menor proporção, de modo a manter o suprimento de água no solo, o que confere à planta um mecanismo de defesa frente ao estresse hídrico (BLUM, 2011).

Constatou-se efeito cúbico das concentrações de PBZ sobre a massa seca da raiz (MSR). As médias foram superiores à testemunha em concentrações abaixo de 90,97 mg L⁻¹ de PBZ, com valor máximo estimado para 40,09 mg L⁻¹ (11,45 g). A aplicação deste regulador em concentrações acima de 90,97 mg L⁻¹ restringiu o acúmulo de massa nas raízes em até 27,49% (173,41 mg L⁻¹) (Figura 1C).

A aplicação de inibidores de giberelinas comumente altera as relações fonte-dreno, havendo maior partição de assimilados para as raízes em relação à parte aérea (RADEMACHER, 2015), conforme verificado no presente estudo, em concentrações mais baixas (Figura 1C). No entanto, quando aplicado via solo, o PBZ permanece em contato direto com o sistema radicular durante um longo período de tempo, podendo restringir de forma intensa o crescimento deste órgão. Este fato pode estar associado à redução da massa das raízes verificada em maiores concentrações de PBZ.

Foi verificado efeito quadrático para a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) em função das concentrações de PBZ. Para MSPA, observa-se um leve incremento nos valores até a concentração de 54,52 mg L⁻¹ (1,59 g), sendo maior a restrição do acúmulo de massa verificada a partir da concentração de 109,04 mg L⁻¹, com valor mínimo em 200 mg L⁻¹ (9,74 g abaixo da testemunha). Resposta similar foi verificada para MST, com valor máximo de 47,34 g estimado para a concentração de 46,35 mg L⁻¹ (1,3 g acima da testemunha), e mínimo em 200 mg L⁻¹ (33,06 g), sendo 12,98 g inferior à testemunha (Figura 1D).

O menor acúmulo de massa na parte aérea dos cafeeiros submetidos às maiores concentrações de PBZ ocorreu devido à redução do crescimento vegetativo das plantas. Por outro lado, o incremento da MSPA em menores concentrações pode ser resultante da maior superfície fotossintetizante (AFT). A redução da MSPA e da MSR em maiores concentrações de PBZ resultou em decréscimo na MST.

Menores valores de MSPA, MSR e MST foram verificados em plantas mantidas em condição de restrição hídrica em relação àquelas conduzidas sem restrição (Tabela 2). Fialho et al. (2010) também observaram reduções nas massas da parte aérea e radicular de plantas de café arábica submetidas ao déficit hídrico, quando comparadas às mantidas sem restrição hídrica. O crescimento celular é considerado um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao déficit hídrico (ANJUM et al., 2011), sendo comum verificar redução da biomassa nestas condições (FAROOQ et al., 2009).

Menor número de ramos laterais para plantas submetidas à restrição foi verificado em comparação aos tratamentos sob capacidade de campo (Tabela 2). A configuração da parte aérea com menor número de ramos reduz o potencial de transpiração, constituindo-se em um mecanismo adaptativo da planta para reduzir o consumo de água (GUO et al., 2007).

O teor relativo de água na folha (TRA) e o diâmetro do caule não foram afetados pelos fatores em estudo (Tabela 1). Apesar de não apresentar diferença, houve tendência de redução nos valores destes parâmetros para as plantas mantidas sob restrição hídrica (Tabela 2). Estas duas características estão comumente associadas ao *status* hídrico de plantas; sob restrição hídrica ocorre redução do TRA e do diâmetro do caule em virtude da menor disponibilidade de água para a parte aérea da planta, seja por redução da condutividade hidráulica, seja pelo baixo conteúdo de água no solo. Entretanto, o *status* hídrico da planta foi verificado por meio da avaliação do Ψ_w , sendo delineado modelo linear crescente para as plantas submetidas à restrição hídrica em função das concentrações de PBZ. Para as plantas mantidas sob capacidade de campo, embora não tenha sido possível definir relação com as concentrações de PBZ, foi verificada homogeneidade no Ψ_w , com valores próximos a -0,4 MPa (Figura 2A).

TABELA 2 - Altura (ALT), área foliar total da planta (AFT), massa seca da parte aérea (MSPA), total (MST) e das raízes (MSR), número de ramos (NR), diâmetro do caule (DC) e teor relativo de água na folha (TRA) de plantas de *C. arabica* 'Catuaí Vermelho IAC 144' submetidas a diferentes regimes hídricos, avaliadas aos 120 dias após a aplicação do tratamento. Vitória da Conquista – BA, 2015.

Característica avaliada	REGIME HÍDRICO*	
	Sem restrição hídrica	Com restrição hídrica
ALT (cm)	37,74 A	37,01 A
AFT (cm ²)	3307,33 A	2668,23 B
MSPA (g)	35,26 A	31,16 B
MST (g)	46,06 A	39,08 B
MSR (g)	10,80 A	7,92 B
NR	11,02 A	10,22 B
DC (mm)	9,29 A	8,80 A
TRA (%)	85,53 A	83,66 A

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si, pelo teste F, a 5% de probabilidade de erro

Para soja, Zhang et al. (2007) verificaram que a aplicação de uniconazol (50 mg L⁻¹) não alterou os valores de Ψ_w para plantas não submetidas à restrição hídrica, enquanto que para plantas mantidas em regime de disponibilidade de 35% da capacidade de campo submetidas a esse regulador, houve elevação do Ψ_w . Deste modo, a efetividade do regulador foi verificada apenas para as plantas sob restrição hídrica, resultando em elevação de valores de Ψ_w com o aumento das concentrações de PBZ. Para concentrações de PBZ iguais ou superiores a 150 mg L⁻¹, foi verificada igualdade entre os Ψ_w das plantas submetidas aos diferentes regimes hídricos (Figura 2B). O PBZ pode contribuir para a manutenção da turgidez celular por meio do ajustamento osmótico na célula (ALY; LATIF, 2011) e por alterações nas características da parede celular (NAVARRO; SÁNCHEZ-BLANCO; BAÑON, 2007).

Para o presente estudo, devido ao PBZ ter induzido à elevação do Ψ_w (Figuras 2A e 2B), o efeito do regulador foi associado a alterações da parede celular. A partir de valor elevado do Ψ_w em plantas tratadas com PBZ, a redução na elasticidade da parede celular possibilitou que uma menor quantidade de água (conforme verificado em condições de déficit hídrico) mantivesse a turgidez foliar e elevação do potencial pressão (Ψ_p). Embora as alterações anteriormente descritas proporcionem condições de sobrevivência e manutenção do crescimento, a taxa de crescimento é reduzida. Para o presente estudo, este fato foi evidenciado em algumas características, havendo redução da área foliar individual, área foliar total e acúmulo de massa quando foi aplicado o PBZ.

Foi verificado efeito linear na relação entre a área foliar individual (AFI) das plantas de café sob restrição hídrica e as concentrações de PBZ aplicado via solo, caracterizado por redução de 24,25% da AFI para a maior concentração do regulador (200 mg L⁻¹) em relação à testemunha (Figura 2C).

Para os cafeeiros mantidos em capacidade de campo foi delineado modelo quadrático, ocorrendo inicialmente, incremento nos valores até a concentração de 68,97 mg L⁻¹ (11,47% superior à testemunha). Entretanto, a redução da AFI em relação às plantas em capacidade de campo, a partir da concentração de 137,93 mg L⁻¹ foi mais expressiva, atingindo valores 29,92% inferiores à testemunha para a concentração de 200 mg L⁻¹ (Figura 2C).

A capacidade do PBZ em restringir o alongamento celular (RADEMACHER, 2016) e reduzir a extensibilidade da parede (NAVARRO; SÁNCHEZ-BLANCO; BAÑON, 2007) pode estar relacionada à menor AFI das plantas tratadas com maiores concentrações do regulador vegetal.

Foi observado que na ausência do paclobutrazol, e nas concentrações de 50 e 200 mg L⁻¹, os valores de AFI não diferiram entre os regimes hídricos; para as concentrações de 100 e 150 mg L⁻¹ de PBZ, a AFI foi maior em plantas sob capacidade de campo, quando comparadas aos cafeeiros em condição de restrição hídrica (Figura 2D).

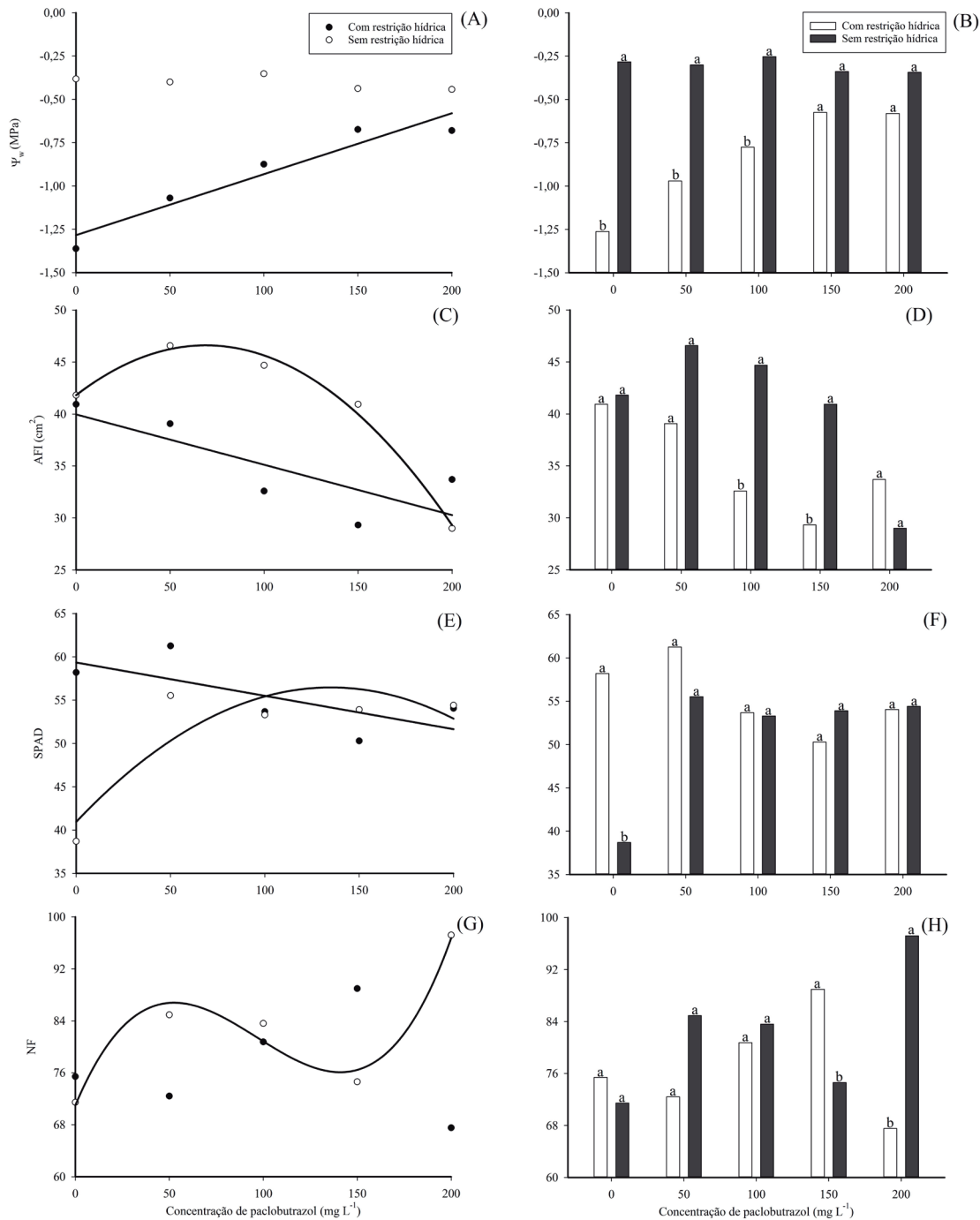


FIGURA 2- Características morfofisiológicas de cafeeiros (*C. arabica* L. 'Catuai Vermelho IAC 144') em resposta a diferentes concentrações de paclobutrazol e regimes hídricos, aos 120 dias após a aplicação do regulador. (A, B) potencial hídrico foliar (Ψ_w): $\bullet \hat{Y}^{**} = -1,2842 + 0,00352X$ ($r^2 = 0,9185$); (C, D) área foliar individual (AFI): $\bullet \hat{Y}^{**} = 39,9639 - 0,0484564X$ ($r^2 = 0,6412$); $\circ \hat{Y}^{**} = 41,814 + 0,139018X - 0,00100787X^2$ ($R^2 = 0,9893$); (E, F) intensidade da cor verde na folha (SPAD): $\bullet \hat{Y}^* = 59,348 - 0,03848X$ ($r^2 = 0,5078$); $\circ \hat{Y}^{**} = 40,9472 + 0,229992X - 0,000852X^2$ ($R^2 = 0,7728$); (G, H) número de folhas (NF): $\circ \hat{Y}^{**} = 70,9806 - 0,687124X + 0,00897829X^2 + 0,0000309333X^3$ ($R^2 = 0,9638$). * e **: significativo pela análise de regressão a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. Barras seguidas pela mesma letra, em cada concentração de paclobutrazol (B, D, F e H), não diferem entre si pelo teste "F", a 5% de probabilidade.

Para folhas expandidas, quando ocorre uma situação de restrição hídrica, é verificada a redução da pressão de turgor, podendo resultar em uma condição de murcha e vulnerabilidade. Neste estágio de desenvolvimento, as possibilidades de alteração das características do limbo foliar são reduzidas. De outro modo, para folhas em crescimento, a menor disponibilidade de água pode reduzir a extensibilidade da parede celular, e elevar o potencial de pressão e o valor limiar crítico do potencial de turgor para o alongamento. Como consequência ocorre o engrossamento da parede celular, aumento da espessura do limbo foliar e redução da área individual das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013). De maneira geral, quando a condição de restrição hídrica foi associada a maiores concentrações de PBZ, a elevação da pressão de turgor foi intensificada, em detrimento da redução do alongamento celular e da área foliar.

Para as plantas conduzidas em capacidade de campo, o índice SPAD máximo foi estimado para a concentração de 134,97 mg L⁻¹ (56,47) (Figura 2E), concentração superior à verificada para o maior valor de AFI (Figura 2C). O índice SPAD mais elevado em plantas tratadas com PBZ é frequentemente associado à maior densidade de cloroplastos nas folhas, em resposta à redução da área e aumento da espessura foliar, e à elevação dos teores de clorofila, que pode ocorrer devido ao aumento da biossíntese ou redução da oxidação de citocininas (hormônio que estimula a biossíntese de clorofilas), ou ainda à redução do catabolismo desse pigmento (KISHOREKUMAR et al., 2006; TEMIZ; CIMEN; HARAHAN, 2009). Neste trabalho, apesar da redução da área foliar individual dos cafeeiros sob restrição hídrica em função das concentrações de PBZ, as folhas em que foi determinado o índice SPAD (primeira folha totalmente expandida) tiveram a ontogênese durante o período de restrição hídrica. Desta forma, estas se apresentavam mais adaptadas ao estresse hídrico, havendo maior número de células no mesófilo, e consequentemente maior densidade de cloroplastos no limbo foliar (BOSABALIDIS; KOFIDIS, 2002). Para o presente estudo, este fato pode ter contribuído para a elevação do índice SPAD das plantas mantidas sob restrição hídrica em relação às bem hidratadas, quando não tratadas com PBZ (Figura 2F). Rahimi et al. (2010) também verificaram incremento no índice SPAD de plantas de *Plantago ovata* Forssk. E *Plantago psyllium* L. submetidas ao estresse hídrico, em relação ao tratamento controle.

A redução do índice SPAD verificada nas plantas sob capacidade de campo em comparação às submetidas à restrição hídrica não foi mantida quando foi aplicado o PBZ (Figura 2F), devido à redução da área foliar em ambos os regimes hídricos.

Para as plantas sem restrição hídrica, a relação entre o número de folhas e as concentrações de PBZ foi caracterizada por flutuações de valores, atingindo o valor máximo na concentração de 200 mg L⁻¹ (96,74 folhas), sendo 36,29% superior à testemunha (70,98 folhas) (Figura 2G). Deve ser salientado que, apesar das flutuações de valores, independentemente da concentração, a aplicação de PBZ resultou em elevação no número folhas em relação às plantas controle.

O efeito do PBZ em promover maior número de folhas pode estar relacionado à elevação dos níveis de citocininas, resultando em estímulo ao lançamento de novas folhas e retardamento da senescência (MAIA et al., 2009).

4 CONCLUSÕES

A restrição hídrica em cafeeiros arábica cv. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’ reduziu a área foliar total da planta, número de ramos, e acúmulo de massa da raiz, parte aérea e total. As variáveis área foliar total, altura, e massa seca das raízes, parte aérea e total, tiveram valores máximos estimados entre as concentrações de 40 e 65 mg L⁻¹ de paclobutrazol.

O índice SPAD e o número de folhas dos cafeeiros mantidos sem restrição hídrica apresentaram incremento quando submetidos à aplicação de paclobutrazol. As concentrações de 0 e 137,9 mg L⁻¹ de paclobutrazol elevaram a área foliar individual dos cafeeiros conduzidos sem restrição hídrica.

Embora as concentrações de 150 e 200 mg L⁻¹ de paclobutrazol tenha resultado em elevações do potencial hídrico foliar das plantas sob restrição hídrica, igualando-se àquelas mantidas sem restrição, houve redução do crescimento e vigor dos cafeeiros.

5 AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) pelo fornecimento dos recursos humanos e materiais, à FAPESB pela concessão da bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor, e à equipe do Laboratório de Fisiologia Vegetal da UESB pelo auxílio na condução do experimento.

6 REFERÊNCIAS

- ALY, A. A.; LATIF, H. H. Differential effects of paclobutrazol on water stress alleviation through electrolyte leakage, phytohormones, reduced glutathione and lipid peroxidation in some wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) grown *in-vitro*. **Romanian Biotechnological Letters**, Bucharest, v. 16, n. 6, p. 6710-6721, 2011.
- ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.
- BANINASAB, B.; GHOBADI, C. Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 30, n. 2, p. 213-219, 2011.
- BENETT, K. S. S. et al. Utilização de paclobutrazol na produção de mudas de tomateiro. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 2, p. 164-169, 2014.
- BLUM, A. Plant water relations, plant stress and plant production. In: _____. **Plant breeding for water-limited environments**. New York: Springer-Verlag, 2011. p.11-52.
- BOSABALIDIS, A. M.; KOFIDIS, G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. **Plant Science**, Shannon, v. 163, n. 2, p. 375-379, 2002.
- BRITO, C. L. L. et al. Efeito do paclobutrazol no desenvolvimento de plantas de girassol ornamental. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 39, n. 1, p. 153-160, 2016.
- ČATSKÝ, J. Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 2, n. 1, p. 76-78, 1960.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2015, quarto levantamento**. Brasília, DF, 2015. 60 p.
- CORDÃO SOBRINHO, F. P. et al. Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS-200 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 284-292, 2007.
- FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: LICHTFOUSE, E. et al. (Ed.). **Sustainable agriculture**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 153-188.
- FERNÁNDEZ, J. A. et al. Induction of drought tolerance by paclobutrazol and irrigation deficit in *Phillyrea angustifolia* during the nursery period. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 107, n. 3, p. 277-283, 2006.
- FIALHO, G. S. et al. Comportamento de plantas de café arábica submetidas a déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Idesia**, Arica, v. 28, n. 3, p. 35-39, 2010.
- GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms. **New Phytologist**, Lancaster, v. 175, n. 1, p. 81-93, 2007.
- GUO, W. et al. Architectural plasticity and growth responses of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana intermedia* seedlings to simulated water stress. **Journal of Arid Environments**, London, v. 69, n. 3, p. 385-399, 2007.
- JALEEL, C. A. et al. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 298-303, 2008.
- _____. Paclobutrazol enhances photosynthesis and ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. **Process Biochemistry**, Barking, v. 42, n. 11, p. 1566-1570, 2007.
- KISHOREKUMAR, A. et al. Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on the foliage characteristics of Chinese potato (*Solenostemon rotundifolius* Poir., JK Morton). **Acta Biologica Szegediensis**, Szeged, v. 50, n. 3/4, p. 127-129, 2006.
- MAIA, E. et al. Development of the banana plants' Prata Anã' and 'FHIA-01' under the effect of paclobutrazol applied on the soil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 81, n. 2, p. 257-263, 2009.
- MOUCO, M. A. C.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Controle do crescimento vegetativo e floração de mangueiras cv. Kent com reguladores de crescimento vegetal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1043-1047, 2011.

- NABAIS, J. V. et al. Influence of preparation conditions in the textural and chemical properties of activated carbons from a novel biomass precursor: the coffee endocarp. **Bioresource Technology**, Barking, v. 99, n. 15, p. 7224-7231, 2008.
- NAVARRO, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; BAÑON, S. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 111, n. 2, p. 133-139, 2007.
- NIZAM, K.; TE-CHATO, S. Optimizing of root induction in oil palm plantlets for acclimatization by some potent plant growth regulators (PGRs). **Journal of Agricultural Technology**, Bangkok, v. 5, n. 2, p. 371-383, 2009.
- RADEMACHER, W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. In: HEDDEN, P.; THOMAS, S. G. (Ed.). **The gibberellins**. Chichester: J. Wiley, 2016. p. 359-404.
- _____. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 34, p. 845-872, 2015.
- RAHIMI, R. et al. Variation of leaf water potential, relative water content and SPAD under gradual drought stress and stress recovery in two medicinal species of *Plantago ovata* and *P. psyllium*. **Journal of Plant Ecophysiology**, Jiroft, v. 2, n. 2, p. 53-60, 2010.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- SANKAR, B. et al. Effect of paclobutrazol on water stress amelioration through antioxidants and free radical scavenging enzymes in *Arachis hypogaea* L. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 60, n. 2, p. 229-235, 2007.
- SCHOLANDER, P. F. et al. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, Washington, v. 51, n. 1, p. 119-125, 1965.
- SOMASUNDARAM, R. et al. Role of paclobutrazol and ABA in drought stress amelioration in *Sesamum indicum* L. **Global Journal of Molecular Sciences**, Deira, v. 4, n. 2, p. 56-62, 2009.
- SRIVASTAV, M. et al. Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, n. 4, p. 785-788, 2010.
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Estatísticas dos municípios baianos**. Salvador, 2013. 452p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- TEMIZ, M.; CIMEN, I.; KARAHAN, E. Effect of paclobutrazol on fiber quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Asian Journal of Chemistry**, Ghaziabad, v. 21, n. 3, p. 1990-1994, 2009.
- VIANA, R. S. et al. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 65-71, 2008.
- ZHANG, M. et al. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 164, n. 6, p. 709-717, 2007.
- ZHOU, S. et al. How should we model plant responses to drought?: an analysis of stomatal and non-stomatal responses to water stress. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 182, p. 204-214, 2013.
- ZHU, L. et al. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 133-141, 2004.