

# MORFOFISIOLOGIA DO CRESCIMENTO VEGETATIVO INICIAL DE CAFEZEIROS ARABICA SUBMETIDOS A APLICAÇÃO VIA FOLIAR DE PACLOBUTRAZOL

Lucialdo Oliveira d'Arêde<sup>1</sup>, Sylvana Naomi Matsumoto<sup>2</sup>, Jerffson Lucas Santos<sup>3</sup>,  
Anselmo Eloy Silveira Viana<sup>4</sup>, Paula Acácia Silva Ramos<sup>5</sup>

(Recebido: 15 de setembro de 2016; aceito: 20 de fevereiro de 2017)

**RESUMO:** Objetivou-se com o presente estudo avaliar respostas morfológicas e fisiológicas durante o crescimento vegetativo inicial de plantas cv. Catuai Vermelho IAC 144 submetidas à aplicação via foliar de quatro concentrações (250, 500, 750 e 1000 mg L<sup>-1</sup>) de paclobutrazol (PBZ) e uma testemunha. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com uma planta por vaso, em blocos ao acaso. Avaliaram-se o diâmetro do caule, número de folhas, massas fresca e seca da planta, índice SPAD, área foliar, potencial hídrico foliar e trocas gasosas. Os dados foram submetidos à análise de variância geral e da regressão. As características morfológicas foram afetadas pelo PBZ, ocorrendo redução do crescimento da parte aérea e elevação do peso de massa seca de raízes quando comparada à testemunha. Para os parâmetros fisiológicos o PBZ resultou em impactos positivos como a elevação do índice SPAD, do potencial hídrico foliar antemanhã, da fotossíntese líquida e da eficiência de carboxilação. A taxa de fotossíntese líquida potencial foi afetada pela eficiência da carboxilação, e a transpiração foi associada à maior disponibilidade hídrica da planta. O PBZ alterou a relação entre parte aérea e raiz, favorecendo o crescimento das raízes e otimizando as relações de trocas gasosas, devido à elevação do status hídrico da planta. Os efeitos do PBZ foram mais evidentes na morfologia do crescimento inicial dos cafezeiros quando comparados às alterações fisiológicas.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica*, regulador de crescimento, triazol.

## INITIAL VEGETATIVE GROWTH OF COFFEE PLANTS SUBMITTED TO FOLIAR SPRAYING OF PACLOBUTRAZOL

**ABSTRACT:** The objective of this study was evaluate the initial vegetative growth of plants cv. Catuai Vermelho IAC 144 submitted to foliar spraying of four solutions concentrations (250, 500, 750 and 1000 mg L<sup>-1</sup>) of paclobutrazol (PBZ) and a control. The plants were cultivated in a greenhouse, in a randomized blocks experimental design, with five treatments and four replicates, evaluated at 120 days after PBZ application. The data were subjected to general and regression analysis of variance. All of morphological characteristics were affected by PBZ, with growth reduction of the coffee crown and lifting the root dry weight in comparison to the control plants. PBZ results in elevation of the SPAD index, xylem water potential, net photosynthesis rate and carboxylation efficiency of coffee plants. Net photosynthesis rate was affected by carboxylation efficiency, and transpiration was associated with greater water availability. The PBZ changes the relationship between the shoot and root growth, increasing the growth of roots and optimizes the relations of leaf gas exchange, due to elevation of plant water status. PBZ effects in morphological characteristics in initial growth of coffee plants are more evident in comparison to physiological alterations.

**Index terms:** *Coffea arabica*, growth retardants, triazole.

## 1 INTRODUÇÃO

O manejo de inibidores de síntese de giberelinas vem sendo recomendado para a cultura do café em sistemas de produção otimizados com o intuito de superar os limites de produtividade. Entretanto, atualmente, devido às intensas alterações climáticas mundiais, tem sido postulada a utilização de retardadores de crescimento como estratégia para modular o desenvolvimento de muitas culturas em face de estresses abióticos (SRIVASTAVA et al., 2016).

Os principais efeitos desta modulação estão relacionados a alterações dos padrões de direcionamento de fotoassimilados (restringindo

o crescimento da parte aérea, maximizando o crescimento das raízes) e a elevação da taxa fotossintética e dos sistemas de defesa antioxidantes das plantas (RADEMACHER, 2015). Para cafezeiros tais efeitos foram observados a partir de pulverização de fungicidas triazólicos com o objetivo principal de reduzir os efeitos deletérios da ferrugem ocasionada pela infestação por *Hemileia vastatrix* (HONORATO JÚNIOR et al., 2015). Entretanto, para esta cultura o principal foco de utilização em campo dos reguladores refere-se ao manejo do florescimento (DANIEL et al., 2008).

A fase de implantação dos cafezais tem grande importância na determinação do

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) - Av. Sete de setembro, 1975 - Centro 69.020-120 Manaus - Amazonas - lucialdo@ifam.edu.br

<sup>2,3,4,5</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB - Departamento de Fitotecnia e Zootecnia/DFZ - Cx. P. 95 - 45.031-900 Vitória da Conquista - BA - snaomi@uesb.edu.br, je.lucas@hotmail.com, ae-viana@bol.com.br, paula\_agro\_amos@yahoo.com.br

potencial produtivo dessa cultura, pois ocorre a elevada correlação entre o vigor das mudas e a produtividade da lavoura. Desse modo, a utilização de reguladores de crescimento para a superação de estresses ocorrentes nas primeiras fases de desenvolvimento do cafeeiro é de grande importância, pois resulta em maior vigor nos estágios posteriores, em maior agilidade na logística do manejo e na eficiência da aplicação.

O paclobutrazol (PBZ) é um retardador de crescimento do grupo dos triazóis, que inibe a oxidação do *ent*-caureno para ácido *ent*-caurenóico na segunda etapa da biossíntese das giberelinas (RADEMACHER, 2016). Estes retardadores inibem a enzima citocromo oxidase P450, reduzindo o vigor vegetativo da copa e intensificando a cor verde das folhas. O PBZ é absorvido pelas plantas por meio das raízes, folhas, lenticelas e perfurações da casca, caracterizado por movimento preferencialmente acrópeto, transportado pelo xilema até as folhas apicais, com baixa mobilidade no floema (WITCHARD, 1997).

Devido ao caráter cumulativo, este composto, com meia-vida estimada de 1 a 7 meses, pode reduzir a massa microbiana do solo, restringindo a salubridade do meio ambiente (SAMPAIO; SANTOS; ARAÚJO, 2010). Diante do exposto, estudos sobre a aplicação de PBZ via foliar podem fomentar uma alternativa menos agressiva de manejo desse regulador de crescimento.

Objetivou-se com o presente estudo investigar a morfologia e fisiologia durante o crescimento vegetativo inicial de plantas de café cv. Catuaí Vermelho IAC 144 submetidos à aplicação via foliar de paclobutrazol.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na região Sudoeste da Bahia, a 14° 53' 08" de latitude Sul e 40° 48' 02" de longitude Oeste, a 845 m de altitude, no período de novembro de 2013 a março de 2014. O clima da região é caracterizado como semi-árido e em algumas regiões, sub-úmido. A temperatura média anual é em torno de 19,6°C, com índice pluviométrico anual de 767,4 mm, com período chuvoso compreendido entre os meses de novembro a janeiro (JESUS, 2010).

As mudas de café *Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho IAC 144, obtidas a partir de sementes, quando atingiram 6,7 cm de comprimento de caule, três pares de folhas verdadeiras, 0,2 cm

de diâmetro de caule e índice SPAD de 36,3 foram transplantadas em vasos com volume de 20 litros. Utilizou-se o Latossolo Amarelo distrófico típico A moderado, coletado no horizonte B (0 a 0,30 m de profundidade) com as seguintes características: P: 7,0 mg dm<sup>-3</sup>, Ca: 3,2 cmol dm<sup>-3</sup>, Mg: 1,2, Al: 0,0, H: 1,6, soma de bases trocáveis, SB: 4,5, capacidade de troca de cátions efetiva de solo, t: 4,5, capacidade de troca de cátions, T: 6,1, índice de saturação de bases trocáveis, V: 72%, m: 0 g dm<sup>-3</sup>, matéria orgânica: 22 g dm<sup>-3</sup>.

Foi realizada adubação do substrato, usando ureia como fonte de nitrogênio (100 mg.dm<sup>-3</sup> de substrato), fosfato monoamônico como fonte de fósforo (150 mg. dm<sup>-3</sup> de substrato) e cloreto de potássio como fonte de potássio (120 mg.dm<sup>-3</sup> de substrato).

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com um vaso por parcela, quatro repetições e cinco tratamentos. Os tratamentos foram constituídos de PBZ (Cultar 250 SC<sup>®</sup>) nas concentrações de 0, 250, 500, 750 e 1000 mg L<sup>-1</sup> aplicado via foliar, no horário de 18:00 às 19:00h, via pulverizador com pressurização manual, com volume de calda de 10 ml.

Os parâmetros morfológicos e fisiológicos foram avaliados aos 120 dias após a aplicação do regulador de crescimento vegetal. Nesta ocasião foi determinado o número de folhas da parte aérea, comprimento do caule (cm), diâmetro do caule (mm), A área foliar total (AFT, cm<sup>2</sup>) e a área foliar individual (AFI, cm<sup>2</sup>) foram determinadas por um integrador de área foliar LI-3100, LI-COR, USA. Para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA, g) e raiz (MSR, g), os tecidos vegetais foram colocados em estufa de circulação forçada a 65° C, até atingir a massa constante. A área foliar específica (AFE) foi determinada através da razão da área foliar total e massa seca da parte aérea. A relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes (RPAR) foi determinada a partir do quociente entre estas características.

O índice SPAD foi determinado na primeira folha totalmente expandida a partir do ápice do caule, por meio do medidor portátil de clorofila (SPAD 502, MINOLTA, Japão), com leituras em três pontos da primeira folha totalmente expandida e, localizada no terço superior da planta.

As trocas gasosas foliares foram avaliadas na primeira folha totalmente expandida do ramo principal, no horário entre 8:00 e 12:00h, com auxílio de um analisador de gases por radiação infravermelha (LCPro, ADC, UK) ao qual foi

acoplada uma fonte de luz actínica, com  $1.000 \mu\text{m} \text{ f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa. Foram avaliadas a temperatura da folha ( $T_f$ , °C), a condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a taxa de fotossíntese líquida potencial ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a taxa de transpiração foliar ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ,  $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ ) e a eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ). A leitura do potencial hídrico ( $\Psi_w$ , MPa) foi realizada com auxílio de uma bomba de pressão (PMS 1000, PMS, Inglaterra), de acordo com Scholander et al. (1964), no período antemanhã ( $\Psi_{\text{wam}}$ : às cinco horas da manhã) e no período pós-manhã ( $\Psi_{\text{wpm}}$ : ao meio-dia), na primeira folha totalmente expandida do terço superior da planta.

Os dados foram submetidos a testes de homogeneidade de variâncias (teste de Cochran) e de normalidade (Lilliefors) e, posteriormente, à análise de variância. O estudo das concentrações de PBZ foi feito pela análise de variância da regressão, definindo, dentre os modelos, aqueles com coeficiente de determinação superior a 50%, desde que adequados ao fenômeno biológico em estudo. Para os procedimentos descritos foi utilizado o programa Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG, versão 9.1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de PBZ via foliar afetou todas as características morfológicas avaliadas nas plantas cv. Catuaí Vermelho IAC 144 (Tabela 1). Para as avaliações fisiológicas, o efeito do regulador foi manifestado para potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{\text{wam}}$ ), concentração de  $\text{CO}_2$  na câmara sub-estomática ( $C_i$ ), fotossíntese líquida potencial ( $A$ ) e eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ) (Tabela 1).

O efeito mais contundente das concentrações de PBZ na morfologia das plantas foi atribuído ao fato das características avaliadas representarem o somatório de efeitos ocorridos no período entre a aplicação do regulador até a data da avaliação. Devido à estreita relação das trocas gasosas com os fatores ambientais, o caráter pontual das avaliações relativas à fisiologia das plantas pode ter tornado menos contundente o efeito do PBZ nos cafeeiros limitando a coerência no cenário do conhecimento sobre este regulador.

O menor impacto do PBZ nas trocas gasosas foliares em relação a distribuição de fotoassimilados e acúmulo de massa foi anteriormente constatada por Beasley e Banham (2007). Harmath et al. (2014), relacionaram as variações de expressividade e a duração efêmera

dos efeitos de diversos inibidores de giberelinas nas trocas gasosas foliares de *Caryopteris incana* (Thunb. Ex Houtt.) Miq. cv. 'Heavenly Blue' à velocidade de transporte e degradação nos tecidos.

Para o presente estudo, embora a aplicação via foliar tenha atingido diretamente a parte aérea, a planta foi exposta ao regulador durante menor período de tempo quando comparada a aplicação via solo. Na aplicação via substrato, devido ao PBZ permanecer retido às partículas do substrato, sendo liberado paulatinamente, o período de interação entre o regulador e a planta é prolongado. Esta é uma das principais restrições à utilização de PBZ via solo, pois sua persistência no solo ou substrato pode ocasionar efeitos fitotóxicos (VAZ et al., 2015).

Quando se avaliou o efeito das concentrações de PBZ na morfologia da parte aérea (área foliar total, área foliar individual, comprimento de caule e a massa seca da parte aérea), foi definido modelo linear decrescente, sendo mantidos valores inferiores ao controle (Figura 1A, 1B, 1G, 1H). Para a relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes (PAR), também houve condicionamento de valores menores do que o controle, embora tenha estabelecido o modelo quadrático (Figura 1F).

O efeito do PBZ na redução do crescimento da parte aérea de plantas de cafeeiros, também foi relatado para plantas de girassol (WANDERLEY; REZENDE; ANDRADE, 2007), de soja (PRICINOTTO; ZUCARELI, 2014), e de fruteiras de clima temperado e tropical (RADEMACHER, 2016). Esta redução no crescimento da parte aérea foi relacionada às alterações hormonais induzidas pelo PBZ, caracterizadas pela inibição da síntese de giberelinas, elevando o conteúdo de ácido abscísico e de citocininas nas células.

Para a relação entre o número de folhas, diâmetro do caule, massa seca das raízes e massa seca total e as concentrações de PBZ foi observada, inicialmente, elevação de valores. Valores superiores à testemunha foram mantidos até 482, 600, 830 e 282  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente, para número de folhas, diâmetro do caule, massa seca das raízes e massa seca total, alcançando maior incremento para a concentração de 241, 300, 462 e 141  $\text{mg L}^{-1}$  de PBZ (Figura 1C, 1D, 1G, 1I). Embora de pequena magnitude (porcentuais de elevação entre 4,63 a 8,35% em relação à testemunha), o aumento inicial do diâmetro de caule, número de folhas e massa seca total foram associados ao efeito concentração-resposta, característico dos reguladores de crescimento.

**TABELA 1**-Resumo da análise de variância de plantas de *Coffea arabica* cv. Catuaí Vermelho IAC 144, submetidas a diferentes concentrações de paclobutrazol (PBZ) aplicadas via foliar, para as características área foliar total (AFT, cm<sup>2</sup>), área foliar individual média (AFI, cm<sup>2</sup>), comprimento do caule (CC, cm), diâmetro do caule (DC, mm), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA, g), massa seca da raiz (MSR, g), relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (PAR), área foliar específica (AFE, cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{wam}$ , MPa), potencial hídrico foliar ao meio-dia ( $\Psi_{wpm}$ , MPa), índice SPAD, temperatura foliar ( $T_{lf}$ , °C), condutância estomática (gs, mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de fotossíntese líquida potencial ( $A$ ,  $\mu$ mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de transpiração ( $E$ , mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração de CO<sub>2</sub> na câmara sub-estomática ( $C_i$ ,  $\mu$ mol mol<sup>-1</sup>), eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ,  $\mu$ mol mmol<sup>-1</sup>), eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ , mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), aos 120 dias após aplicação de paclobutrazol.

FV	GL	Quadrados médios									
		AFT x 10 <sup>6</sup>	AFI x 10 <sup>3</sup>	CC x 10 <sup>2</sup>	DC x 10 <sup>-2</sup>	NF x 10 <sup>2</sup>	MSPA x 10 <sup>2</sup>	MSR x10 <sup>2</sup>	PAR	AFE x 10 <sup>2</sup>	
Conc	4	9,93**	1,43**	1,48**	9,30**	5,02**	6,27**	1,25**	7,74 **	5,07 *	
Bl	3	1,56	0,45	0,33	3,30	2,72	1,95	0,03	0,11	2,81	
Res	12	1,04	0,18	0,14	1,60	0,65	1,14	0,16	0,16	1,31	
C V (%)		25,92	16,85	10,44	14,03	16,50	29,22	24,76	14,27	12,18	

FV	GL	Quadrados médios									
		$\Psi_{wam}$	$\Psi_{wpm}$	SPAD x 10	$T_{lf}$	gs x 10 <sup>-4</sup>	$A$	$E$ x 10 <sup>-2</sup>	$C_i$	$A/E$	$A/C_i$ x 10 <sup>-5</sup>
Conc	4	1,56*	0,57	3,19*	0,54	1,00	3,01**	1,40	346,53	0,41	7,90**
Bl	3	3,12**	1,08	1,16	0,45	5,00	0,04	1,40	4,77	0,30	0,10
Res	12	0,46	0,96	0,80	0,26	4,00	0,03	0,90	129,92	0,14	0,04
C V (%)		19,10	7,25	6,09	1,52	18,85	2,79	3,59	4,65	15,78	2,62

\*, \*\*, significativo a 5 e 1 %, pelo teste F, respectivamente.

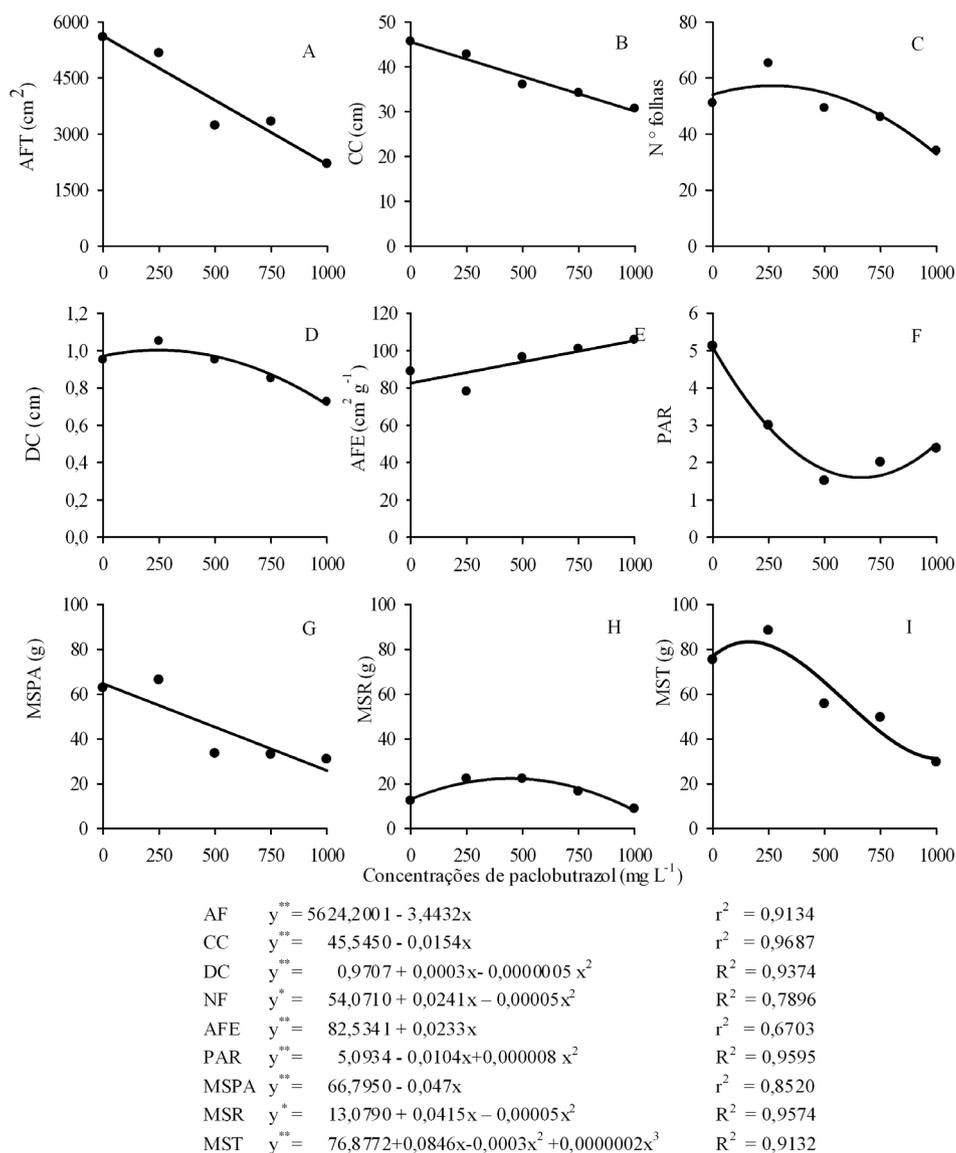
Em baixas concentrações, substâncias que, geralmente, têm efeito inibidor do crescimento podem promovê-lo em diversas partes da planta. De acordo com Srivastava et al. (2016), em baixas concentrações alguns reguladores de crescimento, denominados como biorreguladores, promovem ativação dos sistemas antioxidantes das plantas, elevando a resistência a estresses bióticos e abióticos e alteram a relação fonte dreno das plantas, favorecendo o crescimento relativo das raízes.

Em concentrações de PBZ superiores, às descritas anteriormente, foi observada redução de valores do número de folhas, diâmetro do caule, massa seca das raízes e massa seca total, atingindo índices inferiores ao controle. Navarro et al. (2009) sugerem que o diâmetro do caule é altamente modificado pela concentração de PBZ aplicada. As giberelinas são sinalizadores chave para a indução da diferenciação de elementos traqueais, fibras e da xilogênese. A partir da inibição da síntese deste regulador por meio da utilização de PBZ, efeitos como a redução do número de feixes vasculares e do diâmetro dos vasos do xilema foram verificado por Wang et al. (2015), na parte aérea de plantas de cenouras.

De acordo com Olson e Rosell (2013), o diâmetro do caule e a altura das plantas arbóreas estão diretamente relacionados ao diâmetro dos dutos do xilema. Desta forma, no presente estudo, devido ao PBZ induzir a redução da altura e menor diâmetro do caule, dutos do xilema de menor diâmetro são fatores que elevariam a segurança hidráulica no transporte de água para a parte aérea dos cafeeiros (RODRIGUES et al., 2016).

Reduções lineares da massa seca da parte aérea em função do aumento das concentrações foram verificadas no presente estudo para cafeeiros (Figura 1G). Entretanto, para a massa seca das raízes, a aplicação foliar de PBZ promoveu maior vigor até a concentração de 830 mg L<sup>-1</sup>, atingindo até 64% de acréscimo quando comparada ao controle, na concentração de 462 mg L<sup>-1</sup> (Figuras 1G).

A inibição da síntese de giberelinas e estímulo à biossíntese de ácido abscísico pela regulação do balanço existente entre os hormônios antagonísticos, afeta a modulação entre estes reguladores, favorecendo o desenvolvimento das raízes (MARTIN-RODRIGUEZ et al., 2016).



**FIGURA 1** - A: Área foliar total (AFT), B: comprimento do caule (CC), C: número de folhas (NF), D: diâmetro do caule (DC), E: área foliar específica (AFE), F: relação entre massa seca da parte aérea e raiz (PAR), G: massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR), H: área foliar individual média (AFI) e I: massa seca total (MST) de plantas de *Coffea arabica* cv. Catuai Vermelho IAC 144, cultivados em casa de vegetação, em função de concentrações de paclobutrazol aplicado via foliar aos 120 dias de aplicação.

Na grande diversidade de estudos sobre de PBZ para massa seca da parte aérea e das raízes de plantas, a coerência é um aspecto a ser conquistado, pois ora se verifica a redução uniforme para todos os órgãos da planta (NAVARRO et al., 2009), ora ocorre restrição de crescimento da copa simultânea à elevação do vigor das raízes (FERNÁNDEZ; BANÓN; FRANCO, 2006). Esta

amplitude de efeitos está relacionada a fatores como a concentração, a forma de aplicação, a época de avaliação, a velocidade de transporte na planta, o tempo de persistência e o diferencial de acúmulo de PBZ (RADEMACHER, 2016).

Para o presente estudo, a restrição de massa seca da copa aos 120 dias após a aplicação de PBZ pode estar associada ao maior acúmulo deste

regulador na parte aérea, principalmente nas folhas, havendo relatos de períodos de persistência de 156 a 240 dias (OCHOA et al., 2009). Em plantas jovens de *Nerium oleander* L., Ochoa et al. (2009) verificaram que aos 30 dias após a aplicação de PBZ no substrato (20 mg.i.a. por planta) o PBZ foi preferencialmente acumulado no caule. Aos 156 dias, embora a quantidade total de PBZ na planta tenha sido mantida, a maior concentração foi verificada nas folhas em relação aos ramos e raízes.

Para a raiz, no presente estudo, além da possibilidade do menor acúmulo de PBZ, a aplicação via foliar pode resultar em menor exposição deste órgão ao regulador quando comparado à aplicação via solo, sendo desta forma, atenuada a concentração fisiologicamente ativa nestes tecidos, ocorrendo efeito diferencial em relação à copa.

O incremento de massa radicular promovida pelo PBZ neste estudo pode estar relacionado à restrição do crescimento da parte aérea da planta, elevando a disponibilidade de assimilados para o sistema radicular (JALEEL et al., 2007).

De maneira geral, a redução de crescimento dos tecidos promovida pelos retardadores de crescimento está relacionada à potencialização do ácido abscísico (ABA) resultando em efeitos físicos e metabólicos que ocorrem a nível celular. Em condição de suprimento hídrico adequado, o ABA proveniente da parte aérea da planta promove a supressão do crescimento foliar e induz ao vigor radicular (McADAM; BRODRIBB; ROSS, 2016) restringindo a emergência de raízes laterais em plantas não leguminosas (GONZALES et al., 2015).

A presença de ABA nas raízes estimula também o fluxo hídrico e iônico, modulando o turgor por meio da elevação da capacidade de absorção radicular (ZHANG et al., 2016). Navarro et al. (2009) relacionaram a redução da massa seca da parte aérea e das raízes de plantas ao efeito físico do espessamento da parede celular resultante da aplicação de PBZ. Esta alteração pode elevar o módulo de elasticidade dos tecidos, restringindo o crescimento, seja por alongamento celular, seja por acúmulo de massa (MARSHALL; DUMBROFF, 1999).

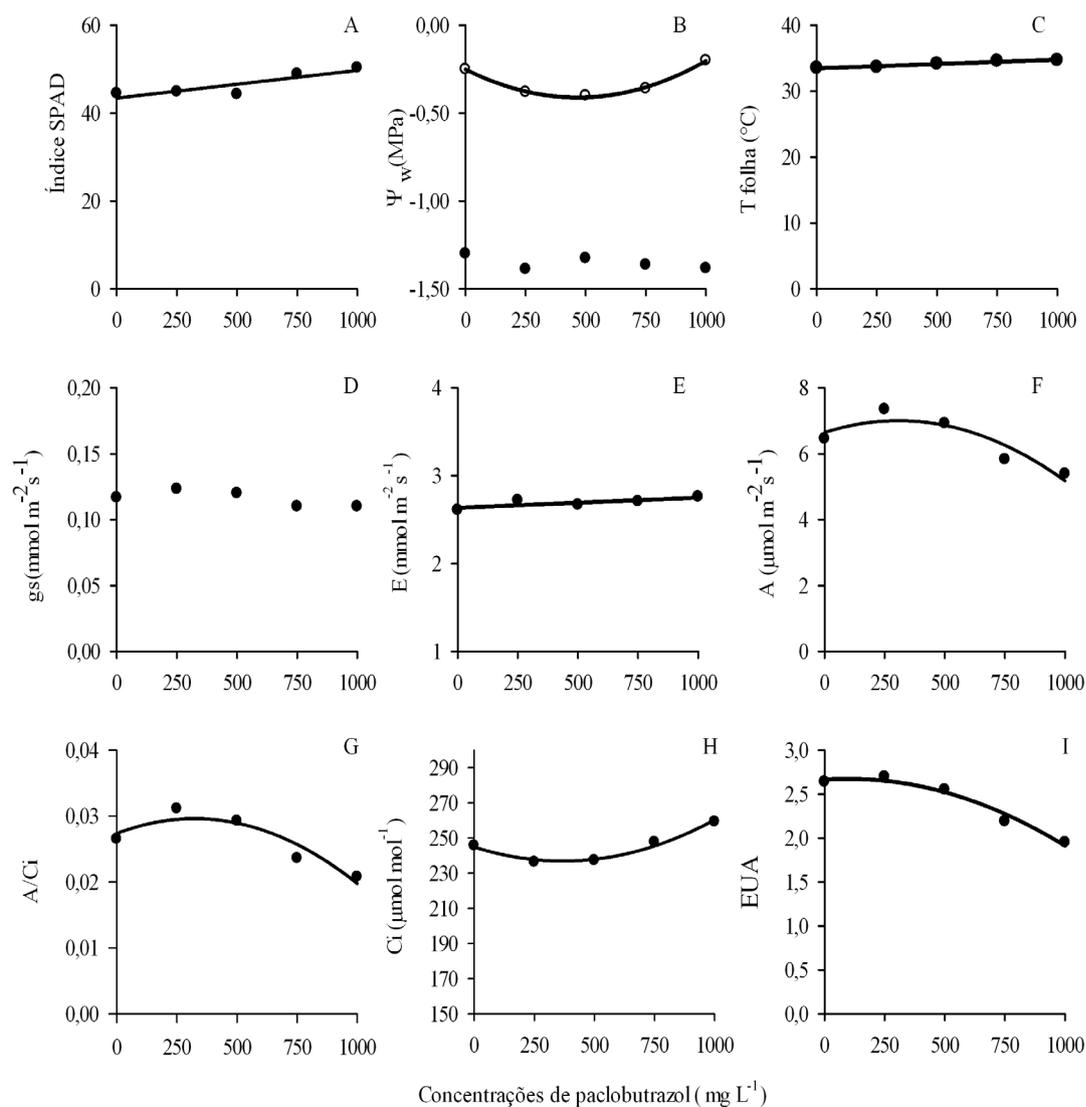
Kishorekumar et al. (2007) relacionam a redução do peso fresco e do peso saturado da parte aérea de plantas de batata chinesa (*Solenostemon rotundifolius* (Poir., Morton)), ao efeito de compostos triazólicos na elevação da concentração

de amido e inibição da atividade de enzimas como a beta amilase e invertase ácida. A menor atividade da invertase ácida representa menor efetividade dos tecidos em atuar como drenos de carboidratos, e, desta forma, o crescimento da parte aérea seria reduzido. Entretanto, os efeitos órgão dos triazóis no metabolismo enzimático dos carboidratos dependem do tipo de produto e do órgão analisado. De acordo com Jaleel et al. (2007) a aplicação de hexaconazole (15 mgL<sup>-1</sup>) em plantas de inhame (*Dioscorea rotundata* Poir.) resultou em níveis de invertase ácida e sacarose sintase semelhante à testemunha na parte aérea, ocorrendo elevação nas raízes.

Neste estudo, a área foliar específica (AFE), da parte aérea foi elevada com o aumento das concentrações de PBZ, sendo todos os valores superiores ao controle (Figura 1E). Em cafeeiros, restrição da radiação luminosa e nitrogênio elevam a AFE (POMPELLI et al., 2012), enquanto a redução da disponibilidade de água reduz esta característica (DIAS et al., 2007). Diferentemente do efeito clássico do PBZ em reduzir AFE, o maior impacto do retardador na restrição do crescimento por acúmulo de massa do que pela redução na área foliar da copa, foi relacionado à elevação da temperatura foliar (Figura 2C). A elevação da temperatura da folha intensifica a respiração, reduzindo o acúmulo de massa, elevando a AFE (ATKIN et al., 2007).

As equações linear e quadrática definiram a relação entre as características fisiológicas e as doses do PBZ analisadas neste estudo (Figura 2). O efeito do PBZ no status hídrico dos tecidos vegetais, determinado pelo potencial hídrico, só foi verificado quando as leituras foram realizadas no período antemanhã ( $\Psi_{wam}$ ) (Figura 2A).

Quando foram analisadas as relações hídricas entre solo e raízes, ocorrentes no período em que a planta manteve seus estômatos em oclusão, todas as concentrações aplicadas de PBZ induziram o aumento da disponibilidade hídrica, em comparação com a testemunha, ocorrendo maior valor de  $\Psi_{wam}$  para a concentração de 530mg L<sup>-1</sup> de PBZ. A elevação de  $\Psi_{wam}$  foi relacionada às alterações hormonais e morfológicas, induzidas pelo PBZ. A aplicação de PBZ (4000 mg L<sup>-1</sup>), em plantas de macieiras induziu a biossíntese de zeatina, precursor do ácido abscísico, resultando em fechamento dos estômatos, redução da transpiração e elevação dos valores do  $\Psi_w$  (ZHU et al., 2004).



$\Psi_{wpm}$	●	$y = -1,3402$	
$\Psi_{wam}$	○	$y^{**} = -0,4349 + 0,00050x - 0,0000004x^2$	$R^2 = 0,7622$
SPAD		$y^* = 40,8101 + 0,00820x$	$r^2 = 0,7684$
$T_{lf}$		$y^* = 33,4812 + 0,00130x$	$r^2 = 0,9547$
$E$		$y^* = 2,6367 + 0,00010x$	$r^2 = 0,6567$
$A$		$y^{**} = 6,6466 + 0,00230x - 0,00000400x^2$	$R^2 = 0,8443$
$A/Ci$		$y^{**} = 0,0274 + 0,00001x - 0,00000002x^2$	$R^2 = 0,8717$
$Ci$		$y^{**} = 244,8711 - 0,04320x + 0,00006000x^2$	$R^2 = 0,9746$
$EUA$		$y^* = 2,6660 + 0,00020x - 0,00000090x^2$	$R^2 = 0,9695$

**FIGURA 2** - A ♦: potencial hídrico foliar pós-manhã ( $\Psi_{wpm}$ ), A ■: potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{wam}$ ), B: índice SPAD (SPAD), C: temperatura da folha ( $T_{lf}$ ), D: condutância estomática ( $g_s$ ), E: taxa de transpiração ( $E$ ), F: taxa de assimilação líquida de  $CO_2$  ( $A$ ), G: eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ), H: concentração de  $CO_2$  na câmara substomática ( $C_i$ ) e I: eficiência de uso da água ( $EUA$ ) de cafeeiros (*Coffea arabica*) cv. Catuaí Vermelho IAC 144, cultivados em casa de vegetação, em função de concentrações de paclobutrazol aplicado via foliar aos 120 dias de aplicação.

A correlação positiva entre a massa seca de raízes e o potencial hídrico foliar antemanhã (correlação de Pearson, 0,5114, 1% de probabilidade) é um forte indício do efeito do PBZ na elevação do vigor das raízes e maior capacidade de absorção de água, resultando em elevação da disponibilidade hídrica para a copa dos cafeeiros. O fato da redução da área foliar da copa estar relacionada à formação de folhas menores, com maior densidade de nervuras, e maior AFE induziu uma condutividade hidráulica foliar mais favorável ao status hídrico dos cafeeiros (NARDINI; ÔUNAPUU-PIKAS; SAVI, 2014).

Nardini, Ôunapuu-Pikas e Savi(2014), em estudos sobre relações hídricas no cafeeiro, verificaram que a redução do tamanho das folhas resulta em tolerância à cavitação, beneficiando a condutividade hidráulica do xilema. Para o limbo foliar, a redução do diâmetro dos vasos do xilema também é um fator que contribui para a redução da vulnerabilidade da condutância hidráulica da planta aos fenômenos relacionados à cavitação, conforme observado em estudo realizado por Rodrigues et al. (2016) sobre quatro clones de *Toona ciliata* M. Roem. submetidos à aplicação via imersão do substrato em paclobutrazol (0 a 2 $\mu$ M),

A elevação de  $\Psi_{wam}$  e de  $\Psi_{wpm}$  nas folhas *Arbutus unedo* L. (arbusto ornamental, cultivado na região mediterrânea) foi relacionada ao fluxo de água mais eficiente na planta, com maior condutividade hidráulica radicular ( $L_p$ ) (NAVARRO; ÔUNAPUU-PIKAS; SAVI, 2009). É um efeito característico do PBZ a elevação da capacidade de controle estomático, resultando em redução da transpiração e otimização do status hídrico da planta (MOHAN et al., 2015). Para os cafeeiros avaliados neste estudo, ocorreu elevação da transpiração (Figura 2E) resultante do aumento do gradiente de PBZ, não sendo verificado efeito do retardador na condutância estomática (Figura 2D). Desta forma, mecanismos para evitar a restrição da disponibilidade hídrica relacionados às alterações morfológicas da parte aérea e raiz foram mais evidentes em comparação a efeitos do regulador nas trocas gasosas foliares.

A redução de eficiência de uso da água (EUA), verificada neste estudo(Figura 2I) é um indício da ausência de sinalizadores de restrição hídrica, ou seja, melhor status hídrico em função das concentrações de PBZ (FERNÁNDEZ; BANON; FRANCO, 2006). De acordo com Fernández, Banon e Franco (2006), em situação de disponibilidade de água favorável, a eficiência

de utilização da água é menor que em condição de restrição, pois mecanismos de economia hídrica podem ser ativados, reduzindo a transpiração. Ogaya e Penuelas (2003) observaram em plantas de *Phillyrea latifolia* L. quando em condição de restrição hídrica, que a eficiência de uso da água foi elevada pela redução da transpiração no período de maior radiação (meio-dia).

No presente estudo, a redução do acúmulo de massa seca total e a menor massa seca da parte aérea em relação à massa seca das raízes que ocorreram em função da aplicação de PBZ condicionaram disponibilidade hídrica mais favorável, elevando a taxa de transpiração (Figura 2E) e deste modo, reduzindo a EUA (Figura 2I).

As aplicações via foliar de concentrações crescentes de PBZ resultaram em acréscimos do índice SPAD, mantendo uma relação linear (Figura 2B). Efeito semelhante foi observado no crescimento inicial de tomateiros submetidos à aplicação de compostos triazólicos (SHANMUGAPRIYA; SIVAKUMAR; PANNEERSELVAM, 2013) e em folhas de bananeiras (LOLAEI et al., 2013).

O aumento do índice SPAD foi relacionado a dois fatores: aumento do teor de clorofila pela inibição do alongamento celular, resultando em efeito de concentração do pigmento na célula, e elevação da capacidade de síntese desse pigmento, devido a alterações hormonais (BRITO et al., 2016). O PBZ estimula a biossíntese de citocininas endógenas, maximizando a diferenciação de cloroplasto, a biossíntese de clorofila e retardando a degradação. Honorato Júnior et al. (2015) verificaram que a aplicação de epiconazol elevou os índices de clorofilas em folhas de cafeeiros infestadas por *Hemileia vastatrix*.

A elevação de doses de PBZ resultou em elevação da temperatura foliar (Figura 2C), em 1,3°C, analisando o controle em relação à maior concentração de PBZ aplicada (1000 ppm). Em mudas de tomateiro pulverizadas com solução de 14 e 60 mg L<sup>-1</sup>de PBZ, foi verificado que a transpiração foi um importante fator para a atenuação da temperatura foliar (LATIMER, 1992). Para o presente estudo foi verificado que o aumento da transpiração mediante a elevação das concentrações de PBZ, não foi relacionada à temperatura foliar.

Em muitos estudos foi verificada a redução da transpiração foliar quando as plantas foram submetidas à aplicação de PBZ, devido às alterações mesofílicas promovidas pelo

retardador, reduzindo a condutância estomática (BABU et al., 2014; ROSELI; YING; RAMLAN, 2012; TEKALIGN, 2007). O efeito diferenciado verificado no presente estudo pode estar relacionado ao maior impacto da elevação da disponibilidade hídrica induzida pelo PBZ devido à formação de folhas de menor tamanho (menor AFI) (elevação da condutividade hidráulica) e pela restrição ao crescimento imposta pela elevação do módulo de elasticidade das paredes celulares. De acordo com Harmath et al. (2014), o efeito dos inibidores de síntese de giberelinas na transpiração está bastante vinculado ao modo de ação, dose, modo e época de aplicação.

Para a taxa de assimilação líquida potencial de CO<sub>2</sub> (*A*), e para a eficiência de carboxilação (*A/Ci*), a aplicação de PBZ resultou em valores superiores à testemunha até a concentração de 620 mg L<sup>-1</sup> e 700 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2F, 2G). O maior valor atingido foi de 6,97 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para *A* e 0,0286 para *A/Ci*, sob a concentração de 290 mg L<sup>-1</sup> e 250 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2F, 2G). Este efeito foi relacionado à elevação das citocininas endógenas, que retardam a degradação da enzima ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (rubisco), otimizando, inicialmente, a capacidade carboxilativa dos cafeeiros (MOURA et al., 2017; SKOWRON; TROJAK; SOBALA, 2016). O efeito do PBZ em reduzir danos oxidativos pode, indiretamente, diminuir a atividade da rubisco como oxigenase (fotorrespiração) potencializando a taxa de fotossíntese líquida (ORABI; SALMAN; SHALABY, 2010).

A restrição hídrica em cafeeiros tem como principal limitação da fotossíntese o processo de carboxilação, não sendo a resistência estomática fator de primeira ordem (DAMATTA, 2004). De modo semelhante, no presente estudo, a condutância estomática não foi alterada pelas concentrações de PBZ. De acordo com Rodrigues et al. (2016), a ausência de efeito do PBZ para a condutância estomática está relacionada à plasticidade da espécie, conforme verificado para clones de *Toona ciliata* submetida à aplicações de PBZ. De maneira geral o PBZ eleva os valores de *A* em muitas espécies cultivadas (ABU-MURIEFAH, 2015; MOHAN et al., 2015). Dwivedi e Kumar (2016) relatam elevações das taxas de fotossíntese, condutância estomática e relação Fv/Fm em dois genótipos de trigo (HD 2987, C 306, tolerante; HD 2888, HD 2733, susceptível a restrição hídrica) submetidos à PBZ,

tanto em condição de restrição hídrica como em plantas controle. Entretanto, em estudos sobre a aplicação de PBZ sob altas concentrações, 2500 e 5000 mg L<sup>-1</sup>, esse regulador causou redução na fotossíntese líquida em plantas de *Caryopteris incana* (HARMATH et al., 2014).

A concentração de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática (*Ci*), manteve-se inferior à testemunha para plantas submetidas ao PBZ até a concentração de 720 mg L<sup>-1</sup>, elevando-se a partir deste valor até 1000 mg L<sup>-1</sup> (Figura 2H). A redução da capacidade de alongamento celular promovida pelo PBZ induz a geração de espaços intercelulares menores, com consequente redução da capacidade de acúmulo de CO<sub>2</sub>. Tais alterações de *Ci* induzidas pelo PBZ podem estar associadas às variações da eficiência de carboxilação (Figura 2G) (CRIADO et al., 2009), pois a função carboxilativa/oxidativa da enzima ribulose 1 5 bisfosfato é modulada pela concentração de CO<sub>2</sub>. A elevação de *Ci* verificada em concentrações superiores a 720 mg L<sup>-1</sup> poderia estar associada ao efeito do PBZ em potencializar fontes de energia e esqueletos de carbono, via maximização da respiração (ciclo de Krebs) (PAL et al., 2016).

#### 4 CONCLUSÕES

A magnitude do impacto das doses de paclobutrazol aplicado via foliar, para *Coffea arabica* cv. Catuaí Vermelho IAC 144, é mais contundente para as características morfológicas em comparação às trocas gasosas foliares.

O paclobutrazol aplicado em *Coffea arabica* cv. Catuaí Vermelho IAC 144, via foliar, induz a redução de todas as características morfológicas no crescimento vegetativo inicial do cafeeiro, excetuando-se a massa de raízes e a área foliar específica.

A aplicação de paclobutrazol via foliar em *C. arabica* cv. Catuaí Vermelho IAC 144 maximiza o índice SPAD, a fotossíntese líquida potencial e a eficiência de carboxilação e otimiza o status hídrico dos cafeeiros.

#### 5 REFERÊNCIAS

- ABU-MURIEFAH, S. S. Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. **International Journal of Advanced Research in Biological Sciences**, Coimbatore, v.2, n.7, p. 81-93, 2015.
- ATKIN, O. K. et al. Phenotypic plasticity and growth temperature: understanding interspecific variability. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, n. 2, p. 267-281, 2007.

- BABU, M. et al. Transpiration and photosynthesis as affected by triazoles in mulberry (*Morus alba* L.). **Indian Journal of Advances in Chemical Science**, Kadapa, v.2, n.4, 2014. Disponível em: <<http://www.ijacskros.com/artcles/IJACS-M109.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- BEASLEY, J. S.; BRANHAM, B. E. Trinexapac-ethyl and paclobutrazol affect Kentucky bluegrass single-leaf carbon exchange rates and plant growth. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 1, p. 132-130, 2007.
- BRITO, C. L. L. Effect of paclobutrazol in the development of ornamental sunflower. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 39, n. 1, p. 153-160, 2016.
- CRiado, M. V. et al. Cytokinin induced changes of nitrogen remobilization and chloroplast ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 166, n. 16, p. 1775-1785, 2009.
- DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos de Goytacazes, v. 16, p. 1-6, 2004.
- DANIEL, G. et al. Effect of foliar application of mepiquat chloride and ethephon on floral bud induction and crop yield in robusta coffee. **Journal of Coffee Research**, Chickmagalur, v.36, n.1/2, p.60-63, 2008.
- DIAS, P. C. et al. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v.164, p. 1639-1647, 2007.
- DWIVEDI, S. K.; KUMAR, S. Effect of paclobutrazol on photosynthesis and expression of pyrroline-5-carboxylatesynthase in contrasting wheat genotypes under water deficit stress condition. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, Heldelberg, v. 22, n.3, p. 426-434, 2016.
- FERNÁNDEZ, J. A.; BANÓN, S.; FRANCO, J. A. 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.
- GONZALES, A. A. et al. Abscisic acid promotes pre-emergence stages of lateral root development in *Medicago truncatula*. **Plant Signaling and Behaviour**, London, v. 10, n. 10, 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.4161/15592324.2014.977741>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- HARMATH, J. et al. Influence of some growth retardants on growth, transpiration rate and CO<sub>2</sub> fixation of *Caryopteris incana* 'Heavenly Blue'. **Folia Oecologica**, Zvolen, v. 41, n. 1, p. 24-33, 2014.
- HONORATO JÚNIOR, J. et al. Photosynthetic and antioxidative alterations in coffee leaves caused by epoxiconazole and pyraclostrobin sprays and *Hemileia vastatrix* infection. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Amsterdam, v. 123, p.31-39, 2015.
- JALEEL, C. A. et al. Alterations in carbohydrate metabolism and enhancement in tuber production in white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.) under triadimefon and hexaconazole applications. **Journal of Plant Growth Regulation**, Cham, v.53, p.7-16, 2007.
- \_\_\_\_\_. Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus*: impacts on ajmalicine accumulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 105-111, 2008.
- JESUS, R. B. Os recursos naturais e sua exploração na formação territorial do município de Vitória da Conquista-BA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.9, p. 1-13, 2010.
- KISHOREKUMAR, A. et al. Comparative effects of different triazole compounds on growth, photosynthetic pigments and carbohydrate metabolism of *Solenostemon rotundifolius*. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v.6, n.2, p. 207-212, 2007.
- LATIMER, J. G. Drought, paclobutrazol, abscisic acid, and gibberellic acid as alternatives to daminozide in tomato transplant production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.2, p.243-247, 1992.
- LOLAEI, A. et al. Role of paclobutrazol on vegetative and sexual growth of plants. **International Journal of Agricultural Crop Science**, London, v.5, n. 9, p. 958-961, 2013.
- MARSHALL, J. G.; DUMBROFF, E. B. Turgor regulation via cell wall adjustment in white spruce. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 119, p. 313-319, 1999.
- MARTÍN-RODRIGUEZ, J. A. et al. Gibberellin-abscisic acid balances during arbuscular mycorrhiza formation in tomato. **Frontier of Plant Science**, Lausanne, v.7, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4993810>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

- McADAM, S. A. M.; BRODRIBB, T. J.; ROSS, J. J. Shoot-derived abscisic acid promotes root growth. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v.39, p. 652-659, 2016.
- MOHAN, R. et al. Exploring possibilities of induction of water stress tolerance in mulberry in rainfed condition by application of paclobutrazol. **Journal of Global Biosciences**, Washim, v.4, n.9, p. 3301-3310, 2015.
- MOURA, F. B. et al. Participation of cytokinin on gas exchange and antioxidant enzymes activities. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 1, p. 1-4, 2017.
- NARDINI, A.; ÖUNAPUU-PIKAS, E.; SAVI, T. When smaller is better: leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. **Functional Plant Biology**, Layton South, v.41, n.9, p.972-982, 2014.
- NAVARRO, A. et al. The influence of mycorrhizal inoculation and paclobutrazol on water and nutritional status of *Arbutus unedo* L. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 66, n. 3, p. 362-371, 2009.
- OCHOA, J. et al. Distribution in plant, substrate and leachate of paclobutrazol following application to containerized *Nerium oleander* L. seedlings. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v.73, n.3, p. 621-628, 2009.
- OGAYA, R.; PENUELAS, J. Comparative field study of *Quercus ilex* and *Phyllyrea latifolia*: photosynthetic response to experimental drought conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v.50, p. 137-148, 200.
- OLSON, M. E.; ROSELL, J. A. Vessel diameter-stem diameter scaling across woody angiosperms and the ecological causes of xylem vessel diameter variation. **New Phytologist**, New Jersey, v.197, n.4, p.1204-1213, 2013.
- ORABI, S. A.; SALMAN, S. R.; SHALABY, M. A. F. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. **World Journal do Agricultural Sciences**, Newark, v. 6, n. 3, p. 252-259, 2010.
- PAL, S. et al. Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. **Scientific Reports**, London, v. 6, p. 1-13, 2016.
- POMPELLI, M. F. et al. Leaf anatomy, ultrastructure and plasticity of *Coffea arabica* L. in response to light and nitrogen. **Biotemas**, Florianópolis, v.25, n.4, p. 13-28, 2012.
- PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C. Paclobutrazol no crescimento e desempenho produtivo da soja sob diferentes densidades de semeadura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 65-74, 2014.
- RADEMACHER, W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. In: HEDDEN, P.; THOMAS, S. G. (Ed.). **The gibberellins**. Oxford: Willey Black, 2016. p. 359-403. (Annual Plant Reviews, 49).
- \_\_\_\_\_. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, Cham, v. 34, p. 845-872, 2015.
- RODRIGUES, L. C. A. Effect of paclobutrazol on leaf anatomy and gas exchange of *Toonaciliata* clones. **Australian Forestry**, Macquarie, v. 79, p. 241-247, 2016.
- ROSELI, A. N. M.; YING, T. F.; RAMLAN, N. F. Morphological and physiological response to *Syzygium myrtifolium* Walp. to paclobutrazol. **Sains Malays**, Malasia, v. 41, n. 10, p. 1187-1192, 2012.
- SAMPAIO, D. B.; SANTOS, V. B. dos; ARAÚJO, A. S. F. Rates of paclobutrazol on soil microbial biomass. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.3, p.1349-1353, 2010.
- SCHOLANDER, P. F. et al. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 52, n. 1, p. 119, 1964.
- SHANMUGAPRIYA, A. K.; SIVAKUMAR, T.; PANNEERSELVAM, R. Difeconazole and tricyclazole induced changes in photosynthetic pigments of *Lycopersicum esculentum* L. **International Journal of Agriculture and Food Science**, Delhi, v. 3, n.2, p. 72-75, 2013.
- SKOWRON, E.; TROJAK, M.; SOBALA, T. Molecular marker of delayed senescence in transgenic tobacco with enhanced cytokinin level. **World Scientific News**, Drawski, v. 51, p. 13-25, 2016.
- SRIVASTAVA, A. K. et al. Plant biorregulators for sustainable agriculture: integrating redox signaling as a possible unifying mechanism. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 137, p. 237-278, 2016.

- TEKALIGN, T. Growth, photosynthetic efficiency, rate of transpiration, lodging, and grain yield of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) as influenced by stage and rate of paclobutrazol application. **East African Journal of Science**, Haramaya, v.1, n.1, p.35-44, 2007.
- VAZ, F. L. et al. Paclobutrazol biodegradation in unsaturated soil in the semi arid Northeast of Brazil. **African Journal of Biotechnology**, Ebene, v. 14, n. 4, p. 298-303, 2015.
- WANDERLEY, C. S.; REZENDE, R.; ANDRADE, C. A. B. Efeito de paclobutrazol como regulador de crescimento e produção de flores de girassol em cultivo hidropônico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1672-1678, nov./dez. 2007.
- WANG, G. L. et al. Exogenous gibberellins altered morphology, anatomic and transcriptional regulatory networks of hormones in carrot root and shoot. **Plant Biology**, Hoboken, v. 15, n. 290, p. 1-12, 2015.
- WITCHARD, M. Paclobutrazol is phloem mobile in castor oil plant (*Ricinus communis*). **Journal of Plant Growth Regulation**, Cham, v. 16, p. 215-217, 1997.
- ZHANG, J. et al. Increased abscisic acid levels in transgenic maize overexpressing mediated root ion fluxes and leaf water status under salt stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.67, n.5, p. 1339-1355, 2016.
- ZHU, L. H. 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.