

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE *Eucalyptus urophylla*  
SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL E DIFERENTES  
REGIMES HÍDRICOS**

**DANUSIA VALERIA PORTO DA CUNHA**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
JULHO - 2016

**DANUSIA VALERIA PORTO DA CUNHA**

**CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE *Eucalyptus urophylla*  
SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL E DIFERENTES  
REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Sylvana Naomi Matsumoto (UESB)**

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA - BRASIL

JULHO - 2016

**DANUSIA VALERIA PORTO DA CUNHA**

**CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE *Eucalyptus urophylla*  
SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE PACLOBUTRAZOL E DIFERENTES  
REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 16 de agosto de 2016.

Comissão Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Paula Acácia Silva Ramos (D.Sc., Ciências Agrárias) - CAPES

---

Prof. Joilson Silva Ferreira (D.Sc., Ciências Florestais) - UESB

---

Prof<sup>a</sup>. Sylvana Naomi Matsumoto (D.Sc., Ciências Agrárias) - UESB

Orientadora

Aos meus pais, Miguel Arcanjo e Aurea pelo amor, apoio, incentivo e confiança incondicionais, me ensinando com exemplos concretos que devemos lutar para realizar nossos sonhos e que sempre devemos colocar muito amor e dedicação em tudo o que nos propomos a fazer, pois assim a vitória é certa;

Aos meus filhos, Ingrid e Lucas, por terem transformado definitivamente a minha vida, me ensinando o verdadeiro sentido do amor, me fazendo lutar diariamente para ser uma pessoa melhor, por todo amor, incentivo, apoio, confiança, amizade e companheirismo, por serem verdadeiros anjos em minha vida;

Às minhas irmãs, Daniela e Racire, pelo carinho, amor, incentivo e confiança;  
Aos meus sobrinhos, Maria Fernanda, Rafael e Pedro, que são como bálsamos em minha vida, me fazendo sorrir e tornando vários momentos mais suaves e alegres.

A vocês que são minha fortaleza, a realização de mais este sonho,

Dedico.

*“Uma falha nem sempre é um erro, pode ser simplesmente apenas a melhor coisa que alguém possa fazer em certas circunstâncias. O verdadeiro erro é parar de tentar.”*

*B. F. Skinner*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me conduzir e sustentar em todos os momentos da minha vida, além de me conceder a força e a coragem necessárias para vencer cada obstáculo e aquietar meu coração;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, por proporcionar a implantação e manutenção do curso;

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, por todo amor, dedicação, apoio, confiança, paciência e incentivo, sendo o alicerce inabalável da minha existência;

À minha orientadora, Sylvana Naomi Matsumoto, que me acolheu com imenso carinho, pela orientação, amizade e, principalmente, pela confiança e paciência;

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade e apoio;

A todos os colegas de mestrado, especialmente aos grandes amigos Saad Miranda, Marcos Santana e Walleska Medeiros, que estiveram ao meu lado em vários momentos dessa jornada;

Ao amigo Matheus, que esteve ao meu lado durante a maior parte dessa caminhada, pelo apoio e incentivo constantes;

Aos colegas e amigos do Laboratório de Fisiologia Vegetal, por todo carinho, respeito, amizade e colaboração na execução deste trabalho, especialmente a Saad Miranda, Ricardo de Andrade, Virgiane Amaral, Paula Acácia, Greice Marques, Adriana de Abreu, Frankin Damasceno, Rodrigo Malheiro, André Felipe, Ednilson Carvalho, Juscelina Arcanjo e Luan Santos.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse grande sonho, muito obrigada!

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2.1. O cultivo do Eucalipto no Brasil: principais espécies, distribuição geográfica e importância econômica</b> .....	4
<b>2.1.1. <i>Eucalyptus urophylla</i></b> .....	7
<b>2.2. Melhoramento genético do eucalipto – breve histórico</b> .....	8
<b>2.3. Ecofisiologia e relações hídricas</b> .....	11
<b>2.3.1 Estresse ambiental e estratégias de tolerância</b> .....	12
<b>2.3.2. Relações hídricas em eucalipto</b> .....	16
<b>2.4. Reguladores de crescimento vegetal – Paclobutrazol (PBZ)</b> .....	18
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
<b>3.1. Caracterização geral e localização do experimento</b> .....	23
<b>3.2. Substrato, transplante e aplicação do PBZ</b> .....	23
<b>3.3. Clones utilizados e obtenção das mudas</b> .....	24
<b>3.4. Determinação dos regimes de disponibilidade hídrica</b> .....	24
<b>3.5. Tratamentos e delineamento experimental</b> .....	25
<b>3.6. Características avaliadas</b> .....	26
<b>3.6.1. Características morfológicas</b> .....	26
<b>3.6.2. Características fisiológicas</b> .....	29
<b>3.7. Análise estatística</b> .....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	50
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	52

## RESUMO

CUNHA, Danusia Valeria Porto da, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, agosto de 2016. **Crescimento inicial de clones de *Eucalyptus urophylla* submetidos à aplicação de paclobutrazol e diferentes regimes hídricos.** Orientadora: Sylvana Naomi Matsumoto.

Diante da crescente demanda por madeira e seus produtos e a expansão das áreas de plantios comerciais para regiões do semiárido nordestino, especialmente de eucalipto, surge a necessidade de desenvolver estudos que permitam selecionar clones mais adaptados às condições desfavoráveis de disponibilidade hídrica, bem como buscar alternativas para minimizar os efeitos das alterações ambientais. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o crescimento inicial de clones de *Eucalyptus urophylla* submetidos à aplicação de paclobutrazol e diferentes regimes hídricos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, entre novembro de 2015 e março de 2016, no campus da UESB, em Vitória da Conquista, Bahia. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados (DBC), com cinco blocos e oito plantas por bloco. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2 x 4, com dois clones híbridos de eucalipto – AEC 224 e AEC 144 – e quatro regimes hídricos – 50%, 75%, 100% e 125% da média da capacidade de campo, considerando-se uma planta por unidade experimental. Além disso, aplicou-se via substrato, 75 mg L<sup>-1</sup> de PBZ. Foram realizadas quatro avaliações (aos 0, 12, 27 e 87 dias) das características morfofisiológicas das plantas durante o período de condução do experimento até 87 dias após a implementação dos regimes hídricos. O efeito do regime hídrico afetou a maioria das características avaliadas, favorecendo, principalmente, o crescimento em altura e dos entrenós limítrofes, diâmetro de caule, número de ramos, áreas foliar total e específica, pesos de massa fresca e seca de caules, folhas e raízes, quanto maior a disponibilidade de água. No entanto, os maiores valores foram encontrados para os regimes hídricos mais próximos da média da capacidade de campo. O efeito do fator clone também foi verificado para as características avaliadas, principalmente para altura, tamanho e número dos entrenós e área foliar específica. A restrição hídrica não afetou o acúmulo de biomassa nas plantas de eucalipto tratadas com PBZ.

**Palavras-chave:** Eucalipto, regulador de crescimento, disponibilidade hídrica.

## ABSTRACT

CUNHA, Danusia Valeria Porto da, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, August of 2016. **Inicial growth of Eucalyptus urophylla clones submitted to paclobutrazol and different hydrous regimens.** Adviser: Sylvana Naomi Matsumoto.

Ahead of the growing demand for wood and its products, and the expansion of the areas used for commercial plantings towards the northeastern semiarid, especially of Eucalyptus, comes the necessity to develop studies that allow the selection of better adapted clones against the unfavorable conditions of water availability, as well as look for alternatives to minimize the effects caused by the climate changes. Therefore, this study had the objective to evaluate the Eucalyptus urophylla clone's initial growth submitted to paclobutrazol applications and different hydrous regimens. The experiment was conducted inside a greenhouse, between december of 2015 to march of 2016, on the UESB campus, Vitória da Conquista, Bahia. The experimental design with randomized blocks (DBC) with five blocks and eight plants per block. The treatments were arranged following the factorial scheme 2x4 with two hybrid clones - AEC 224 and AEC 144 - and four hydrous regimens - 50%, 75%, 100%, 125% of the average field capacity, considering two plants on each experimental unit, adding a total of 40 plants. Beyond that, 75 mg L<sup>-1</sup> of paclobutrazol (PBZ) were applied via substrate. Periodical evaluations (at 0, 12, 27 and 87 days) of the morphophysiological aspects of the plants were made during the experiment until 93 days after the PBZ application. The hydrous regimen factor affected most of the characteristics evaluated, favoring, mostly, the growth in height and distance among the last and the biggest internode, proportional to the biggest amount of water available. However, the biggest values were met closer to the average field capacity. The effect of the factor clone was also verified for the evaluated characteristics, mostly for height, size, number of internodes and specific leaf area. The water restriction did not affect biomass accumulation on the Eucalyptus plants treated with PBZ.

**Keywords:** Eucalyptus, growth regulator, hidric availability.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescente consumo de madeira e seus produtos motivou a necessidade de introduzir espécies florestais de elevada produtividade, com ciclo de corte relativamente curto e boas características silviculturais, nos programas de reflorestamento. Assim, espécies do gênero *Eucalyptus* têm se destacado, pois são de rápido crescimento, têm grande incremento de matéria seca, facilidade de manejo e de adaptação às diversas condições edafoclimáticas, além de fornecer matéria-prima para múltiplos usos (FERNANDES, 2012).

Apesar de o eucalipto ter grande capacidade de adaptação nas diversas condições edafoclimáticas brasileiras, o seu cultivo ainda se concentra nas regiões sul e sudeste, que possuem 72,3% de plantios florestais constituídos, em sua maioria, pelo gênero *Eucalyptus*. A concentração das áreas de cultivo nessas regiões se deve, basicamente, às condições ambientais e socioeconômicas que favorecem seu desenvolvimento e a comercialização de seus múltiplos produtos, pela proximidade das principais indústrias madeireiras (ABRAF, 2013), facilitando a logística entre as áreas de colheita, beneficiamento e comercialização da madeira.

No estado da Bahia, as áreas de florestas cultivadas apresentaram um crescimento de 6,3% em relação a 2013, totalizando 671 mil hectares, o que corresponde a 1,2% do território. As principais áreas de plantio estão localizadas nas regiões sul, sudoeste, oeste e no litoral norte do estado, representando 8,7% da área plantada total do país (ABAF, 2015).

Para alcançar os limites de produtividade, de modo a atender à elevada demanda pelos múltiplos produtos oriundos das florestas cultivadas, torna o avanço das fronteiras da atividade florestal para o semiárido nordestino uma realidade. No entanto, o sucesso do empreendimento depende de estratégias para tolerar as condições ambientais da região, visando minimizar, principalmente, os efeitos da restrição hídrica que ocorre no período de desenvolvimento inicial da cultura.

Várias são as alternativas para contornar as limitações ambientais da região semiárida do nordeste brasileiro, como a seleção de material genético tolerante à restrição hídrica, preparo de solo, nutrição mineral adequada, utilização de mudas de qualidade e irrigação. Dentre os avanços tecnológicos do setor florestal, a hibridação interespecífica de eucaliptos e a clonagem comercial, foram os que mais

contribuíram para a atual atividade da silvicultura no Brasil. De acordo com Pinto Júnior et al. (2013), através da hibridação é possível complementar as características de crescimento, qualidade da madeira e tolerância aos fatores bióticos e abióticos. O desenvolvimento de híbridos, então, é realizado para atender à necessidade de ocupação de regiões submetidas a estresses bióticos e abióticos. O *Eucalyptus urophylla* é bastante utilizado para gerar híbridos produtivos e tolerantes à seca.

No cenário de propostas para mitigar os efeitos das alterações ambientais que envolvem a instabilidade climática, os reguladores de crescimento vegetal têm sido considerados uma ferramenta importante para o manejo do crescimento das plantas. Dentre os reguladores de crescimento vegetal, um dos mais utilizados e estudados é o paclobutrazol (PBZ). Trata-se de um retardante de crescimento que atua inibindo a biossíntese de giberelina (FERRACINI et al., 2008), promovendo tolerância à seca (DESTEFANO et al., 2007), atenuando os impactos causados pelos estresses ambientais (BANINASAB e GHOBADI, 2011) e aumentando a resistência das plantas às doenças provocadas por fungos (CHANEY, 2005).

A aplicação do PBZ pode intensificar o direcionamento de fotoassimilados para o sistema radicial (NIVEDITHADEVI et al., 2012), favorecendo a formação de raízes secundárias e raízes adventícias, o que eleva a capacidade de absorção de água pelas plantas (NEGISHI et al., 2011). Além disso, restringe o crescimento da parte aérea, reduzindo a transpiração, portanto, a diminuição da superfície de transpiração e a ampliação da superfície de absorção de água, beneficiando a condição hídrica da planta (PARDOS et al., 2005).

O paclobutrazol estimula a produção de substâncias antioxidantes, conferindo maior resistência quando expostas às condições adversas do meio (CHANEY, 2005). Além disso, ele condiciona melhor o status hídrico das plantas e otimiza o processo fotossintético (DWIVEDI e KUMAR, 2016). Entretanto, é importante ressaltar que a eficácia dos reguladores depende da espécie, variedades estudadas, forma de aplicação, estágio de desenvolvimento da planta e concentração usada (SILVA e FARIA JÚNIOR, 2011).

Tendo em vista os possíveis benefícios do uso de reguladores de crescimento em espécies arbóreas de interesse comercial, mediante a condição de restrição hídrica, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o crescimento inicial de

clones de eucalipto (AEC 224 e AEC 144) submetidos à aplicação de paclobutrazol e diferentes regimes hídricos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. O cultivo do Eucalipto no Brasil: principais espécies, distribuição geográfica e importância econômica

Os plantios florestais têm sido fonte para importantes estudos relacionados ao futuro da humanidade, essenciais para atender às necessidades do crescimento populacional. As árvores são fontes de mais de cinco mil produtos utilizados no dia a dia das pessoas em todo o mundo, como móveis, ferramentas, produtos médicos, cosméticos, produtos de limpeza, além da sua aplicação na produção de biocombustíveis, tornando-se importante alternativa ao uso do petróleo (IBÁ, 2014).

No mundo, a área cultivada com árvores é de 264 milhões de hectares, representando 7% de todas as florestas do planeta e 22% das florestas designadas ao uso comercial. As maiores áreas de florestas plantadas estão localizadas na China, Índia e Estados Unidos. No Brasil, a área de florestas cultivadas para uso industrial é muito menor, atingindo 7,6 milhões de hectares e, apesar disso, o país contribui anualmente com 17% de toda a madeira colhida, em virtude da elevada produtividade dos plantios florestais. A cadeia produtiva do setor florestal brasileiro é caracterizada pela imensa gama de produtos, incluindo um conjunto de atividades e segmentos que englobam desde a produção até a conversão da madeira em celulose, papel, madeira serrada, carvão vegetal, painéis de madeira, pisos laminados e móveis, além dos produtos não madeireiros e da prestação de diversos serviços ambientais (IBÁ, 2014).

No território brasileiro, a área cultivada com espécies arbóreas de interesse comercial alcançou 7,6 milhões de hectares em 2013, crescimento de 2,8% na comparação com os indicadores do ano de 2012. Os plantios de eucalipto representaram 72%, perfazendo uma área total de 5.473.176 hectares, com crescimento de 3,2% quando comparado ao índice registrado no mesmo ano (IBÁ, 2014), sendo a Região Sudeste (53%) a que possui maior área plantada, seguida pelas Regiões Nordeste (15,8%), Centro-Oeste (13,4%), Sul (11,5%) e Norte (6,2%) (SANTAROSA et al., 2014), especialmente em Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Bahia e Mato Grosso do Sul, de modo que tal crescimento se deve ao estabelecimento de novos plantios para atender à demanda

das indústrias de papel e celulose (ABRAF, 2013). Tais áreas são constituídas, principalmente, pelos segmentos de celulose e papel (32%), produtores florestais independentes (26%), siderurgia a carvão vegetal (15%) e painéis de madeira (6%) (IBÁ, 2014).

O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania. Há, aproximadamente, 730 espécies identificadas botanicamente. No entanto, apenas cerca de 20 delas são usadas atualmente para fins comerciais (PINTO JUNIOR et al., 2014). De acordo com os mesmos autores, o eucalipto foi introduzido no Brasil na década de 1860, mas os primeiros estudos só foram realizados a partir de 1904. A expansão da área reflorestada com eucalipto no país só foi significativa a partir da publicação da Lei de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, Lei nº 5.106 de 1966, consolidando-se em meados da década de 1970.

A ampla diversidade em espécies do gênero *Eucalyptus* permite a aquisição de diversos tipos de madeira, cujas finalidades são definidas pelas suas características anatômicas e propriedades físico-químicas (SILVA, 2009). O clima favorável do país e as melhorias obtidas através de pesquisas e novas tecnologias desenvolvidas no setor florestal permitiram, por exemplo, a redução no tempo de colheita, com altos níveis de produtividade (BAESSO et al., 2010). Além disso, o crescimento do uso de madeira e seus derivados tem levado à investigação de alternativas inovadoras para o estabelecimento de florestas de maior produtividade (FREITAS et al., 2010). Porém, uma parte expressiva da área de cultivo apresenta restrições ao desenvolvimento do eucalipto, como os diversos graus de deficiência hídrica (STAPE et al., 2010).

Assim, o cultivo do eucalipto alcançou elementos sólidos para a sua evolução no Brasil, que a princípio foi movido pelo uso da madeira de algumas espécies como fonte de biomassa para combustível, particularmente a lenha, bem como pelo êxito de sua aplicação como matéria-prima para extração de celulose e fabricação de papel. Nas últimas quatro décadas, inúmeras práticas e inovações nos âmbitos político, institucional e científico, viabilizaram a expansão de áreas plantadas e da produtividade dos plantios florestais (PINTO JUNIOR et al., 2014).

Com isso, percebe-se que no Brasil, o eucalipto tem sido amplamente utilizado, em especial, devido ao seu rápido crescimento, grande capacidade de

adaptação às diversas condições edafoclimáticas e pelo potencial econômico, haja vista os múltiplos usos de sua madeira. A elevada produtividade de madeira em ciclos de corte relativamente curtos, com custos mais baixos e maiores taxas de retorno do investimento, tornam a eucaliptocultura uma atividade extremamente atrativa, assegurando alta competitividade de seus produtos nos mercados interno e externo (PINTO JUNIOR et al., 2014). Portanto, tem sido uma importante opção ao uso da madeira originária de florestas nativas pelo setor madeireiro no Brasil (RAMOS et al., 2011).

Além das condições edafoclimáticas e de todas as características favoráveis para o desenvolvimento dos plantios de eucalipto, outro fator que assegurou o avanço do setor florestal no Brasil foi o alto investimento em tecnologia pelas empresas do setor e instituições de pesquisa. Assim, em algumas décadas, a pesquisa foi responsável por transformar o país no polo de produção florestal mais produtivo do mundo (IBÁ, 2014).

Nas regiões de clima tropical, os plantios comerciais de eucalipto são compostos, basicamente, pelo eucalipto “urograndis”, resultante do cruzamento entre *E. grandis* e *E. urophylla*; além do *E. urophylla* e o *E. cloeziana*, produzidos por via seminal ou clones de domínio público, como o AEC 144, o AEC 224 e o GG 100 (registrados como *E. urophylla*), o COP 1277 (híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*) e o GPC 23 (*E. grandis*) (STAPE et al., 2010). Atualmente, as espécies mais utilizadas no país devido às características da madeira, são: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e *Eucalyptus dunnii* (PINTO JUNIOR et al., 2014). De acordo com Santos e Paludzyszyn Filho (2014), os híbridos de *E. urophylla* (AEC 144, AEC 224 e GG 100) estão entre os mais indicados para plantios que visem ao fornecimento de matéria-prima para a geração de energia.

A participação do setor florestal no PIB brasileiro tem aumentado anualmente e, em 2014, representou 1,1% de toda a riqueza produzida no país e 5,5% do PIB industrial. A implantação de florestas também contribui para a estruturação de uma economia verde, já que as empresas do setor estão empenhando esforços no sentido de utilizar melhores práticas socioambientais. Em 2013, as exportações totalizaram cerca de US\$ 8 bilhões (3% das exportações) e o setor foi responsável pela geração de 5 milhões de empregos diretos, indiretos e decorrentes do efeito-

renda, favorecendo aproximadamente 5% da população economicamente ativa (IBÁ, 2014).

A associação entre os diferentes ramos da indústria de produtos das florestas plantadas possibilita a construção de ordenações produtivas em regiões distantes dos grandes centros urbanos, favorecendo o desenvolvimento do interior do país. Em 2013, aproximadamente 8% da madeira consumida no Brasil foi produzida por pequenos produtores rurais integrantes de programas de fomento das empresas ou independentes, beneficiando cerca de 18 mil famílias (IBÁ, 2014).

No estado da Bahia, a cadeia produtiva do setor florestal é caracterizada pela ampla diversidade de produtos, que abrange a produção de madeira e a aquisição de produtos nos segmentos industriais de celulose, papel, madeira tratada, processamento mecânico, siderurgia a carvão vegetal e fornecimento de energia. A transformação primária da madeira produzida no estado é caracterizada por um conjunto de indústrias que processam madeira *in natura*, como serrarias, indústrias de celulose e de celulose solúvel, usinas de tratamento de madeira e usinas de carbonização de madeira. Com relação à transformação secundária, os produtos da primeira transformação são processados novamente para produção de pallets, caixarias, móveis, ferro liga, papel, formas para concreto, energia elétrica, vapor e calor (ABAF, 2013).

A atividade florestal no estado da Bahia tem se desenvolvido, principalmente, nas regiões dos municípios de Salvador, Feira de Santana, Euclides da Cunha, Luís Eduardo Magalhães, Jaborandi, Eunápolis, Porto Seguro e Mucuri, com destaque, nos últimos anos, para as regiões de Vitória da Conquista, Jequié e Barreiras. O estado possui um dos maiores parques industriais de celulose do mundo. Em 2012, a produção de celulose atingiu 2,8 milhões de toneladas e a produção de papel, 360 mil toneladas, levando o estado a ser o 4º maior produtor brasileiro. Além disso, destaca-se como o principal produtor de celulose solúvel (91%) e de ferro-ligas (29%) do Brasil (ABAF, 2013).

### **2.1.1. *Eucalyptus urophylla***

O *Eucalyptus urophylla* é uma espécie proveniente de ilhas orientais do arquipélago de Sonda, ao norte da Austrália. Depois de ter sua resistência ao

cancro-do-eucalipto comprovada, o interesse pela espécie no Brasil aumentou significativamente, fazendo com que fosse usada na criação de híbridos. Além disso, é uma das espécies mais cultivadas no Sudeste brasileiro para produzir lenha, carvão, bem como para servir como matéria-prima para serrarias e indústrias de papel e celulose (MORA e GARCIA, 2000).

Dentre as espécies de eucalipto, o *Eucalyptus urophylla* é uma das mais cultivadas no Brasil (PINTO JUNIOR et al., 2014), em virtude da sua elevada capacidade de adaptação, crescimento e tolerância à seca, alta potencialidade de crescimento em área por conta da sua boa produtividade (BARROSO, 2000) e boas características tecnológicas da madeira (PINTO JUNIOR et al., 2014), que possui densidade mediana, cor clara com cerne de rosa a marrom (SOUZA, 2011).

Além disso, a espécie é tolerante ao cancro do eucalipto, tem elevada capacidade de crescimento e desenvolvimento nas regiões Norte e Nordeste, podendo ser utilizada para a produção de celulose e papel, chapas duras, serraria e carvão (FONSECA et al., 2010). Atualmente, o *E. urophylla* tem sido muito utilizado em cruzamentos interespecíficos para gerar híbridos produtivos e tolerantes à seca (PINTO JÚNIOR et al., 2013), de modo que são utilizados, principalmente, na produção de madeira para a geração de energia (SANTOS e PALUDZYSZYN FILHO, 2014).

## **2.2. Melhoramento genético do eucalipto – breve histórico**

A indispensabilidade de florestas comerciais de alta produtividade tem originado pesquisas que buscam materiais genéticos mais produtivos e adaptados às diferentes condições ambientais (VELLINI et al., 2008). Dentre os avanços tecnológicos, o que mais contribuiu para a atual dinâmica da silvicultura brasileira, que assegurou a elevação da produtividade das florestas plantadas e o aumento de competitividade da indústria no Brasil, foi o uso do melhoramento genético, visando à seleção de árvores com características florestais e industriais desejáveis, como vigor, forma, resistência a pragas e doenças, qualidade da madeira e aproveitamento industrial (IBÁ, 2014).

No Brasil, as primeiras pesquisas sobre a clonagem do eucalipto aconteceram a partir da metade do século 20, quando pesquisadores multiplicaram várias

espécies de *Eucalyptus* por enraizamento de estacas adquiridas através de mudas seminais. A heterogeneidade dos povoamentos florestais e a ocorrência do cancro (*Cryphonectria cubensis*) foram essenciais para o desenvolvimento da clonagem, apontada como um modelo mundial no controle de doenças do eucalipto (ALFENAS et al., 2009).

Inicialmente, foram desenvolvidas técnicas de hibridação para obter indivíduos resistentes ao cancro do eucalipto. Assim, o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, conhecido como “urograndis”, possibilitou o aumento do padrão de crescimento e homogeneidade dos cultivos florestais iniciados na década de 1980. No entanto, a clonagem em larga escala só foi percebida na década de 1990 (PINTO JUNIOR et al., 2013).

Atualmente, há grandes investimentos para desenvolver híbridos que atendam à demanda de ocupação de áreas sujeitas a vários tipos de estresses bióticos e abióticos, objetivando selecionar combinações produtivas, principalmente para os setores de energia e sólidos madeiráveis e que forneçam indivíduos aptos ao processo de clonagem (PINTO JUNIOR et al., 2013). Os ganhos em incremento de volume de madeira e de produção de celulose por hectare dos plantios clonais, no Brasil, chegam a 100% em relação aos efetuados com sementes (ALFENAS et al., 2009).

A elevação da produtividade dos povoamentos florestais brasileiros, de acordo com Alves (2011), só ocorreu por conta do melhoramento genético, através da seleção de genótipos adaptados às diversas regiões do país e com a eficiente utilização dos recursos de crescimento.

O rendimento dos plantios florestais de *Eucalyptus* no Brasil, bem como a qualidade da madeira produzida, alcançaram aumento considerável em virtude da produção de híbridos interespecíficos, seguido da clonagem dos melhores indivíduos das progênies desenvolvidas pelos programas de melhoramento (SANTOS et al., 2013).

De acordo com Assis e Mafia (2007), as técnicas de hibridação e clonagem desenvolvidas no Brasil, levaram o país a ocupar uma posição de destaque no cenário mundial da indústria florestal, em especial no segmento de celulose e papel. Os autores ainda ressaltam que através da clonagem é possível multiplicar em

grande escala características de indivíduos superiores em crescimento, adaptação e qualidade da madeira.

Os plantios clonais são uniformes, apresentando homogeneidade das propriedades tecnológicas da madeira (SANTOS et al., 2006) e resistência a doenças e pragas, ao déficit hídrico e às geadas (SANTOS et al., 2012). O êxito do setor florestal no Brasil, segundo Santos et al. (2013), depende, em grande parte, da utilização de híbridos e clones com potencial de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas do país, já que a produtividade é afetada diretamente por fatores ambientais.

O *E. urophylla* e o *Eucalyptus grandis* estão entre as espécies mais empregadas nos programas de hibridação controlada, originando um genótipo usualmente chamado de “urograndis”, que é a junção dos atributos de interesse das duas espécies (PINTO JUNIOR et al., 2013). Os clones de domínio público de *E. urophylla*, como o AEC 144, o AEC 224 e o GG 100, estão entre os mais utilizados em plantios comerciais no Brasil (STAPE et al., 2010).

A madeira produzida pelo híbrido de *E. urophylla*, o clone AEC 144, tem sido bastante empregada para diversas finalidades, pois apresenta extraordinário desempenho em plantios comerciais dos estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. No entanto, há indicativos de que a sua madeira não seria apropriada para serraria devido à grã espiralada, pois esta característica faz com que a madeira esteja mais suscetível à ocorrência de rachaduras (REIS et al., 2014). Pelo seu grande potencial de crescimento em regiões caracterizadas por extensos períodos de estiagem, o clone AEC 144 de *E. urophylla* tem sido amplamente utilizado no sudoeste baiano, especialmente em Vitória da Conquista (FERNANDES et al., 2015)

Analisando clones de eucalipto em Ponta Porã, no estado de Mato Grosso do Sul, Reis et al. (2014) observaram que os clones AEC 144 e AEC 224, pertencentes à espécie *E. urophylla*, obtiveram maior volume em madeira, crescimento adequado e as melhores notas para forma do fuste, espessura dos galhos e desrama natural. Além disso, os autores observaram baixa presença ou ausência de bifurcações, doenças e insetos-praga. Estes clones foram selecionados para manufatura de carvão vegetal, em condições edafoclimáticas, do estado de Minas Gerais e são

caracterizados, principalmente, pelo bom desempenho quando cultivados em regiões que apresentam deficiência hídrica e altas temperaturas.

### **2.3. Ecofisiologia e relações hídricas**

A ecofisiologia vegetal é o campo da Ecologia que trata da interferência que os fatores do ambiente desempenham nas plantas e em outros organismos, suas atividades fisiológicas e suas respostas vitais que podem alterar o seu desenvolvimento, provocando aumento e ou diminuição em seu desenvolvimento (LARCHER, 2006).

As atividades fisiológicas celulares são direta ou indiretamente afetadas pelo provimento de água, cujas propriedades afetam a constituição das proteínas, ácidos nucleicos, membranas e outros constituintes celulares. Além disso, a água é um reagente essencial para diversas reações químicas e bioquímicas que acontecem nas plantas (KRAMER e BOYER, 1995).

O tecido vegetal é composto principalmente por água, que corresponde a 50% da matéria fresca nas espécies lenhosas, sendo solicitada no metabolismo das plantas, na condução de solutos, na abertura e fechamento estomático, na turgescência da célula e na penetração das raízes no solo ou substrato (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Pereira (2006) cita algumas das principais funções da água na fisiologia das plantas: atua como reagente e produto da fotossíntese; atua na condução de gases e solutos; influencia na turgidez do sistema radicial e, por conseguinte, na sua penetração no solo; torna-se fonte de elétrons, depois da ativação da clorofila pela ação luminosa, produzindo energia química; interfere na viscosidade e na permeabilidade do protoplasma, bem como nas ações enzimáticas; atua na abertura e fechamento estomático; é resultado final da respiração; influencia os processos de divisão e crescimento das células; funciona como tampão de temperatura, provocando resfriamento; e interfere no transporte de assimilados.

Taiz e Zeiger (2013) ressaltam que a água tem papel essencial no movimento dos elétrons, portanto, o excesso ou a insuficiência de água nos tecidos vegetais afeta a produção de energia que seria usada no metabolismo do nitrogênio e de outros nutrientes, causando desnaturação do equipamento fotossintético. Os autores

ainda destacam que grande quantidade de água causa deficiência de oxigênio, que é um importante receptor final de elétrons na cadeia transportadora. Na falta de oxigênio, o transporte de elétrons é interrompido, impedindo a formação de ATP. Assim, segundo Bonfim-Silva et al. (2011), quando o solo é alagado, devido ao processo de desnitrificação, o nitrogênio é perdido nas formas de  $N_2$  e  $N_2O$ , reduzindo o nitrogênio disponível para as plantas sob tais condições.

Com relação à condução de água na planta, esta pode ser comparada a um aparelho hidráulico contínuo, onde a água presente no solo é integrada ao vapor de água existente na atmosfera, respondendo a um gradiente de potencial hídrico (REIS e REIS, 1997). O vacúolo celular sofre aumento do seu volume com a entrada da água, exercendo, assim, uma pressão de turgor sobre a parede da célula. Conforme acontece a perda de água pelas células, o tamanho do vacúolo é reduzido, fazendo com que as células fiquem menos túrgidas, qualificado pela murcha das folhas, atingindo a fase metabólica da fotossíntese. O limite da diminuição do tamanho dos vacúolos é determinado pela elasticidade da parede celular. Portanto, espécies que possuem células com paredes mais elásticas, podem dissipar muita água sem perder a turgescência, além disso, tais plantas possuem maior capacidade para armazenar água (NUNES, 2007).

### **2.3.1. Estresse ambiental e estratégias de tolerância**

Algumas alterações abióticas, como irradiância elevada e pouca disponibilidade hídrica ou de nutrientes, afetam a fisiologia das plantas nas diferentes etapas de crescimento, tornando o seu estabelecimento no estágio juvenil, mais complexo (GONÇALVES et al., 2009). A baixa disponibilidade de água, segundo Chaves et al. (2009), é o principal elemento abiótico limitante do crescimento vegetal e do seu rendimento. O déficit hídrico causa mudanças no desempenho da planta, cuja irreversibilidade depende do genótipo, da severidade, da duração e da fase de desenvolvimento na qual se encontra (SANTOS e CARLESSO, 1998).

Em plantas que se desenvolvem em circunstâncias naturais, a capacidade fotossintética e a fragmentação de assimilados são invariavelmente afetadas pela disponibilidade de nutrientes, luz e água. A insuficiência de algum recurso essencial

para o desenvolvimento das plantas estabelece uma condição de estresse ambiental, diminuindo o rendimento da floresta (PALLARDY, 2008).

A restrição do crescimento das plantas está relacionada, principalmente, com o estresse causado por choque térmico e calor, pela deficiência de água, pelo resfriamento e congelamento, além da salinidade e insuficiência de oxigênio. Tais restrições ocorrem de tal forma que, no fim da estação, a produtividade de biomassa florestal apresenta somente uma pequena parte de todo o seu potencial genético (TAIZ e ZEIGER, 2013). Além disso, outros fatores podem gerar estresse em plantas, como desnutrição, ataque de pragas, doenças e danos mecânicos ou provocados por animais (LOPES et al., 2009).

Considerando os tipos de estresses sofridos pelas plantas, estes podem ser reversíveis ou irreversíveis (LARCHER, 2006), ocasionados por fatores ambientais tanto bióticos como abióticos (FERREIRA e MILANI, 2002; TAIZ e ZEIGER, 2013). A eficácia de utilização da água pelas plantas pode ser compreendida como um mecanismo eficiente de evolução nos processos de adaptação por meio do qual a planta se torna capaz de suportar prováveis deficiências hídricas, pela sua maior elasticidade (LIMA, 1995). Normalmente, os tipos de estresse causados à planta, são avaliados, levando em consideração sua sobrevivência, seu crescimento e sua produtividade (FERREIRA e MILANI, 2002; TAIZ e ZEIGER, 2013) ou processos de assimilação primária, como a absorção de nutrientes e de CO<sub>2</sub> (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O estresse causado pelo déficit hídrico pode ocorrer pelo reduzido teor de umidade no solo ou pela abundante perda de água durante a transpiração pela absorção realizada pelas raízes, que sofrem influências de fatores do ambiente e das características intrínsecas da planta (SANT'ANNA, 2009). A falta de água nos tecidos vegetais pode influenciar os processos de crescimento e desenvolvimento, pois provoca a desidratação do protoplasto, redução do tamanho das células, além de promover uma concentração maior de solutos (MARTINS et al., 2010).

A diminuição da turgescência é a primeira resposta da planta à deficiência hídrica, através da qual advém o fechamento dos estômatos, a diminuição na fotossíntese e a redução do alongamento das células, sobretudo em expansão (LARCHER, 2006). A transpiração, quando acontece de forma muito intensa, pode interferir negativamente, comprometendo a disponibilidade de água utilizada nos

processos essenciais para a manutenção da sua sobrevivência, especialmente quando a quantidade de água é diminuída (CHAVES, 2001).

Assim, as plantas desenvolveram estratégias para tolerar períodos de baixa disponibilidade hídrica, como perder as folhas e ou reduzir a área foliar, fazendo com que a transpiração diminua (VILLAGRA e CAVAGNARO, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2013); perder raízes superficiais e aumentar a formação de raízes profundas (REIS et al., 2006); adequação osmótica com o objetivo de conservar turgescência das células (CARVALHO, 2005); formar ceras na superfície das folhas, apresentar tricomas para refletir a luz, além de modificações na dissipação de energia das folhas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Determinadas espécies de plantas têm maior tolerância ao estresse que outras e as temperaturas altas ou baixas do ar, são caracterizadas como um fator estressante de grande importância, com a possibilidade de manifestação em pouquíssimo tempo. Além disso, há o estresse causado pelo vento e pela quantidade de água contida no solo, que pode manifestar-se em alguns dias e a ausência ou deficiência de alguns minerais no solo ou substrato, que podem levar até meses. Conforme a tolerância da planta ao estresse aumenta, mais este indivíduo se torna aclimatado, no entanto, isso não significa que esteja adaptado, visto que a adaptação está relacionada ao grau de resistência determinado geneticamente, obtido ao longo do tempo através da seleção. Assim, a aclimatação e adaptação aos diversos tipos de estresse do ambiente derivam de episódios interligados que acontecem em toda a organização estrutural da planta, desde o nível morfológico e anatômico até os níveis celular, bioquímico e molecular (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A tolerância à deficiência hídrica é variável de acordo com o genótipo, entretanto, algumas espécies encontram formas de se adaptarem às condições adversas, como o estresse hídrico, e desenvolvem mecanismos mais eficientes para absorver água do solo, especialmente por meio de um amplo e profundo sistema radicial e de características da parte aérea, como o ajustamento da área foliar, fechamento estomático e temperatura foliar reduzida (REIS et al., 1988; GOMES, 1994; CHAVES et al., 2004).

Espécies florestais tolerantes à deficiência hídrica podem ser avaliadas segundo o seu comportamento em relação a diversos parâmetros da sua fisiologia,

correlacionados à capacidade de utilização do recurso hídrico e à partição de fotoassimilados, para minimizar possíveis reduções no percentual de desenvolvimento e rendimento econômico. Considerando os recursos requeridos pelas plantas, a água é o mais restritivo do seu potencial de produção, posto que é um elemento fundamental para o seu metabolismo, sobretudo, durante a etapa inicial de crescimento (SOUZA et al., 2001).

Em nível celular, a planta produz e ou acumula solutos para desenvolver mecanismos que promovam maior tolerância à deficiência de água. Tal processo é denominado de osmorregulação, que tem como objetivo sustentar a turgescência e equilibrar o potencial hídrico celular (NUNES, 2007).

A redução da abertura estomática é uma estratégia para controlar a perda de água, mantendo o potencial hídrico e o teor relativo de água nas folhas. Entretanto, tal estratégia tem consequências como restrições na condutância estomática e trocas gasosas, diminuindo o percentual de transpiração e absorção de CO<sub>2</sub> (SOUZA et al., 2004).

O excesso de transpiração, segundo Chaves (2001), pode afetar a disponibilidade de água para a realização e manutenção dos processos vitais da planta, especialmente em condições em que a oferta de água é reduzida. A limitação dos estômatos à transpiração, causada pelo déficit hídrico, é uma forma encontrada pela planta para conservar a água nas folhas, pois impede o ressecamento dos tecidos vegetais (SANT'ANNA, 2009), porém, também pode aumentar a temperatura das folhas, afetando os processos fotossintéticos (TARDIEU, 2005).

Na planta, a taxa de fotossíntese líquida é o resultado da absorção de CO<sub>2</sub> depois das perdas que advêm da respiração e da fotorrespiração. A disponibilidade de água para a planta influencia diretamente na fotossíntese, que decresce em solos secos e também em solos muito úmidos. O déficit hídrico diminui a fotossíntese porque provoca o fechamento dos estômatos, impedindo o desenvolvimento e expansão das folhas, podendo levar à sua queda (PALLARDY, 2008).

De acordo com Moura et al. (2016), os aumentos nas concentrações de pigmentos fotossintéticos evidenciam que a espécie possui resistência à deficiência hídrica, com o objetivo de potencializar o desempenho da absorção fotossintética do CO<sub>2</sub> para a manutenção do seu desenvolvimento. Trabalhando com mamona, Lacerda et al. (2009), verificaram que as plantas submetidas aos maiores conteúdos

de água no solo, foram mais eficazes com relação à sua eficiência fotossintética. Os autores ressaltam que a falta de água pode afetar a absorção de nutrientes, pois diminui o movimento de água nas plantas, bem como pode alterar a fotossíntese, prejudicando, assim, o seu crescimento.

A escolha de espécies tolerantes à baixa disponibilidade hídrica é essencial para o êxito de práticas de cultivo florestal em regiões sujeitas a extensos períodos de estiagem (STRECK, 2002). Assim, é essencial desenvolver pesquisas que tenham como objetivo selecionar precocemente o material genético que será utilizado em plantios comerciais (FERNANDES, 2012).

### **2.3.2. Relações hídricas em eucalipto**

As florestas plantadas têm produtividade extremamente variável, pois são vários os aspectos que interferem no seu crescimento. Para compreender a ecofisiologia da produção de espécies florestais e como ocorre a interação dos fatores ambientais com as suas características fisiológicas, é fundamental o estudo dessas relações e o uso de material genético adequado que possa se estabelecer e se desenvolver em condições de baixa disponibilidade hídrica. Tais pesquisas podem ser determinantes para o êxito da implantação de uma floresta (TATAGIBA, 2006).

Algumas espécies de eucalipto, como o *E. urophylla*, normalmente têm ótimo crescimento anual quando estão submetidas a altas umidades, principalmente nos dois primeiros anos de implantação, quando comparadas a outras espécies, como o *Eucalyptus pellita*. No entanto, pela suscetibilidade ao ataque de fungos e bactérias, após este período, o seu desenvolvimento sofre um decréscimo (HARDIYANTO, 2003).

Quando a planta está sujeita a um intenso déficit hídrico e este apresenta evolução muito lenta, suficiente para admitir alterações no desenvolvimento, tal estresse tem diversos efeitos no seu crescimento. Determinadas espécies de eucalipto, por exemplo, podem exibir resistências distintas à deficiência hídrica (TATAGIBA et al., 2007). Tal fato foi apurado por Merchant et al. (2007), que ao avaliar seis espécies de eucalipto que apresentaram comportamentos distintos com relação ao déficit de água, observaram que as plantas que se desenvolveram em

locais com menor oferta de água, ou seja, com pouca chuva, exibiram menor potencial osmótico, além disso, houve diminuição na quantidade de água na folha.

Pesquisadores observaram que genótipos de espécies de eucalipto tolerantes à restrição hídrica têm apresentado baixa produtividade, pois os mecanismos que permitem esta característica necessitam de um grande gasto metabólico (CHAVES et al., 2009; PAULA et al., 2012). As respostas ao déficit hídrico são distintas dentre as diversas espécies de eucalipto. Com o objetivo de evitar esta condição, espécies como o *E. camaldulensis* e *Eucalyptus saligna*, possuem sistema radicial mais profundo, enquanto que *Eucalyptus leucoxylon* e *Eucalyptus platypus* têm potencial osmótico mais baixo, além da aptidão para ajustar ao máximo o módulo elástico das células (WHITE et al., 2000).

Quando submetido à restrição hídrica, *E. camaldulensis* apresenta mudanças na degradação de pigmentos fotossintéticos, acréscimo no teor de prolina e diminuição no percentual de crescimento, especialmente, na área foliar (CHA-UM e KIRDMANEE, 2010).

Silva et al (2004), trabalhando com dois tipos de regime hídrico na etapa de rustificação de mudas de *E. grandis*, mostraram que a quantidade de água disponível interferiu na transpiração, pois as mudas mais adaptadas fecharam seus estômatos rapidamente e as menos adaptadas perderam muita água pela transpiração, além disso, reagiram mais lentamente contra a desidratação.

Lemcoff et al. (1994), estudaram mudas de diferentes genótipos de eucalipto e verificaram que *E. camaldulensis*, em resposta à deficiência hídrica, teve menor ajustamento osmótico. Tais resultados levaram os pesquisadores a concluir que a espécie é mais tolerante à seca porque desenvolveu um sistema radicial bastante ramificado e profundo, características que favorecem a absorção de água.

O déficit hídrico também pode interferir negativamente no desenvolvimento do sistema radicial (CORREIA e NOGUEIRA, 2004). Estudando a arquitetura das raízes de eucaliptos cultivados em região do cerrado, Gomes (1994) verificou que *E. camaldulensis* e *E. urophylla* possuíam raízes profundas e bem distribuídas por todo o solo, sendo mais eficazes na utilização da água e, portanto, mais recomendados para o cultivo em regiões com deficiência hídrica. Alguns autores têm observado que a massa seca total do eucalipto é proporcional à quantidade de água utilizada

(ALVARENGA et al., 1994; SASSE et al., 1996; SILVA, 2003; LOPES, 2004; PEREIRA et al., 2010).

Alvarenga et al. (1994) verificaram que plantas de *E. grandis*, cultivadas em condições mais próximas à capacidade de campo, tiveram crescimento maior que 65%. Li et al. (2000) verificaram que mudas de *E. microtheca* submetidas à restrição hídrica tiveram diminuição da massa seca total, da altura e da área foliar específica e incremento na relação entre a parte aérea e o sistema radicular raiz/parte aérea.

#### **2.4. Reguladores de crescimento vegetal – Paclobutrazol (PBZ)**

Os reguladores de crescimento vegetal são compostos produzidos pela própria planta (naturais) ou sintéticos, capazes de interferir no seu crescimento e desenvolvimento, agindo nos mais variados processos fisiológicos e morfológicos das plantas (PAROUSSI et al., 2002).

Os efeitos dos retardantes de crescimento na estrutura morfológica das plantas são contrários àqueles produzidos pela biossíntese de giberelinas e auxinas, que são reguladores de crescimento responsáveis pelo alongamento das células (RADEMACHER, 2000). Há comercialização de vários tipos de retardantes de crescimento vegetal, no entanto, aqueles que promovem a inibição da biossíntese de giberelinas, são os mais conhecidos e utilizados (ARTECA, 1996).

O uso de retardantes de crescimento de plantas despertou interesse pela sua capacidade de reduzir a taxa de crescimento em altura e a divisão celular (GAUSMAN, 1991), além de induzir a dormência precoce das gemas das plantas na fase de muda com o objetivo de torná-las mais resistentes devido à proporção adequada entre a parte aérea e o sistema radicular (ROSS et al., 1983).

No setor florestal, a utilização adequada de reguladores de crescimento vegetal pode ser muito útil para os trabalhos de melhoramento genético e propagação vegetativa, produção de sementes, germinação e desenvolvimento de mudas, além disso, facilita o acondicionamento das mudas para o plantio (ROSS et al., 1983). No entanto, é importante ressaltar que a eficácia dos reguladores varia de acordo com a espécie e variedade estudadas, bem como de acordo com o método de aplicação e a concentração utilizada (SILVA e FARIA JÚNIOR, 2011).

Dentre os inibidores de biossíntese de giberelinas, destaca-se o paclobutrazol – PBZ (BERBERICH et al., 2006), que é um retardante de crescimento de plantas, geralmente utilizado para controlar o seu crescimento vegetativo, pois inibe a biossíntese de giberelinas endógenas (DAVIS, 1991; FERRACINI et al., 2008). A redução das taxas de divisão e alongamento celular são consequências dessa inibição, que também é capaz de modificar os níveis de ácido abscísico, citocinina, etileno (FLETCHER et al., 2000) e auxina (DAVIS e CURRY, 1991).

O paclobutrazol é um composto químico derivado do grupo dos triazóis (BERBERICH et al., 2006) e tem se destacado entre os reguladores vegetais de crescimento, pois tem algumas especificidades biológicas bastante importantes, tais como: promove a inibição da biossíntese de giberelinas e a quebra da dormência de gemas axilares (CHANEY, 2005); acréscimos nos conteúdos de clorofila, causando mudanças na taxa fotossintética e nos teores de carboidratos (DAVIS, 1991); estimula a produção de substâncias antioxidantes que ajudam as plantas a terem mais resistência quando expostas às condições adversas do meio (CHANEY, 2005); provoca alterações expressivas na morfologia das plantas, que podem ser observadas, principalmente, pela diminuição do porte das mudas e tamanho dos entrenós, pela rigidez foliar e tamanho reduzido das folhas, induzindo o desenvolvimento de aglomerados de gemas axilares (ALBANY et al., 2005).

É considerado um fungicida de alta persistência no solo, porém, sua mobilidade é relativamente baixa, o que reduz o risco de contaminação por lixiviação (FERRACINI et al., 2008).

O PBZ é muito utilizado na floricultura e fruticultura para estimular a floração, a frutificação, a retenção dos frutos (ABDOLLAHI et al., 2012; FERRACINI et al., 2011), diminuir o tamanho das plantas (CHANEY, 2005) e maximizar a tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos aos quais, eventualmente, estejam submetidas (BANINASAB e GHOBADI, 2011).

Para espécies florestais, o paclobutrazol tem amplas potencialidades de uso, especialmente em viveiros, sendo considerado uma boa alternativa à poda de ramos das mudas, ao manejo do seu crescimento de forma a obter plantas com tamanhos específicos. Além disso, a aplicação do PBZ pode tornar as mudas mais adaptadas à deficiência hídrica, diminuir a proporção entre parte aérea e sistema radicial, deter

seu crescimento ao tamanho almejado até a época ideal para o plantio, caso a produção em viveiro seja adiada (RIETVELD, 1988).

A eficácia do PBZ depende da espécie e variedade utilizadas, da forma de aplicação, das concentrações (SILVA e FARIA JÚNIOR, 2011), porte da espécie, do estado nutricional da planta e das condições do ambiente (FERRACINI et al., 2008). A aplicação pode ser feita diretamente no solo ou por meio de pulverizações nas folhas, entretanto, são muitos os estudos que demonstraram que a aplicação via solo é mais eficaz (PARDOS et al., 2005).

Aplicando concentrações diferentes de PBZ em mudas de *Quercus suber* L., diretamente no substrato, Pardos et al. (2005) observaram que houve inibição do crescimento em altura. Maganhotto et al. (2003) verificaram que quando o PBZ é aplicado no solo, é absorvido mais lentamente. Jackson et al. (1996) ainda ressaltam que pode haver interação com o ambiente, fazendo com que a absorção do produto pela planta, bem como a sua persistência no meio, esteja relacionada com as condições do clima e o tipo de solo.

Além do seu uso e eficiência comprovada em mudas, o PBZ também pode ser utilizado com sucesso em outras áreas do setor florestal. Williams et al. (2003) expõem que o PBZ pode ser uma importante ferramenta para aumentar a produção de sementes de diversas espécies de eucalipto, promovendo a floração precoce e abundante. Em vários estudos realizados, os efeitos da aplicação do PBZ foram verificados na diminuição do período de juvenilidade e, conseqüentemente, no estímulo da fase reprodutiva pela iniciação precoce dos botões florais (MORAES et al., 2014; MONCUR e HASAN, 1994; WILLIAMS et al., 2003; POTTS et al., 2009). Assim, Silva et al. (2012) asseguram que o PBZ poderia ser utilizado com muito sucesso pelas empresas florestais em pomares de produção de sementes de *Eucalyptus*.

A aplicação o PBZ pode promover alterações morfológicas e anatômicas das raízes (TSEGAW et al., 2005), sobretudo, por aumentar a quantidade de raízes finas, proporcionando à planta maior aptidão para absorver água, o que garante benefícios às plantas, conferindo-lhes maior vigor (CHANEY, 2005). Além disso, o desenvolvimento de raízes finas amplia a sua densidade superficial, o que beneficia a revitalização das árvores em estágio de senescência (WATSON, 1996).

Em vários estudos foram observadas alterações de muitas características morfológicas em espécies florestais submetidas a diferentes concentrações de PBZ (MORAES et al., 2014). Chorbadjian et al. (2011), estudando *Pinus nigra* e *Betula papyrifera* submetidas à aplicação de PBZ, verificaram a diminuição na altura e no diâmetro. Chaney (2005) afirma que o PBZ pode promover uma taxa de inibição no crescimento em altura de espécies lenhosas que varia de 10 a 90%, no entanto, essa taxa varia entre 40 a 60% quando são utilizadas as doses recomendadas.

Ribeiro et al. (2011), estudando plantas de girassol (*Helianthus annuus*), submetidas ao PBZ, verificaram inibição do crescimento em altura, diminuição do crescimento geral, acentuado curvamento da nervura foliar principal e dos entrenós. Trabalhando com *Eucalyptus grandis* sob efeito do mesmo regulador, Moraes et al. (2014), observaram quebra de dormência das gemas laterais, com acentuada brotação em toda a extensão do caule e encurtamento dos entrenós. A diminuição do crescimento dos entrenós é um dos efeitos mais comuns do PBZ (QIANSHENG et al., 2009; MORAES et al., 2013).

Além das alterações morfológicas, o PBZ também pode provocar alterações na fisiologia das plantas, a exemplo da diminuição da transpiração, elevando o teor relativo de água nas folhas, tornando as plantas mais tolerantes à deficiência hídrica (YADAV et al., 2005). A diminuição da transpiração está relacionada à redução do tamanho dos estômatos, à inibição da espessura da epiderme, ao número de estômatos, das células paliçádicas e esponjosas e dos cloroplastos, provocados pelo PBZ (KISHOREKUMAR et al., 2006).

A aplicação de PBZ e a restrição hídrica, segundo Oliveira et al. (2012), além da diminuição no crescimento, também interferem em outras características das plantas. Fletcher et al. (2000) ainda ressaltam que este regulador estimula a síntese de citocinina endógena, aumentando a diferenciação dos cloroplastos, favorecendo a síntese e os mecanismos de prevenção de degradação da clorofila, fazendo com que as folhas adquiram uma coloração verde escura. O adensamento dos cloroplastos, provocado pela redução da área foliar, também pode influenciar na intensidade dessa coloração (KHALIL e HIDAYAT-UR-RAHMANB, 1995).

Outro efeito importante provocado pelo PBZ na morfologia das plantas é que depois do período de inibição do crescimento das gemas, tem-se um acréscimo acelerado em seu crescimento. Tal fenômeno pode estar relacionado com o

acúmulo de minerais e carboidratos ao longo do período inibitório, o que deve estimular o seu crescimento depois da dissipação do efeito inibidor (DAVIS, 1991).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização geral e localização do experimento**

O presente estudo foi conduzido no período de 16 de novembro de 2015 a 14 de março de 2016, em casa de vegetação da unidade experimental do *campus* da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em Vitória da Conquista – BA.

O município está situado nas coordenadas cartográficas de 14°51' de latitude Sul e 40°50' de longitude Oeste, na região Sudoeste do estado, com precipitação média anual de 733,9 mm, sendo os meses mais chuvosos de novembro a março, com temperatura média anual de 21°C e altitude média de 923 m (SEI, 2013). A vegetação característica e predominante na região é a Floresta Estacional Semidecidual Montana, conhecida como Mata de Cipó (BONFIM et al., 2009).

#### **3.2. Substrato, transplântio e aplicação do PBZ**

Para a composição do substrato foi preparada uma mistura homogênea de solo retirado à profundidade de 20 cm em uma área do *campus* da Universidade e húmus proveniente de minhocário, na proporção de 3:1, respectivamente. Foram utilizados vasos com capacidade para 20 litros, com quatro perfurações no fundo, com o objetivo de facilitar o escoamento de água. Todos os vasos foram preenchidos com 25 Kg de substrato seco.

Todas as mudas passaram por um período de aclimatação por quatro dias, em pleno sol, com irrigação diária para manter o substrato úmido e a sobrevivência das plantas. Em seguida, as mudas foram transplantadas para os vasos, em casa de vegetação. As mudas foram selecionadas de acordo com o número de folhas totalmente expandidas (quatro a cinco pares) e transplantadas para os vasos logo após o preenchimento.

Após o transplântio, as plantas foram irrigadas diariamente por um período de 21 dias. Sempre que houve necessidade, foi realizada uma capina manual para evitar competição com as mudas e qualquer comprometimento ao seu desenvolvimento. A adubação de cobertura foi realizada 17 dias depois da

realização do transplântio das mudas, com 21 g por planta de NPK (4-14-8) e 6,3 g por planta, de ureia.

A aplicação do PBZ via substrato foi feita aos 21 dias depois do transplântio. O produto comercial utilizado foi o Cultar® 250 SC. Primeiramente, o produto foi diluído em 1 litro de água destilada, de acordo com a concentração de 75 mg L<sup>-1</sup> de paclobutrazol (PBZ). A diluição foi previamente realizada no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB. Para a aplicação do PBZ, foi preparada uma calda com água destilada para a concentração estabelecida, sendo aplicada em volume fracionado de 500 ml por planta.

### **3.3. Clones utilizados e obtenção das mudas**

As mudas utilizadas neste experimento foram provenientes de dois clones dos seguintes genótipos: AEC 144 (híbrido espontâneo de *E. urophylla*) e AEC 224 (híbrido espontâneo de *E. urophylla*).

Os clones utilizados para este estudo foram fornecidos pelo viveiro de produção de mudas florestais Dunorte Florestal, localizado na cidade de Taiobeiras, ao Norte de Minas Gerais.

As mudas foram produzidas em tubetes de modelo cônico com 54 cm<sup>3</sup> de capacidade volumétrica de substrato. As mudas com idade de 90 dias foram transportadas do viveiro até o local do experimento, onde passaram por um período de aclimação de quatro dias até o transplântio.

### **3.4. Determinação dos regimes de disponibilidade hídrica**

Os diferentes regimes de disponibilidade hídrica foram implementados aos cinco dias após a aplicação do paclobutrazol, 26 dias após o transplântio. A umidade do substrato foi conservada próxima à capacidade de campo, que é definida como a capacidade máxima que o solo tem de reter a água, após a drenagem do seu excesso (BERNARDO et al., 2005).

Para iniciar o manejo hídrico utilizado no experimento, inicialmente foram determinados os pesos dos vasos com solo seco e com o solo na capacidade de campo. O monitoramento do conteúdo de água do substrato foi realizado pelo

método gravimétrico. A disponibilidade de água para a irrigação das plantas foi determinada para 50%, 75%, 100% e 125% da média da capacidade de campo (CC) do substrato (Figura 1). Inicialmente, este manejo hídrico foi aplicado durante 17 dias e, devido à alta umidade relativa do ar, a irrigação passou a ser aplicada a cada dois dias até o final do experimento.



**Figura 1** – O monitoramento do conteúdo de água do substrato.

### **3.5. Tratamentos e delineamento experimental**

Os tratamentos foram constituídos de quatro regimes hídricos – 50%, 75%, 100% e 125% da média da capacidade campo – aplicados aos dois clones.

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados (DBC), com cinco blocos e oito plantas por bloco, sendo os tratamentos arranjados segundo o esquema fatorial 2 x 4, com dois clones híbridos de eucalipto – AEC 224 e AEC 144 – e quatro regimes hídricos – 50%, 75%, 100% e 125% da média capacidade de campo, considerando-se duas plantas por unidade experimental, perfazendo um total de 40 plantas. Além disso, todos os tratamentos receberam a mesma dose de PBZ, 75 mg L<sup>-1</sup> por vaso.

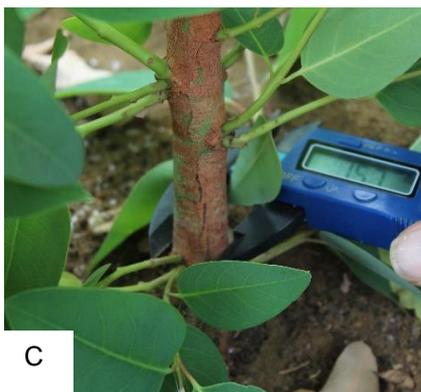
### 3.6. Características avaliadas

#### 3.6.1. Características morfológicas

As características morfológicas de crescimento foram avaliadas no primeiro dia após o início da implementação dos regimes hídricos (dia 0) e aos 12, 27 e 87 dias após a aplicação dos regimes hídricos (Figura 2).

- Altura de plantas (H): obtida pela medição da parte basal até o ápice caulinar, utilizando-se uma régua graduada (cm) (Figura 2A);
- Número de folhas (NF): obtido a partir da contagem manual de todas as folhas de cada planta (Figura 2B);
- Número de ramos (NR): obtido a partir da contagem manual de todos os ramos laterais de cada planta (Figura 2B);
- Diâmetro do caule (DC): medido a 3 cm do solo, utilizando-se um paquímetro digital (mm) (Figura 2C).

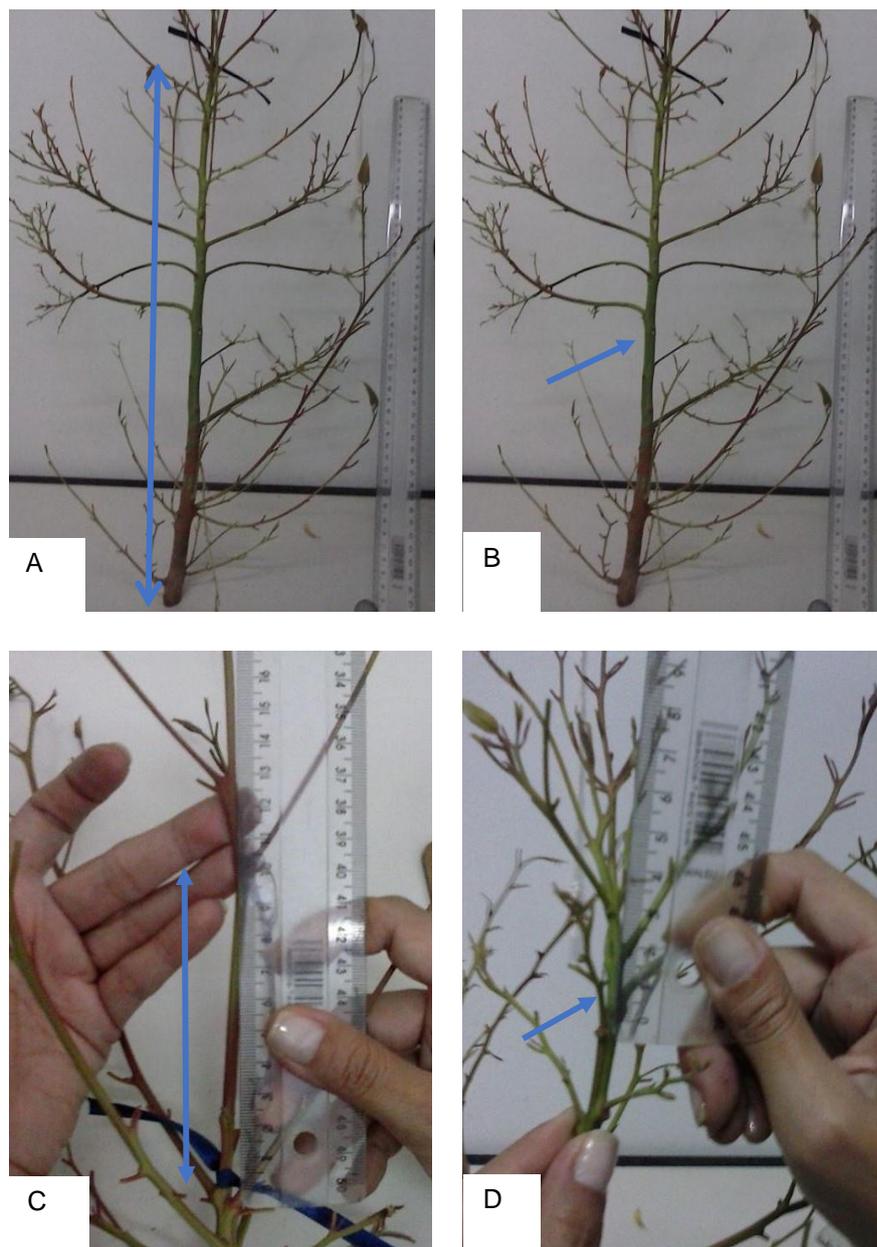




**Figura 2** – Características morfológicas de crescimento avaliadas aos 87 dias após a implementação dos regimes hídricos: (A) medição da altura da planta, (B) contagem manual do número de folhas e número de ramos laterais, (C) obtenção do diâmetro do caule.

Aos 80 dias após a implementação dos regimes hídricos, realizou-se a marcação dos pontos de retomada de crescimento do caule de cada planta e, ao final do experimento, tais características morfológicas foram avaliadas (Figura 3).

- Altura até o entrenó maior (ALT): obtida pela medição da parte basal até o entrenó maior, utilizando-se uma régua graduada (cm) (Figura 3A);
- Número de entrenós na altura correspondente (NE): obtido a partir da contagem manual de todos os entrenós contidos na altura correspondente do solo até o entrenó maior de cada planta (Figura 3B);
- Comprimento do entrenó maior (EM): obtido pela medição do primeiro entrenó maior, utilizando-se uma régua graduada (cm) (Figura 3C);
- Comprimento do último entrenó (UE): obtido pela medição do último entrenó menor, utilizando-se uma régua graduada (cm) (Figura 3D).



**Figura 2** – Características morfológicas avaliadas aos 89 dias após a implementação dos regimes hídricos: (A) medição da altura até o entrenó maior, (B) número de entrenós contidos na altura correspondente, (C) medição do primeiro entrenó maior, (D) medição do último entrenó menor.

No final do experimento também foram avaliadas outras características de crescimento das plantas:

- Área foliar total (AFT): determinada após a coleta de todas as folhas das plantas por um integralizador de área, modelo LI-3100 Area Meter, LI-COR, USA, expressa em  $\text{cm}^2$ ;

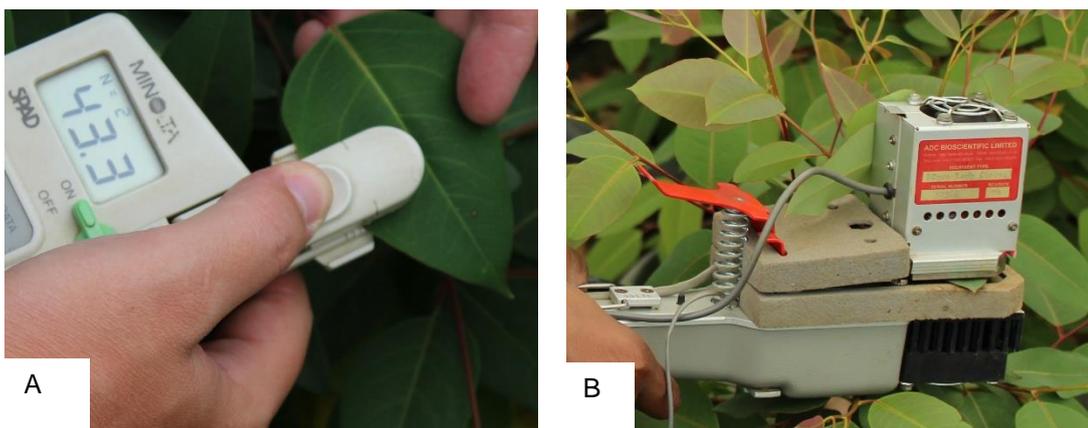
- Área foliar específica (AFE): determinada a partir da razão entre a área foliar (AF) e peso de massa seca das folhas (PMSF);
- Peso de massa fresca das folhas (PMFF), peso de massa fresca dos caules (PMFC), peso de massa fresca das raízes (PMFR) e peso de massa fresca total (PMFT): primeiramente foram separadas a raiz, caule e folhas das plantas e, em seguida, as partes (folhas, caule e raízes) foram pesadas individualmente em balança de precisão (g); as raízes foram cuidadosamente lavadas para total extração do substrato e, posteriormente, submetidas à secagem natural na bancada do laboratório, por um período de 48 horas para escoamento total da água, apenas depois desse processo, foram pesadas em balança de precisão (g);
- Peso de massa seca das folhas (PMSF), peso de massa seca dos caules (PMSC), peso de massa seca das raízes (PMSR) e peso de massa seca total (PMST): após a obtenção do peso fresco, as partes das plantas foram acondicionadas individualmente em sacos de papel devidamente identificados e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de  $65^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante 72 horas, até atingir peso constante. Em seguida, foram verificados os pesos secos de cada órgão da planta, utilizando uma balança de precisão (g);
- Relação entre a parte aérea e a raiz (PAR): determinada a partir da razão entre os pesos de massa seca de folhas (PMSF) e caules (PMSC) e o peso de massa seca de raiz (PMSR).

### **3.6.2. Características fisiológicas**

O índice SPAD e as trocas gasosas foram avaliadas através de leituras realizadas em todas as plantas no primeiro dia após o início da implementação dos regimes hídricos (dia 0) e aos 12, 27 e 87 dias após a aplicação dos regimes hídricos (Figura 4).

- Índice SPAD: a avaliação foi realizada em três pontos distintos de uma folha da porção mediana da copa de cada planta da unidade experimental, com clorofilômetro marca Minolta, modelo SPAD/502 (Figura 4A);

- Trocas gasosas: a avaliação foi realizada com um medidor portátil de fotossíntese, do tipo analisador infravermelho de gases (Infrared Gas Analyser). Durante a medição, a irradiância foi de 900  $\mu\text{mol}$  de fótons. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . As leituras foram realizadas entre 7h e 30 min e 9h e 30 min da manhã. Com esse mesmo equipamento foram avaliadas a fotossíntese líquida potencial (A), temperatura da folha (T), a transpiração (E) e a condutância estomática (gs) (Figura 4B).



**Figura 4** – Características fisiológicas avaliadas aos 87 dias após a implementação dos regimes hídricos: (A) medição do índice SPAD, (B) medição das trocas gasosas.

Outras características fisiológicas como o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e o teor relativo de água (TRA) foram avaliados apenas aos 87 dias após a implementação dos regimes hídricos, ou seja, ao final do experimento.

- Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ): aferido antes do amanhecer, às 4h e 30 min (antemanhã  $\Psi_{wam}$ ) e ao meio-dia ( $\Psi_{wmd}$ ). Para tal avaliação, foi coletada apenas uma folha da parte mediana de cada planta no respectivo horário. Cada folha foi imediatamente acondicionada em sacos plásticos e mantida em um isopor com gelo, com o objetivo de reduzir os riscos de perda de umidade durante o transporte do material até o laboratório de Fisiologia Vegetal para a determinação do potencial hídrico (SCHOLANDER et al., 1965).
- Teor relativo de água (TRA): aferido logo após a coleta das folhas para avaliação do potencial hídrico. Foi avaliado o teor relativo de água no período antemanhã (TRAAM) e ao meio-dia (TRAMD). Em cada folha, com o auxílio de um perfurador, foram retirados oito discos e registrou-se o peso fresco em uma balança de precisão. Em seguida, os discos foliares foram imersos em água

destilada por 24 horas e registrou-se o peso desse material, em estado de turgescência (PT). Os mesmos discos foliares foram submetidos à secagem em estufa, com circulação forçada de ar, a 25°C, durante 24 horas, e registrou-se o peso seco. Os mesmos procedimentos foram adotados para a folha coletada ao meio-dia.

### **3.7. Análise estatística**

Após a verificação da homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett) e normalidade (Teste de Lilliefors), os dados foram submetidos à análise de variância geral (ANOVA), por meio do programa SAEG versão 9.1.

Quando verificado efeito do fator quantitativo de disponibilidade hídrica, foi realizada a análise de variância da regressão para as características relacionadas à morfologia das plantas. Para as relações entre potencial hídrico, teor relativo de água e índice SPAD em função da disponibilidade hídrica, foram definidos modelos, por meio da análise de variância da regressão, independentemente da análise de variância geral, para as avaliações realizadas ao final do ensaio.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as características morfológicas de crescimento avaliadas aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação dos regimes hídricos (DAI), não foi verificada interação entre os clones e os níveis de disponibilidade hídrica. A diferença entre os clones foi evidenciada pelo número de ramos (NR), em três das quatro avaliações. Essa diferença também foi verificada para a altura das plantas (H) na primeira e na última avaliação e para diâmetro de caule (DC), somente aos 12 dias. Com relação aos diferentes regimes hídricos (50%, 75%, 100% e 125%), foi possível verificar efeito aos 87 dias para DC e número de folhas (NF) e para H (0, 12 e 87 DAI) (Tabela 1).

**Tabela 1** – Resumo da análise de variância de altura (H), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), número de ramos (NR) avaliados aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação dos regimes hídricos em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

Quadrados médios									
FV	GL	Altura (cm)				Diâmetro do caule (cm)			
		0DAI	12DAI	27DAI	87DAI	0DAI	12DAI	27DAI	87DAI
Clone (C)	1	61,26**	0,31	5,26	189,23*	0,21	2,65*	0,10	3,14
Água (A)	3	32,17*	20,26*	8,52	2037,42**	0,24	0,23	0,64	4,46*
A x C	3	3,91	4,29	2,06	38,58	0,12	0,43	0,01	0,21
Bloco	4	8,37	12,01	9,96	96,67	0,09	1,72**	0,38	1,01
Res	28	7,29	6,41	6,08	44,78	0,17	0,36	0,40	1,49
CV(%)		6,86	5,83	5,63	9,90	8,16	8,05	7,09	9,51
FV	GL	Número de folhas				Número de ramos			
		0DAI	12DAI	27DAI	87DAI	0DAI	12DAI	27DAI	87DAI
Clone (C)	1	3,03	1,60	2102,50	5978,03	32,40**	24,03**	25,60**	14,40
Água (A)	3	106,49	155,37	1876,87	17847,62**	3,13	2,89	1,23	39,00
A x C	3	8,03	289,80	2215,50	1227,16	0,87	0,63	1,40	25,67
Bloco	4	51,54	1960,09**	2384,34	12961,34**	2,34	3,79	4,96	74,98**
Res	28	72,89	344,84	2596,95	3120,01	2,28	2,36	2,42	16,86
CV(%)		19,66	22,47	24,03	14,88	29,61	28,31	29,08	18,50

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

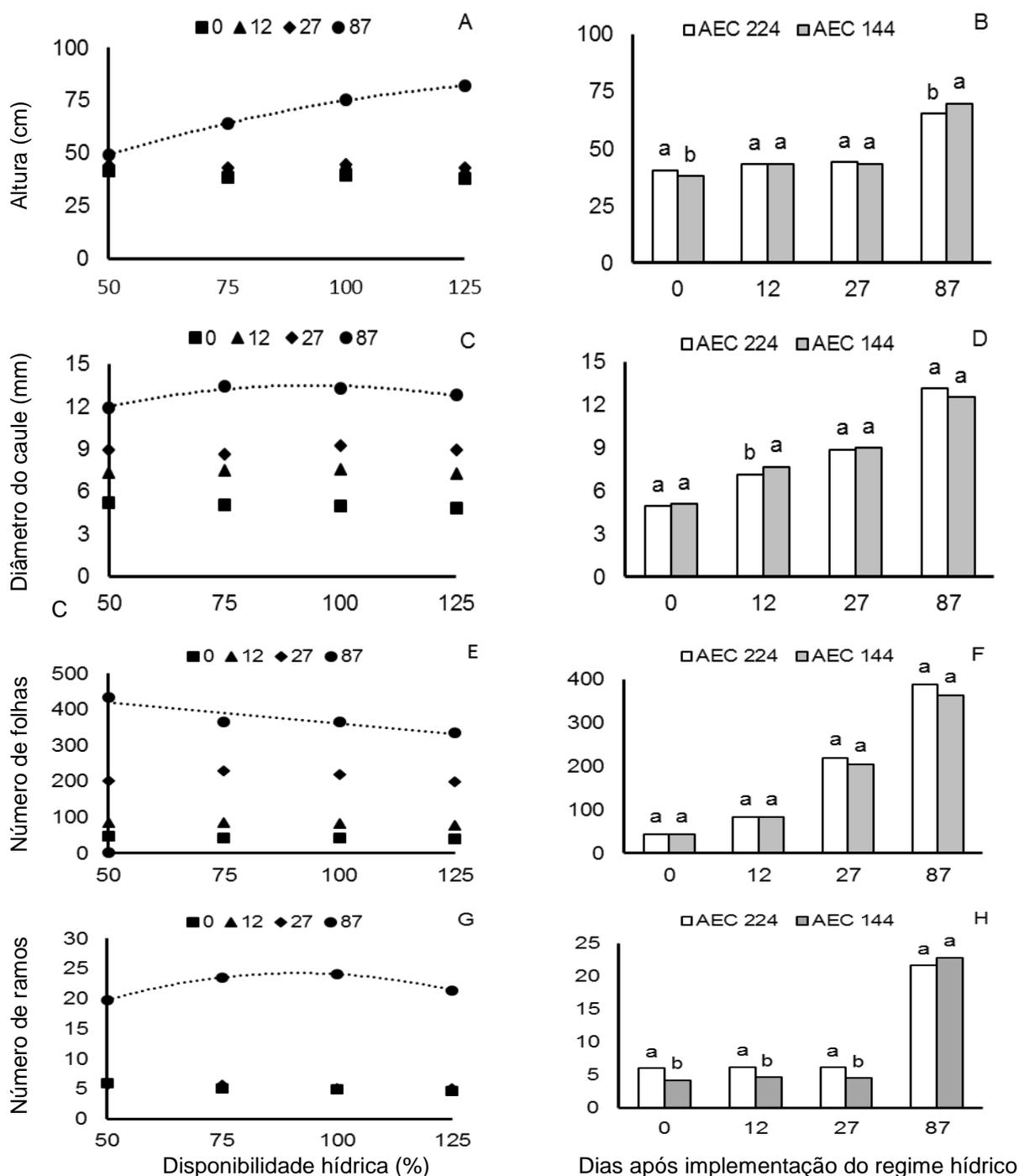
Para todas as características de crescimento avaliadas, o efeito do regime hídrico foi observado apenas aos 87 dias após a implementação dos regimes hídricos (Figura 5). A maior disponibilidade de água favoreceu o crescimento em H, DC e NR, quando comparadas ao tratamento de 50% da CC, sendo definido o modelo quadrático (Figuras 5A, 5C e 5G).

A altura das plantas foi a característica mais afetada pelos tratamentos, sendo os valores de incremento crescentes observados durante todo o gradiente de

disponibilidade hídrica (Figura 5A). Para DC e NR, os valores de acréscimos foram crescentes até 91,88% e 90,3% da CC, respectivamente, seguido de valores decrescentes até 125% da CC (Figuras 5C e 5G). A relação entre o NF e o regime hídrico foi caracterizada pelo modelo linear, com decréscimos durante todo o gradiente de disponibilidade hídrica (Figura 5E).

Ao avaliar as diferenças entre os clones, foi possível verificar que na primeira avaliação, após a implementação dos regimes hídricos, o clone AEC 224 apresentou altura maior que o clone AEC 144. Entretanto, ao final do experimento (aos 87 DAI), verificou-se inversão deste comportamento, em que a altura do clone AEC 224 foi menor que o do clone AEC 144 (Figura 5B). Fernandes (2012) verificou em seu trabalho que o clone AEC 144 teve maior incremento em altura do que o clone AEC 224, independentemente do regime hídrico adotado.

Tendência de homogeneidade entre os clones foi verificada para NF e DC; para DC, verificou-se diferença apenas em uma das avaliações (aos 12 DAI), quando o clone AEC 224 apresentou diâmetro menor que o clone AEC 144 (Figura 5D). Com relação ao DC, resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes (2012), Pereira (2006) e Tatagiba (2006), em que não foi encontrada diferença entre os clones avaliados. Foi observado que o clone AEC 224 apresentou maior NR que o AEC 144 até a penúltima avaliação (aos 27 DAI), entretanto, esta diferença não foi mantida ao final do ensaio (aos 87 DAI) (Figura 5H).



(A) Altura aos 87 DAI:  $\hat{Y} = 7,415 + 0,9964x - 0,0032x^2$  ( $R^2 = 0,9999$ )

(C) Diâmetro aos 87 DAI:  $\hat{Y} = 6,599 + 0,147x - 0,0008x^2$  ( $R^2 = 0,9444$ )

(E) Número de folhas aos 87 DAI:  $\hat{Y} = 480,37 - 1,1988x$  ( $r^2 = 0,8388$ )

(G) Número de ramos 87 DAA:  $\hat{Y} = 2,7100 + 0,4696x - 0,0026x^2$  ( $R^2 = 0,9998$ )

**Figura 5** – Altura, diâmetro de caule, número de folhas e número de ramos avaliados aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação dos regimes hídricos em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

A principal alteração morfológica provocada pelo PBZ em eucalipto é a redução do crescimento do caule, pela inibição da biossíntese de giberelinas

biologicamente ativas GA1 e GA20 (WILLIAMS et al., 1999), resultando em restrição do alongamento e da divisão celular nos meristemas lateral e apical (MORAES et al., 2014).

Oliveira et al. (2012), estudando árvores de oliveiras submetidas a diferentes regimes hídricos, verificaram que as plantas submetidas à restrição hídrica tiveram menor crescimento do que as plantas irrigadas. De acordo com Goldschmidt et al. (1998), a pouca disponibilidade hídrica influencia no crescimento das plantas em decorrência de alterações provocadas na biossíntese de hormônios e no transporte de fitorreguladores.

Oliveira et al. (2012) verificaram, com relação à disponibilidade de água, que aos 60 dias após a aplicação de PBZ no solo, as plantas que foram irrigadas tiveram crescimento maior do que aquelas que foram submetidas à restrição hídrica para todas as doses de PBZ aplicadas. Para a avaliação realizada aos 120 dias, somente as plantas que não receberam o tratamento com o inibidor e submetidas à restrição de água, tiveram crescimento menor. Os autores sugerem que o resultado encontrado quando o PBZ é aplicado via solo se deve à umidade do substrato, que favoreceria o transporte e a ação do inibidor na planta.

Ao final do experimento, (87 DAI), foram avaliadas características relacionadas ao efeito do PBZ. A interação entre os fatores clone e regime hídrico foi verificada apenas para o comprimento do entrenó maior (EM). O fator clone afetou a altura do entrenó maior (ALT), número de entrenós na altura correspondente (NE) e EM, não ocorrendo efeito para o comprimento do último entrenó (UE). A influência do regime hídrico foi verificada para ALT e UE (Tabela 2).

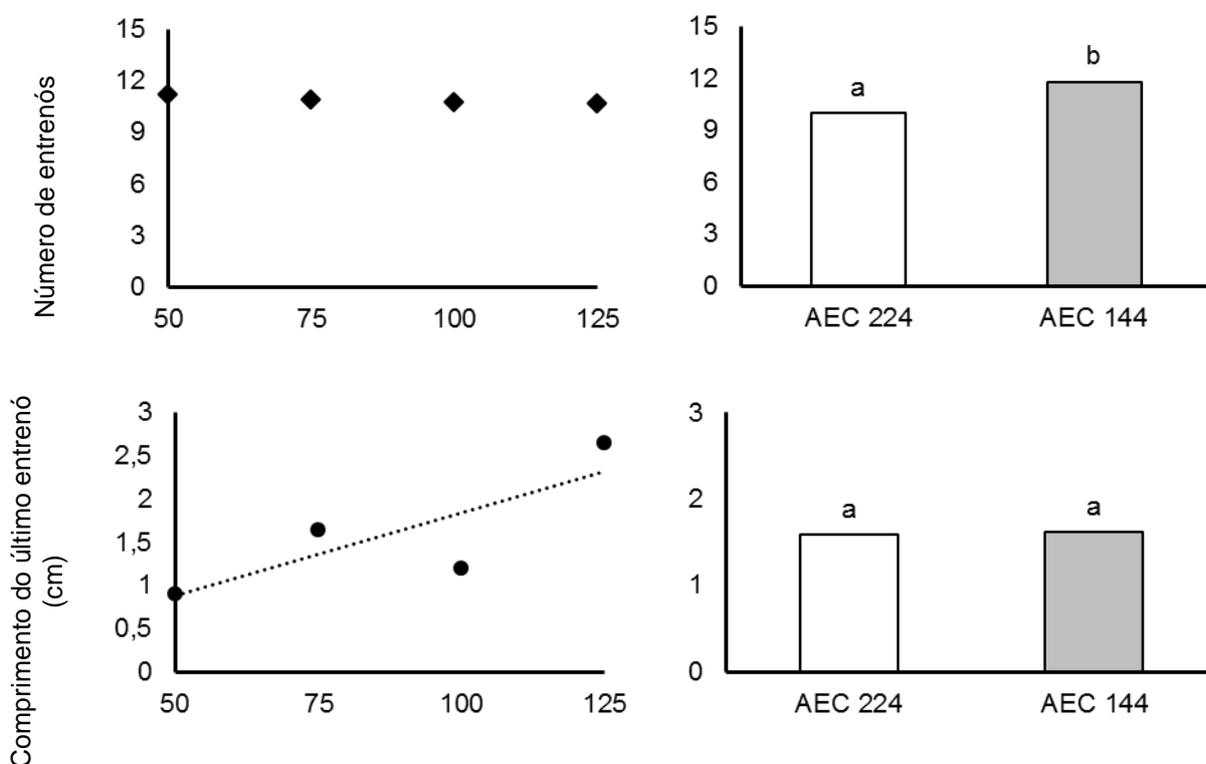
**Tabela 2** – Resumo da análise de variância da altura do entrenó maior (ALT), número de entrenós na altura correspondente (NE), comprimento do entrenó maior (EM), comprimento do último entrenó (UE), avaliados aos 87 dias após a implementação dos regimes hídricos em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

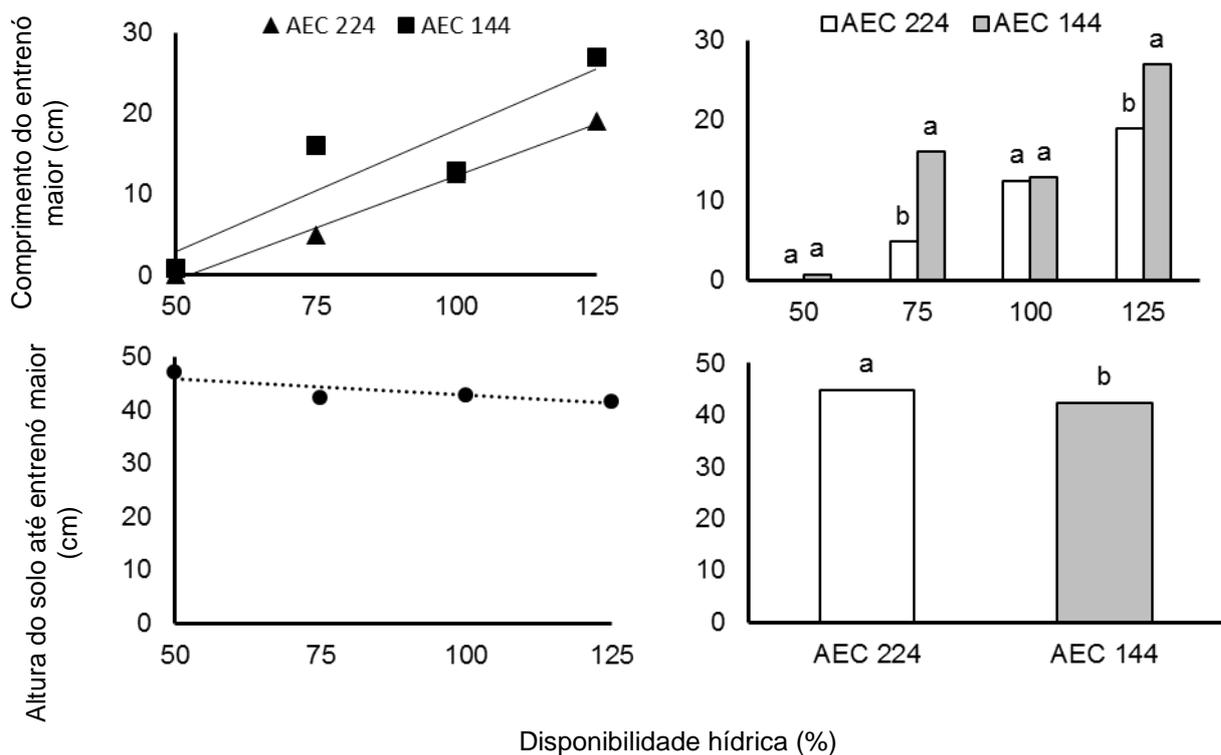
FV	gl	Quadrados Médios			
		ALT	NE	EM	UE
Clone (C)	1	60,02500*	32,40000**	240,1000**	0,012250
Água (A)	3	61,81667**	0,4666667	859,3667	5,803583**
A x C	3	8,808333	1,133333	78,50000*	3,020917
Bloco	4	5,150000	7,337500	73,38438*	2,795875
Res	28	11,28929	3,251786	25,33438	1,287161
CV(%)		7,7063	16,544	43,205	70,798

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

Para as características avaliadas (Figura 5), observou-se que o efeito inibidor do PBZ sobre o número de entrenós foi atingido em um mesmo estágio fisiológico de crescimento das plantas (11º entrenó) para todos os níveis de disponibilidade hídrica (Figura 5A). Foi observada elevação do comprimento dos entrenós limítrofes do efeito de PBZ (UE e EM) em função da disponibilidade hídrica para as plantas (Figuras 5C e 5E). Este efeito foi associado à maior velocidade de transporte do PBZ em função do regime hídrico adotado nos tratamentos.

Segundo Ochoa et al. (2009), quando o PBZ é aplicado via solo, o aumento da disponibilidade hídrica eleva a velocidade de transporte desse retardador no caule, reduzindo a persistência nesse órgão. Este fato foi relacionado à redução de ALT em função do aumento da disponibilidade hídrica. Quanto maior a disponibilidade hídrica, maior a velocidade de transporte do regulador, evidenciando antecipação de restrição do crescimento nos entrenós de menor ordem, resultando em menor ALT (Figura 5G). Tal fato se deve à maior disponibilidade de água, o que facilitaria o transporte do PBZ na planta e, conseqüentemente, o surgimento do seu efeito inibidor mais expressivo do que para as plantas menos irrigadas.





(C)  $\hat{Y} = -0,067 + 0,0191x$  ( $r^2 = 0,6534$ )

(E)  $\hat{Y} = -13,51 + 0,2584x$  ( $r^2 = 0,9935$ ) /  $\hat{Y} = -12,19 + 0,3016x$  ( $r^2 = 0,8152$ )

(G)  $\hat{Y} = 49,165 - 0,0636x$  ( $r^2 = 0,6816$ )

**Figura 5** – Altura até o entrenó maior (ALT), número de entrenós na altura correspondente (NE), comprimento do entrenó maior (EM), comprimento do último entrenó (UE), avaliados aos 87 dias após a implementação dos regimes hídricos em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

A redução do efeito do PBZ foi associada à avaliação de EM, sendo possível verificar a relação crescente em função da disponibilidade hídrica para os dois clones. Oliveira et al. (2012) verificaram redução linear do comprimento dos entrenós de oliveiras submetidas a diferentes regimes hídricos, quando o PBZ foi aplicado via solo. No entanto, observaram que a redução do comprimento dos entrenós, diminuiu de acordo com a época em que as avaliações foram realizadas. Maganhotto et al. (2003) observaram efeitos na planta até 60 dias após a aplicação do PBZ via solo, porém, tais efeitos foram atenuados a partir desse período.

A diferença entre clones foi verificada para peso de massa seca do caule e área foliar específica. Com relação aos diferentes regimes hídricos, as diferenças foram evidenciadas para as mesmas características, incluindo-se o peso de massa fresca de caule. Foi verificada interação dos fatores clone e níveis de disponibilidade

hídrica apenas para área foliar total (AFT) e relação parte aérea/raiz (PAR) (Tabela 3).

**Tabela 3** – Resumo da análise de variância de área foliar (AFT), peso de massa fresca de folhas (PMFF), peso de massa seca de folhas (PMSF), peso de massa fresca de caule (PMFC), peso de massa seca de caule (PMSC), peso de massa fresca de raiz (PMFR), peso massa seca de raiz (PMSR), peso de massa fresca total (PMFT), peso de massa seca total (PMST), relação parte aérea/raiz (PAR) e área foliar específica (AFE), avaliados aos 87 dias após implementação dos regimes hídricos em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

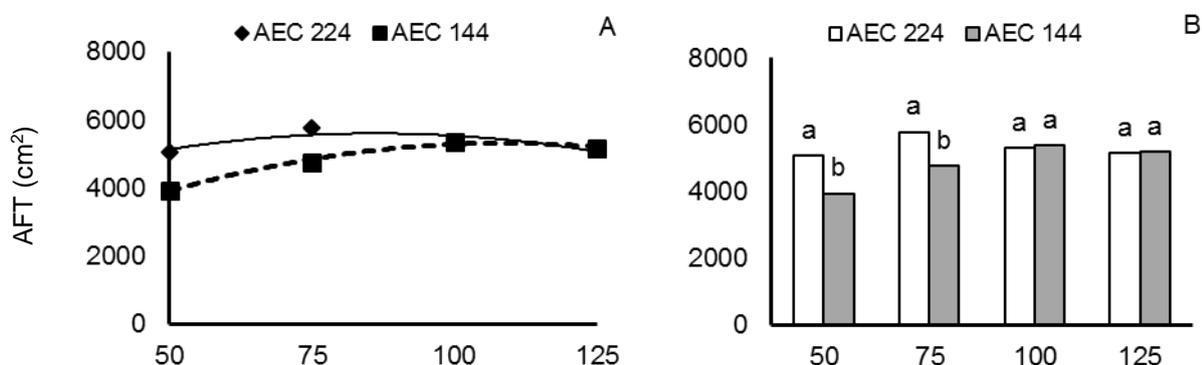
FV	gl	Quadrados Médios					
		AFTx10 <sup>5</sup>	PMFFx10 <sup>3</sup>	PMSF	PMFC	PMSC	PMFRx10 <sup>3</sup>
Clone (C)	1	26,11**	0,20	5,03	328,62	51,14*	0,01
Água (A)	3	14,95**	0,35	11,06	744,41**	72,40**	3,33
A x C	3	10,61*	0,37	25,63	140,10	25,60	13,66
Bloco	4	25,20**	1,16**	127,98**	554,67**	95,15**	9,52
Res	28	3,11	0,14	18,71	81,97	11,51	5,45
CV(%)		11,01	10,29	11,28	13,98	15,02	35,06

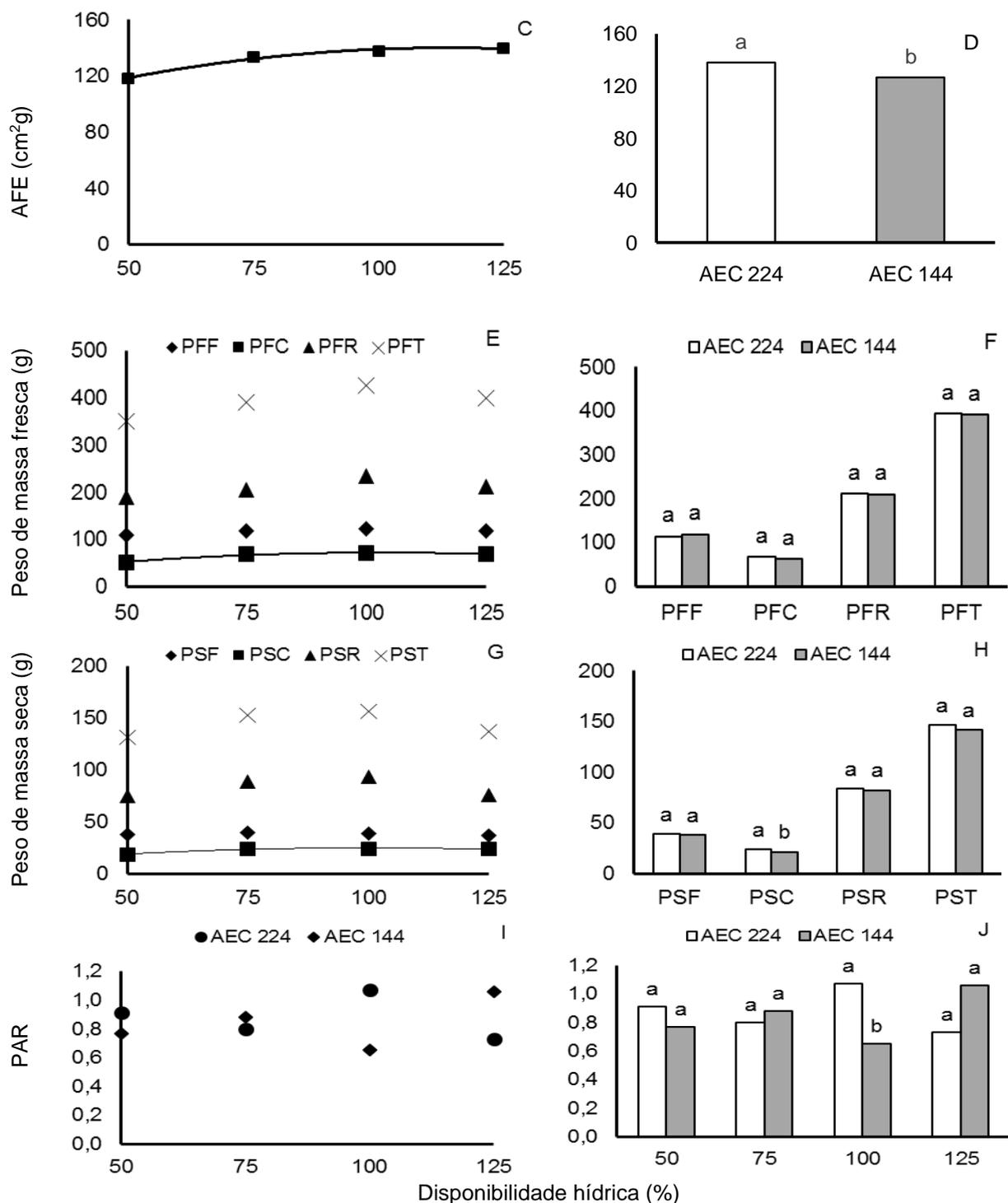
  

FV	gl	Quadrados Médios				
		PMSRx10 <sup>3</sup>	PMFTx10 <sup>3</sup>	PMSTx10 <sup>3</sup>	PAR	AFEx10 <sup>3</sup>
Clone (C)	1	0,03	0,057	0,22	0,02	1,27**
Água (A)	3	0,85	10,01	1,44	0,01	0,95**
A x C	3	3,08	16,09	3,12	0,26*	0,25
Bloco	4	2,51	16,56	3,58	0,27*	0,17*
Res	28	1,20	7,14	1,38	0,08	0,15
CV(%)		41,68	21,58	25,77	32,81	9,27

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

Para todas as relações definidas entre as características da parte aérea (área foliar total, área foliar específica, peso de massa fresca e seca do caule) e a disponibilidade hídrica, foi definido o modelo quadrático, sendo mantidos valores sempre superiores a 50% da CC (Figura 7).





**Figura 7** – Área foliar total (AFT), peso de massa fresca de folhas (PMFF), peso de massa seca de folhas (PMSF), peso de massa fresca de caule (PMFC), peso de massa seca de caule (PMSC), peso de massa fresca de raiz (PMFR), peso massa seca de raiz (PMSR), peso de massa fresca total (PMFT), peso de massa seca total (PMST), relação parte aérea/raiz (PAR) e área foliar específica (AFE), avaliados aos 87 dias após implementação dos regimes hídricos em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

Quando foi analisada a área foliar total das plantas de eucalipto, o modelo quadrático definido para o clone AEC 224 e AEC 144, foi caracterizado por elevações até 86,13% e 108,86% da CC, respectivamente. A partir destes limites superiores, foram verificados valores decrescentes, entretanto, a magnitude de elevação em relação a 50% da CC foi maior para o clone AEC 144 (36,06%) quando comparada ao clone AEC 224 (8,32%) (Figura 7A). Efeito semelhante foi observado para a relação entre o peso de massa fresca e seca do caule e a disponibilidade hídrica, com elevações máximas ocorrendo para 103% e 98,7% da CC, respectivamente, sendo observada variação em relação a 50% da CC de 37,3% (peso de massa fresca do caule) e 30,4%, (peso de massa seca do caule), respectivamente (Figuras 7E e 7G).

Os decréscimos verificados após a maximização de valores de crescimento da parte aérea foram associados à potencialização do efeito inibidor de crescimento do PBZ, induzidos pela disponibilidade de água, anteriormente exposta (OCHOA et al., 2009).

Maiores área foliar total, área foliar específica e peso de massa seca de caule foram verificadas para o clone AEC 224 em relação ao clone AEC 144 (Figuras 7B, 7D e 7H). Para a área foliar total, a diferença entre os clones em estudo foi mantida até 75% da CC, sendo equiparada para os níveis superiores de disponibilidade hídrica (100 e 125% da CC) (Figura 7B).

Para a relação entre peso da massa seca da parte aérea e raiz (PAR), não foi possível estabelecer tendências, devido à intensa variabilidade dos efeitos de clone e regimes hídricos. A elevação da disponibilidade hídrica eleva PAR, pelo estímulo ao maior vigor da parte aérea da planta. Para o presente estudo, a aplicação de PBZ nas plantas interferiu na expressão deste comportamento (Figuras 7I e 7J).

Para o índice SPAD não foi verificada interação entre clones e diferentes níveis de disponibilidade hídrica durante o período de avaliações. A diferença entre os clones foi evidenciada nas três primeiras avaliações (aos 0, 12 e 27 DAI). Com relação aos diferentes regimes hídricos foi possível verificar diferença apenas ao final do ensaio (Tabela 4).

**Tabela 4** – Resumo da análise de variância para o índice SPAD avaliado aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação dos regimes hídricos em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

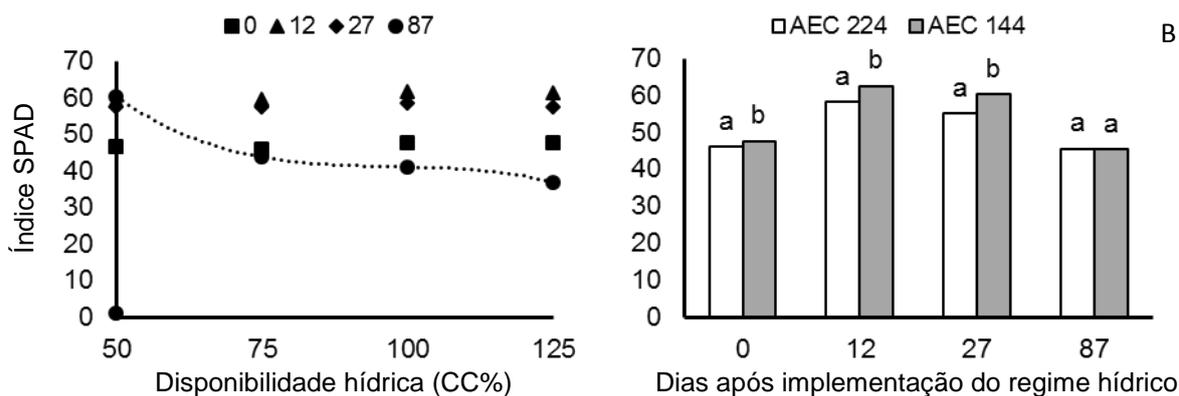
FV	GL	Quadrados médios			
		SPAD			
		0DAI	12DAI	27DAI	87DAI
Clone (C)	1	22,65*	178,51 **	265,23**	0,06
Água (A)	3	6,43	14,27	3,08	1068,50**
A x C	3	3,64	11,08	6,88	13,27
Bloco	4	1,45	1,785	11,72	105,82*
Res	28	3,50	6,86	9,82	27,28
CV(%)		3,99	4,34	5,43	11,48

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

Para a relação entre o índice SPAD e a disponibilidade hídrica foi ajustado o modelo polinomial de terceira ordem, caracterizado por decréscimo de valores (Figura 8).

Para o presente estudo, embora a disponibilidade hídrica tenha interferido na velocidade de transporte de PBZ da raiz para parte aérea, retardando o efeito de restrição do alongamento celular e, desta forma, elevando o índice SPAD, somado a este fato, o efeito direto da disponibilidade hídrica no alongamento celular, intensificou o efeito dos decréscimos do índice SPAD em relação à elevação da capacidade de campo (Figura 8).

Na última avaliação deste parâmetro, os clones tiveram o mesmo comportamento, no entanto, nas primeiras avaliações (aos 0, 12 e 27 DAI), um dos clones se mostrou superior (Figura 8B). A superioridade do clone AEC 144, com relação ao índice SPAD, pode estar relacionada à variação genotípica da espécie estudada, além da folha-diagnóstica e época de amostragem (ROZANE et al., 2009). Fernandes (2012) verificou que para o índice SPAD, houve diferença apenas entre os clones, onde o AEC 144 e o AEC 224 apresentaram maiores valores desse índice.



(A) Índice SPAD aos 87 dias:  $\hat{Y} = 198,64 - 4,7908x + 0,0489x^2 - 0,0002x^3$  ( $R^2 = 1,0000$ )

**Figura 8** – Índice SPAD avaliado aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação do regime hídrico em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

Em alguns estudos sobre a relação entre o índice SPAD e disponibilidade hídrica, verificou-se que taxas entre 40 e 65% da CC induzem a valores superiores deste índice, em relação à condição de maior oferta de água no solo (MOURA et al., 2016; BONFIM-SILVA et al., 2015). Tais resultados foram semelhantes aos verificados no presente estudo, no qual foi possível verificar índices maiores para o regime hídrico de 50% da CC em relação aos demais tratamentos de disponibilidade hídrica, pois a água está diretamente relacionada ao processo de alongamento celular, assim, a maior disponibilidade de água no solo e na planta resulta no “efeito diluição dos pigmentos fotossintéticos”.

Moraes et al. (2012) verificaram aumento do índice SPAD em *E. grandis*, de acordo com o acréscimo nas concentrações de PBZ (100, 200 e 300 mg L<sup>-1</sup>). Oliveira et al. (2012) também verificaram aumento do índice SPAD em oliveiras tratadas com maiores doses de PBZ e concluíram que esse incremento, possivelmente, ocorreu em consequência do menor desenvolvimento da área foliar das plantas submetidas às maiores doses.

Para o potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) e o teor relativo de água antemanhã (TRAAM), os efeitos de clone e regime hídrico não afetaram as características avaliadas neste período. Entretanto, quando a avaliação do status hídrico da planta foi realizada ao meio-dia, foi observado efeito da disponibilidade hídrica para o potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) (Tabela 5).

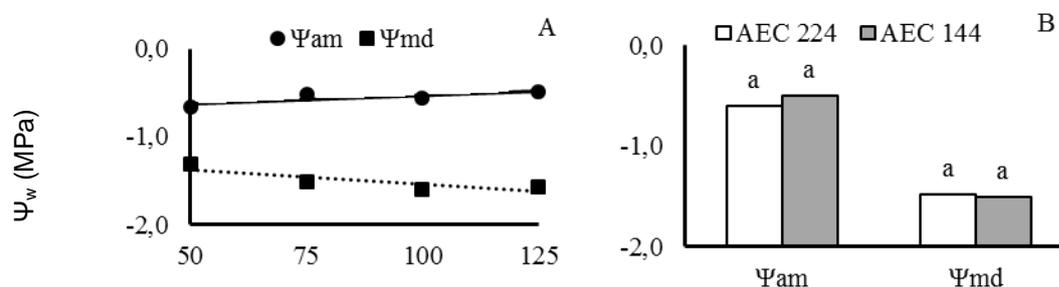
Quando o teor relativo de água foi avaliado ao meio-dia, maior valor foi atribuído ao clone AEC 144 em relação ao clone AEC 224, não ocorrendo diferença entre os clones para os índices de potencial hídrico e para o teor relativo de água determinado no período antemanhã.

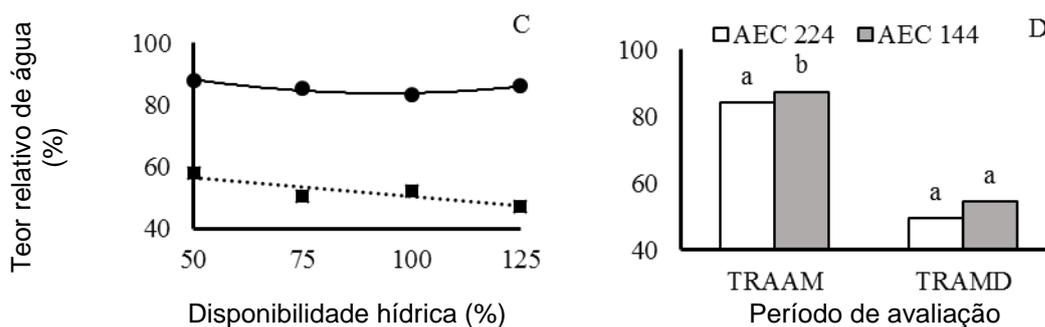
**Tabela 5** – Resumo da análise de variância para o potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ), teor relativo de água antemanhã (TRAAM), potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) e teor relativo de água ao meio-dia (TRAMD), avaliados aos 87 dias após a implementação do regime hídrico em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

FV	gl	Quadrados Médios			
		$\Psi_{am}$	TRAAMx10 <sup>-3</sup>	$\Psi_{md}$	TRAMDx10 <sup>-3</sup>
Clone (C)	1	0,1000	0,11	0,0076	0,26*
Água (A)	3	0,0572	0,04	0,1612*	0,21**
A x C	3	0,0435	0,01	0,0411	0,03
Bloco	4	0,0177	0,01	0,0487	2,49**
Res	28	0,0358	0,06	0,0526	0,05
CV(%)		34,070	9,0255	15,306	13,119

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

Para a relação entre o teor relativo de água e potencial hídrico foliar avaliados no período antemanhã e ao meio dia, e os níveis de disponibilidade hídrica, foram definidos modelos quadrático e linear, respectivamente. O  $\Psi_{md}$  e o teor relativo de água avaliado no período antemanhã e ao meio-dia foram mantidos em patamar inferior aos valores verificados nas plantas sob disponibilidade hídrica de 50% da CC. Os valores de  $\Psi_{am}$ , de modo contrário, foram superiores à condição de 50% CC (Figura 9).





$$(A) \hat{Y} = 1,203 + 0,0034x \quad (r^2 = 0,7381) / \hat{Y} = -0,919 + 0,0069x - 0,00003x^2 \quad (R^2 = 0,7714)$$

$$(C) \hat{Y} = 62,724 - 0,1241x \quad (r^2 = 0,7636) / \hat{Y} = 104,21 - 0,435x + 0,0023x^2 \quad (R^2 = 0,9245)$$

**Figura 9** – Potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ), Teor relativo de água antemanhã (TRAAM), Potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) e Teor relativo de água ao meio dia (TRAMD), avaliados aos 87 dias após a implementação do regime hídrico em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144), submetidos a diferentes regimes hídricos.

Em estudos sobre *Stevia rebaudiana*, Hajihashemi e Ehsanpour (2013) verificaram que a aplicação de PBZ elevou o teor relativo de água somente quando as plantas foram mantidas sob condição de restrição hídrica induzida por PEG; quando em condição hídrica plena, o PBZ resultou em decréscimo do teor relativo de água, em situação semelhante ao verificado no presente estudo.

A elevação da condutância estomática e da transpiração foliar em função da disponibilidade hídrica foram os fatores que afetaram a redução do teor relativo de água (Figura 8). Parvin et al. (2015) verificaram que para morangueiros cv. Pardos, submetidos ao PBZ, houve elevação do teor relativo de água e do índice de estabilidade das membranas, associando como causa, a restrição da transpiração, induzida pelo regulador. A elevação dos níveis de prolina, semelhantes à verificada em tratamentos com restrição hídrica, evidenciou um possível mecanismo de tolerância promovido pelo PBZ nas plantas de morangueiro.

Quando os estômatos se mantiveram fechados, a relação hídrica entre solo e planta foi caracterizada por uma relação crescente entre o  $\Psi_{am}$  e a elevação dos níveis de capacidade de campo (Figura 8A). É importante ressaltar que o modelo definido para o peso de massa fresca das raízes foi semelhante ao verificado para o potencial hídrico antemanhã, indicando que, quanto maior a superfície de contato entre raiz e substrato, maior a disponibilidade hídrica, na ausência da transpiração.

Entretanto, tal relação foi inversa para o teor relativo de água analisado ao meio-dia e os níveis de capacidade de campo, determinada no mesmo período

(Figura 8C). Mesmo com maior disponibilidade de água no substrato e na planta, a manutenção da ausência da transpiração devido ao fechamento dos estômatos durante o período noturno não foi suficiente para a recuperação do status hídrico reduzido durante o período diurno, como foi verificado pelos menores índices de  $\Psi_{md}$ .

Marshall e Dumbroff (1999) verificaram que a aplicação de PBZ via solo em plântulas de *Picea glabra* resultou em otimização do status hídrico, sendo observada redução do teor relativo de água e elevação do  $\Psi_{am}$ . A capacidade de alongamento celular foi mantida nas plantas tratadas com PBZ, mesmo sob restrição hídrica devido à manutenção do elevado potencial de turgor das células. Desta forma, a homogeneidade da capacidade de acúmulo de biomassa entre os diferentes níveis de disponibilidade hídrica foi associada a este efeito do PBZ.

Em macieiras jovens, Zhu et al. (2004) verificaram que a aplicação de PBZ via solo induziu a elevação do  $\Psi_{am}$ , associando este efeito ao aumento na biossíntese de citocininas, mais especificamente, zeatina e zeatina ribosídeo.

Para a fotossíntese líquida e a transpiração, o efeito do fator clone foi verificado até os 12 dias após a implementação dos regimes hídricos. Quanto ao efeito do fator disponibilidade hídrica, foi verificada elevada dispersão de efeitos nos períodos após a implementação dos regimes hídricos. Para a fotossíntese líquida, seu efeito foi evidenciado apenas na primeira avaliação (0 DAI) da fotossíntese líquida. Para a temperatura foliar e condutância estomática, os efeitos da disponibilidade hídrica foram marcantes nos períodos mais tardios de implementação dos regimes hídricos, aos 27 e 87 DAI, respectivamente. Para a transpiração, o efeito dos regimes hídricos foi observado a partir do 12º dia após a implementação dos regimes hídricos, sendo mantido até o final do estudo (87 DAI) (Tabela 6).

**Tabela 6** – Resumo da análise de variância das trocas gasosas foliares para fotossíntese líquida (A), temperatura da folha (TL), transpiração (E), condutância estomática (gs) e eficiência de carboxilação (A/Ci), avaliados aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação do regime hídrico em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

FV	gl	Quadrados Médios							
		Fotossíntese líquida (A)				Temperatura da folha (TL)			
		0	12	27	87	0	12	27	87
Clone (C)	1	28,39**	21,14*	0,23	52,40	0,01	0,01	0,12	0,11
Água (A)	3	5,76*	8,38	8,30	39,30	0,34	0,31	0,82**	0,37
A x C	3	1,45	2,67	0,25	9,03	0,10	0,06	0,01	0,22
Bloco	4	4,50	2,78	3,72	53,78*	23,57**	10,21**	10,64**	13,59**
Res	28	1,89	3,80	4,16	16,10	0,20	0,45	0,14	0,53
CV(%)		6,99	10,11	15,55	16,51	1,32	2,37	1,18	2,27
FV	gl	Condutância estomática (gs) x10 <sup>3</sup>				Transpiração (E)			
		0	12	27	87	0	12	27	87
		Clone (C)	1	19,36**	18,81	1,00	61,62	0,97*	0,18*
Água (A)	3	4,52	6,18	6,85	372,54**	0,05	0,11*	0,58**	2,89**
A x C	3	4,49	4,59	0,81	127,75	0,21	0,01	0,04	0,24
Bloco	4	11,31	8,93	13,57	269,11*	5,48	0,18**	0,83**	1,73
Res	28	1,8	6,43	3,79	83,92	0,15	0,03	0,12	0,64
CV(%)		11,46	16,13	18,95	28,90	7,12	6,26	9,51	13,72
FV	gl	Eficiência de carboxilação (A/Ci) x10 <sup>-4</sup>							
		0	12	27	87				
		Clone (C)	1	8,10**	4,90	0,10	11,20		
Água (A)	3	1,80	2,70	1,70	2,90				
A x C	3	0,03	0,90	0,10	4,80				
Bloco	4	1,10	2,10	1,90	12,70				
Res	28	0,70	1,20	0,90	4,90				
CV(%)		9,43	13,94	17,98	22,14				

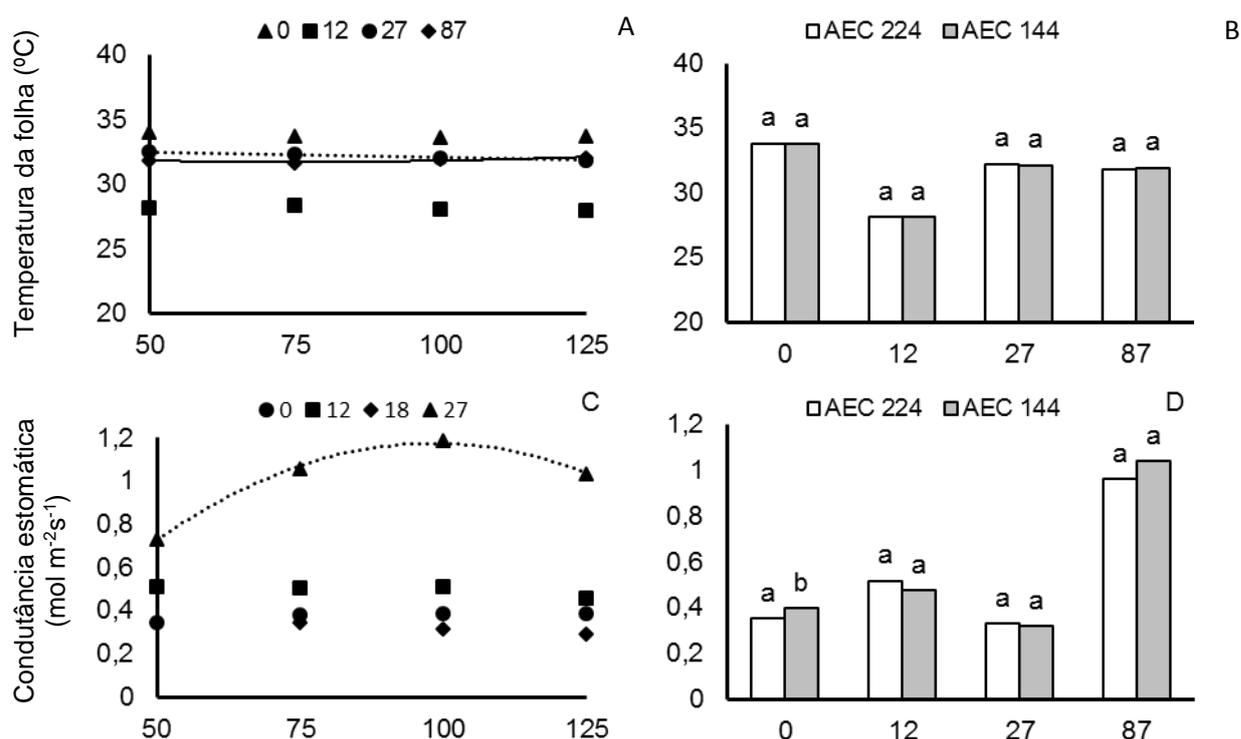
\*, \*\*, significativo a 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

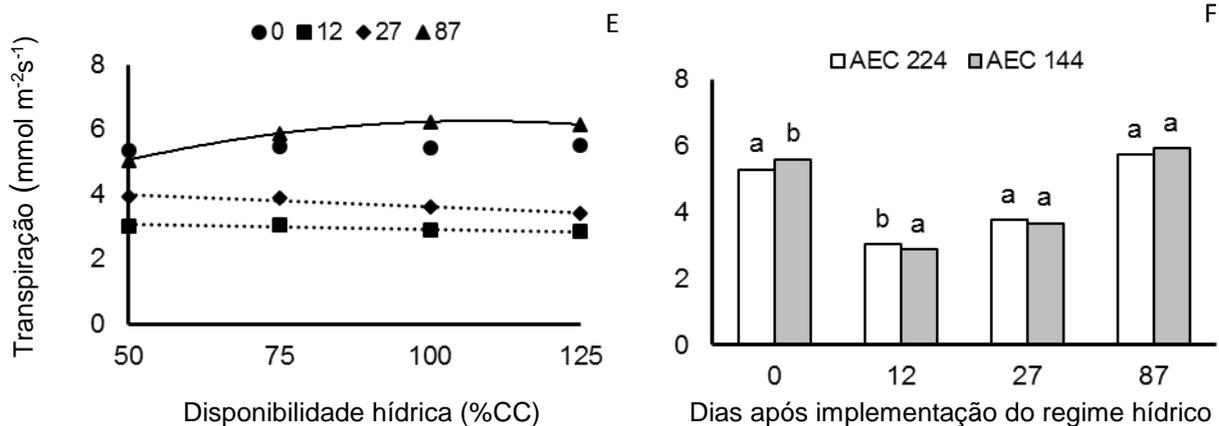
O decréscimo da temperatura da folha em função dos níveis de disponibilidade hídrica foi associado ao efeito da maior disponibilidade hídrica em atenuar extremos térmicos nas plantas, sendo observado nas avaliações realizadas aos 27 dias. Aos 87 dias após a implementação do regime hídrico, a relação estabelecida entre a temperatura da folha e os níveis de disponibilidade hídrica foi definida pelo modelo quadrático. Observou-se que a redução da temperatura da folha em relação à disponibilidade hídrica foi associada à elevação da transpiração foliar, sendo este um importante mecanismo de regulação térmica foliar (Figura 10).

Ao final do estudo (aos 87 dias após a implementação do regime hídrico), para condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese líquida (A) e eficiência de carboxilação (A/Ci), foi definido o modelo quadrático para a relação com os níveis de disponibilidade hídrica, sendo mantidos valores sempre superiores em relação a 50% da CC. Para a capacidade de campo de 94,5%, 97,38%, 97,25% e 91,67% foi verificado maior valor de condutância estomática (1,1040 mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>),

transpiração ( $5,86 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), fotossíntese líquida ( $21,91 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e eficiência de carboxilação ( $0,1047 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{vmp}^{-1}$ ), sendo verificada variação de 55,94%, 18,1%, 20,81% e 11,05%, respectivamente, em relação a 50% da CC. Sob restrição hídrica (50% da CC), devido à redução da velocidade de transporte do PBZ do solo para a parte aérea da planta, o efeito do regulador, bem como sua dissipação, foi postergada, em relação à maior disponibilidade de água. Desta forma, ao final do estudo foi verificada otimização da redução da condutância estomática, fotossíntese líquida e transpiração, devido ao efeito do PBZ e da restrição hídrica (Figura 10 e Figura 11).

O maior valor de condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida e eficiência de carboxilação verificados para o clone AEC 144 a partir dos tratamentos de disponibilidade hídrica e aos seis dias após aplicação de PBZ não foi mantido nos estádios de crescimento posteriores (Figuras 10D e 10F, Figuras 11B e 11D).





(A) Aos 87 DAI:  $\hat{Y} = 32,606 - 0,0234x + 0,0002x^2$  ( $R^2 = 0,7714$ )

Aos 27 DAI:  $\hat{Y} = 32,943 - 0,0087x$  ( $r = 0,9747$ )

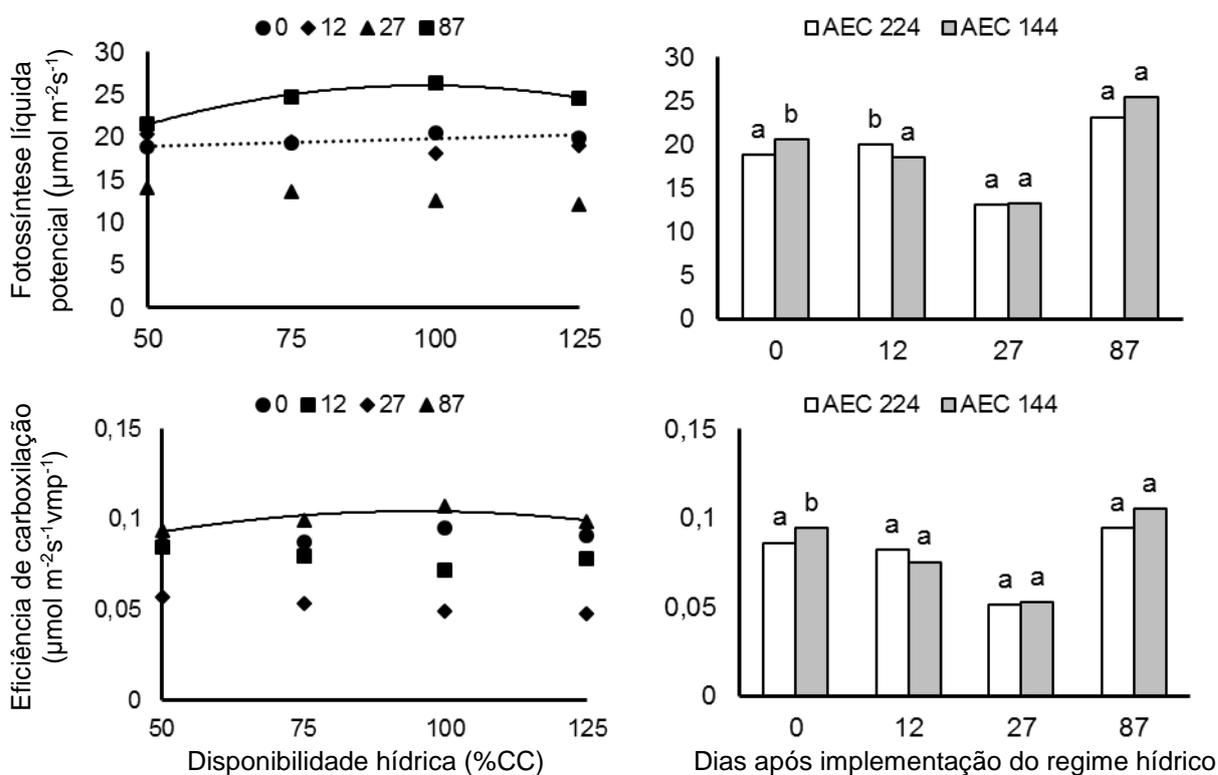
(C) Aos 87 DAI:  $\hat{Y} = -0,6828 + 0,0378x - 0,0002x^2$  ( $R^2 = 0,9968$ )

(E) Aos 12 DAI:  $\hat{Y} = 3,1971 - 0,0028x$  ( $r = 0,7526$ )

Aos 27 DAI:  $\hat{Y} = 4,3363 - 0,0072x$  ( $r = 0,9302$ )

Aos 87 DAI:  $\hat{Y} = 2,0641 + 0,0779x - 0,0004x^2$  ( $R^2 = 0,9999$ )

**Figura 10** – Temperatura da folha (TL), condutância estomática (gs) e transpiração foliar (E), avaliados aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação do regime hídrico em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.



(A) Aos 87 DAI:  $\hat{Y} = 6,9974 + 0,389x - 0,002x^2$  ( $R^2 = 0,9867$ )

Aos 0 DAI:  $\hat{Y} = 18,091 + 0,0182x$  ( $r = 0,6002$ )

(C) Aos 87 DAI:  $\hat{Y} = 0,0543 + 0,0011x - 0,000006x^2$  ( $R^2 = 0,8174$ )

**Figura 11** – Taxa de fotossíntese líquida potencial (A) e eficiência de carboxilação (ACi) avaliadas aos 0, 12, 27 e 87 dias após a implementação do regime hídrico em clones de *Eucalyptus urophylla* (AEC 224 e AEC 144) submetidos a diferentes regimes hídricos.

Sridharan e Raja (2015) verificaram que a aplicação de triazóis como o Triadimefon e Hexaconazole (20 ppm) em plantas de *Raphanus sativus* L., embora tenha promovido a elevação do número de estômatos na face inferior do limbo foliar, ocorreu redução do tamanho da abertura estomática, resultando em redução da condutância estomática. Babu et al. (2014) verificaram redução da condutância estomática para amoreiras (*Morus alba* L.) tratadas com concentração de 12ppm de PBZ.

Roseli e Ramlan (2012) verificaram que a aplicação de elevadas concentrações de PBZ via solo (até 3,75 g L<sup>-1</sup>) em plantas de *Syzygium myrtifolium* (Roxb.) Walp., resultaram em redução das taxas de fotossíntese líquida, transpiração foliar e condutância estomática. Entretanto, é importante observar que Babu et al. (2014) verificaram que aplicações de menores concentrações de PBZ (12 mg L<sup>-1</sup>) resultaram em elevação das taxas de fotossíntese líquida, porém, associadas à redução de transpiração e condutância estomática.

## 5. CONCLUSÕES

A maior disponibilidade hídrica favorece o crescimento em altura, diâmetro do caule e número de ramos, minimizando os efeitos de inibição do crescimento das plantas, promovidos pelo PBZ. Além disso, percebe-se que o número de folhas é reduzido.

A aplicação do PBZ afeta o comprimento dos entrenós limítrofes em função da maior disponibilidade hídrica, provocando a aceleração do transporte do regulador para as folhas.

A maior disponibilidade hídrica favorece ainda o aumento da área foliar total, área foliar específica, pesos de massa fresca e seca de caules, folhas e raízes.

A deficiência hídrica não afeta o acúmulo de biomassa das plantas de eucalipto tratadas com PBZ. Os clones de eucalipto AEC 224 e AEC 144 submetidos à aplicação de paclobutrazol na concentração  $75 \text{ mg L}^{-1}$  mantêm a capacidade de acúmulo de massa dos clones de eucalipto, mesmo quando submetidos a regimes hídricos inferiores ao da capacidade de campo.

Não foi possível estabelecer tendências para a relação parte aérea/raiz.

Além disso, nota-se que a menor disponibilidade de água afeta o índice SPAD, pelo aumento do teor de clorofila nas folhas. A maior disponibilidade hídrica reduz também o teor relativo de água, elevando o potencial hídrico foliar quando avaliados no período antemanhã, de modo que reduz as mesmas características na avaliação ao meio-dia.

A redução da disponibilidade hídrica restringe a condutância estomática, fotossíntese líquida e transpiração, além de intensificar a cor verde das folhas dos clones de eucalipto AEC 224 e AEC 144, quando submetidos à aplicação de paclobutrazol via solo, na concentração de  $75 \text{ mg L}^{-1}$ .

É importante destacar que ao final do estudo, o clone AEC 144 apresentou maior média de altura com relação ao clone AEC 224, e não houve diferenças entre os clones quando se avaliou diâmetro do caule, número de folhas e número de ramos.

O clone AEC 144 apresentou maior número de entrenós e maior comprimento do entrenó limítrofe. O clone AEC 224 mostrou-se superior com relação à altura até o entrenó maior.

Para os regimes de limitação da disponibilidade hídrica (50% e 75% da CC), a área foliar total do clone AEC 224 é maior que a do clone AEC 144, quando submetidos à aplicação de paclobutrazol via solo, na concentração de 75 mg L<sup>-1</sup>.

O clone AEC 144 obteve maior índice SPAD que o clone AEC 224, em três das quatro avaliações.

## REFERÊNCIAS

- ABAF – Associação Baiana das Empresas de Base Florestal. Bahia Florestal. Anuário da ABAF 2013: ano base 2012. Bahia: ABAF. 2013. 44 p. Disponível em: <http://www.abaf.org.br/download/bahia-florestal-anuario-abaf-2013.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2016.
- ABDOLLAHI, M.; Eshghi, S.; Tafazzoli, E.; Moosavi, N. Effects of paclobutrazol, boric acid and zinc sulfate on vegetative and reproductive growth of strawberry cv. Selva. **Journal of Agriculture, Science and Technology**, v. 14, p. 357-363, 2012.
- ABRAF – Associação Brasileira de produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico 2013 ano base 2012. 142 p. Disponível em: <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2016.
- ALBANY, N. R.; VILCHEZ, J. A.; GARCIA, L.; JIMENEZ, E. Comparative study of morphological parameters of Grand Nain banana (*Musa AAA*) after in vitro multiplication with growth retardants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 83, p. 357-361, 2005.
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. V. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Editora UFV, Viçosa, 2009, 500 p.
- ALVARENGA, R. C.; BARROS, N. F. de; DANTAS, C. E. de S.; LOBÃO, D. E. V. P. Efeitos do conteúdo de água no solo e da poda de raízes sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 18, n. 2, p. 107-114, 1994.
- ALVES F. F. **Seca de ponteiros e crescimento de clones de eucalipto em diferentes doses de adubação**. Viçosa-MG: UFV, 2011, 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.
- ARTECA, R. N. **Plant growth substances: principles and applications**. New York: Chapman & Hall, 1996, 352 p.
- ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: UFV, 2007, p. 93-121.
- BABU, T. M.; REDDY, A.B. S.; BASHA, P. A.; NAIK, S. T. Transpiration and Photosynthesis as Affected by Triazoles in Mulberry (*Morus alba* L.). **Indian Journal of Advances in Chemical Science**, v.2, n. 4, p. 271-274, 2014.
- BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.
- BANINASAB, B.; GHOBADI, C. Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 30, p. 213-219, 2011.
- BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; NOVAES, A. B.; LELES, P. S. S. Efeitos do recipiente sobre o desempenho pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn e *E. urophylla* S.T. Blake. **Revista Árvore**, v. 24, n. 3, p. 291-296, 2000.

BARROSO, D. G. **Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla* produzidas em tubetes e em blocos prensados com diferentes substratos.** Rio de Janeiro-RJ: UENF, 1999, 77 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Universidade Estadual do Norte Fluminense.

BERBERICH, S.; SNYDER, J; GENEVE, R.; WILLIAMS, M. A. Growth and flowering response of container grown passion flower cultivars to fertilizer and paclobutrazol. **Journal Environmental Horticulture**, v. 24, n. 2, p. 109-114, 2006.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, 75-87, 2002.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 7.ed. Viçosa: UFV, 2005, 611 p.

BOMFIM, A. A.; NOVAES, A. B. de; SÃO JOSÉ, A. R.; GRISI, F. A. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 33-40, 2009.

BONFIM-SILVA, E. M.; KROTH, B. E.; SILVA, T. J. A.; KOETZ, M. Desenvolvimento inicial de pinhão-mansinho sob disponibilidades hídricas do solo. **Irriga**, v. 20, n. 1, p. 73-81, 2015.

BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A. C.; SOUSA J. V. R; LIMA. M, A. E.; LIMA, M. A. de; ALMEIDA, E. R. Efeitos da saturação por bases no desenvolvimento inicial do pinhão mansinho em LATOSSOLO do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 469-478, 2011.

CAMPOS, D. T. da S.; SILVA, M. de C. S. da; LUZ, J. M. R. da; TELESFORA, R. J.; KASUYA, M. C. M. Colonização micorrízica em plantios de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 965-974, 2011.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* (*S. parahyba* var: *amazonicum*) e *Schizolobium parahyba* (*Schizolobium parahybum*) à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 907-914, 2005.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Effects of water stress induced by sodium chloride and mannitol on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.). **New Forests**, v. 40, n. 1, p. 349-360, 2010.

CHANEY, W. R. **Growth retardants: a promising tool for managing urban trees.** West Lafayette: Purdue University, 2005, 6 p.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551–560, 2009.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G. dos.; REIS, M. das G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 333-341, 2004.

CHAVES, J. H. **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. Viçosa-MG: UFV, 2001. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

CHORBADJIAN, R. A.; BONELLO, P.; HERMS, D. A. Effect of the growth regulator paclobutrazol and fertilization on defensive chemistry and herbivore resistance of Austrian Pine (*Pinus nigra*) and Paper Birch (*Betula papyrifera*). **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 37, n. 6, p. 278–287, 2011.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, 2004.

COSTA, M. A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Mobilidade do paclobutrazol em um solo franco-arenoso cultivado com manga no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2177-2182, 2008.

DAVIS, T. D. Regulation of tree growth and development with triazole compounds. **Journal of arboriculture**, v. 17, n. 6, p. 167-170, 1991.

DAVIS, T. D.; CURRY, E. A. Chemical regulation of vegetative growth. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 10, n. 2, p. 151-158, 1991.

DESTEFANO, D. A.; GRYBAUSKAS, A. P.; SHERALD, J. L.; MOMEN, B.; HUANG, Q.; SULLIVAN, J. H. Effect of the growth regulator paclobutrazol on growth of the bacterial pathogen *Xylella fastidiosa*. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 33, n. 4, p. 246-252, 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**, v. 1, p. 1-8, 2016.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.

FERNANDES, E. T. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. Vitória da Conquista-BA: UESB, 2012, 114 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

FERRACINI, V. L.; QUEIROZ, S. C. N. de.; ROSA, M. A.; LOPES, P. R. C. **Determinação de resíduos de Paclobutrazol em manga (*Mangifera indica* L.) por cromatografia acoplada a espectrometria de massas (LCMS/ MS)**. Jaguariúna-SP: Embrapa Meio Ambiente (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58), 2011, 16 p.

FERRACINI, V. L.; QUEIROZ, S. C. N. de.; ROSA, M. A.; PEDROSA, D. **Determinação de paclobutrazol em solo por cromatografia líquida de alta eficiência**. Jaguariúna-SP: Embrapa Meio Ambiente (Comunicado Técnico, 49), 2008, 4 p.

FERREIRA, F. A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil**. Mogi Guaçu: International Paper, 2002, 98 p.

FLETCHER, R. A.; GILLEY, A.; SANKHLA, N.; DAVIS, T. D. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. **Horticultural Reviews**, v. 24, p. 55-138, 2000.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010, 200 p.

FREITAS, T. A. S. de; BARROSO, D. G.; SOUZA, L. S.; CARNEIRO, J. G. de A.; PAULINO, G. M. Produção de mudas de eucalipto com substratos para o sistema de blocos. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 761-770, 2010.

GAUSMAN, H. W. (Ed.). **Plant biochemical regulators**. New York: M. Dekker, 1991, 363 p.

GOLDSCHMIDT, E. E.; TAMIM, M.; GOREN, R. Gibberellins and flowering in citrus and other fruit trees. **Acta Horticulturae**, v. 1, n. 463, p. 201-216, 1998.

GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa-MG: UFV, 1994, 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 8-14, 2009.

HAJIHASHEMI, S. EHSANPOUR, A. A. Influence of exogenously applied paclobutrazol on some physiological traits and growth of *Stevia rebaudiana* under in vitro drought stress. **Biologia**, v. 63, n. 3, p. 414-420, 2013.

HARDIYANTO, E. B. Growth and genetic improvement of *Eucalyptus pellita* in South Sumatra, Indonesia. In: **Eucalyptus in Asia**: proceedings of an international conference held in Zhanjiang, Guangdong, People's Republic of China, 7-11 April 2003. Canberra: ACIAR, 2003, p. 82-88.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=316800&search=|infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>. Acesso em: 15 jun. 2016.

JACKSON, M. J.; LINE, M. A.; HASAN, O. Microbial degradation of a recalcitrant plant growth retardant paclobutrazol (PP333). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 9, p. 1265-1267, 1996.

KHALIL, I. A.; HIDAYAT-UR-RAHMANB. Effect of paclobutrazol on growth, chloroplast pigments and sterol biosynthesis of maize (*Zea mays* L.). **Plant Science**, v. 105, n. 1, p. 15-21, 1995.

KISHOREKUMAR, A.; JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; SRIDHARAN, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on the foliage characteristics of chinese potato (*Solenostemon rotundifolius* Poir.; J.K. Morton). **Acta Biologica Szegediensis**, v. 50, n. 3-4, 2006, p. 127-129.

- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York, 1995. 495 p.
- LACERDA, R. D.; GUERRA, H. O. C.; BARROS JÚNIOR, G. Influência do déficit hídrico e da matéria orgânica do solo no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS 188 – Paraguaçu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p.440-448, 2009.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Editora Rima, São Carlos, 2006, 531 p.
- LEMCOFF, J. H.; GUARNASCHELLI, A. B.; GARAU, A. M.; BASCIALLI, M. E.; GUERSA, C. M. Osmotic adjustment and its use as a selection in *Eucalyptus* seedlings. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, n. 12, p. 2404-2408, 1994.
- LI, C.; BERNINGER, F.; KOSKELA, J.; SONNINEN, E. Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 27, n. 3, p. 231-238, 2000.
- LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. Editora da Universidade de São Paulo, 1996, 303 p.
- LIMA, W. P. Impactos da cultura do eucalipto. **Revista Silvicultura**, n. 64, p. 8-32, 1995.
- LOPES, J. L. W.; SAAD, J. C. C.; GUERRINI, I. A.; LOPES, C. F. Influência dos fatores bióticos e abióticos na sobrevivência de eucalipto em função do solo e do manejo hídrico de viveiro. **Biotemas**, v. 22, n. 2, p. 29-38, 2009.
- LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação**. Botucatu-SP: UNESP, 2004, 100 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- MAGANHOTTO, C. M. S. S.; FAY, E. F.; VIEIRA, R. F. Degradação do paclobutrazol em solos tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1223-1227, 2003.
- MARSHALL, J. G.; DUMBROFF, E. B. Turgor Regulation via Cell Wall Adjustment in White Spruce. **Plant Physiology**, v. 119, p. 313-319, 1999.
- MARTINS, M. O.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; NETO, A. D. A.; SANTOS, M. G. Crescimento de plantas jovens de nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss. – Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 771-779, 2010.
- MERCHANT, A.; CALLISTER, A.; ARNDT, S.; TAUSZ, M.; ADAMS, M. Contrasting physiological response of six *Eucalyptus* species to water deficit. **Annals of Botany**, v. 100, n. 7, p.1507-1515, 2007.
- MONCUR, M. W.; HASAN, O. Floral induction in *Eucalyptus nitens*. **Tree physiology**, v. 14, n. 11, p. 1303-1312, 1994.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000, 112 p.

- MORAES, C. B. de; CARIGNATO, A.; UESUGI, G.; ABÍLIO, F. M.; PALOMINO, E. C.; MORI, E. S. Variabilidade genética e alterações morfológicas em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* sob o efeito de paclobutrazol. **Revista Científica**, v. 42, n. 4, p. 396-403, 2014.
- MORAES, C. B.; UESUGI, G.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; GUERRINI, I. A.; MORI, E. S. Influência do uso de biorreguladores no crescimento de *Hymenaea courbaril*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 25, n. 2, p. 223- 229, 2013.
- MORAES, C. B.; ZIMBACK, L.; UESUGI, G.; GUERRINI, I. A.; MORI, E. S. Alterações morfológicas em *Eucalyptus* sob a aplicação de biorreguladores. **Revista do Instituto Florestal**, v. 24, n. 2, p. 251-257, 2012.
- MOURA, A. R. de; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A. da; LIMA, T. V. de. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.
- NEGISHI, N.; OOISHI, M.; KAWAOKA, M. O. Chemical screening for promotion of adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*. **BMC. Proceedings...**, 5, Suppl.7, p. 139, 2011.
- NIVEDITHADEVI, D.; SOMASUNDARAM, R.; PANNERSELVAM, R. Effect of abscisic acid, Paclobutrazol and Salicylic acid on the growth and Pigment variation in *Solanum Trilobatum* (l). **International Journal of Drug Development & Research**, v. 4, n. 3, p. 236-246, 2012.
- NUNES, C. M. J. **Caracterização da resposta ao déficit hídrico de linhas transgênicas de Medicago trunculata cv. Jemalong**. Lisboa-Portugal, 2007, 64 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Biotecnologia) – Universidade de Lisboa.
- OCHOA, J.; FRANCO, J. A.; BAÑÓN, S.; FERNÁNDEZ, J. A. Distribution in plant, substrate and leachate of paclobutrazol following application to containerized *Nerium oleander* L. seedlings. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 3, p. 621-628, 2009.
- OLIVEIRA, A. F. de; CRUZ, M. do C. M da; OLIVEIRA, D. L. de; MESQUITA, H. A. de. Paclobutrazol em oliveira submetida a diferentes regimes hídricos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2137-2148, 2012.
- PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. Academic Press, San Diego, 2008, 454 p.
- PARDOS, J. A.; CALAMA, R.; MONTERO, G. Growth of container-grown Cork Oak seedlings as affected by foliar and soil application of paclobutrazol. **HortScience**, v. 40, n. 6, p. 1773-1776, 2005.
- PAROUSSI, G.; VOYIATZI, D. G.; PAROUSSIS, E.; DROGOUDI, P. D. Growth, flowering and yield responses to GA3 of strawberry grown under different environmental. **Scientia Horticulturae**, v. 96, p. 103-113, 2002.
- PARVIN, S.; JAVADI, T.; GHADERI, N. Proline, protein, rwc and msi contents affected by paclobutrazol and water deficit treatments in strawberry cv. Paros. **Cercetări Agronomice în Moldova**, v. 48, n. 1, 2015.

PAULA, R. C.; PAULA, N. F.; MARINO, C. L. Breeding Perennial Species for Abiotic Stress. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Plant breeding for abiotic stress tolerance**. Berlin: Springer-Verlag, 2012, p.157-172.

PEREIRA, M. R. R.; SOUZA, G. S. F.; RODRIGUES, A. C. P. R.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; FLAR, A. E. Análise de crescimento em clones de eucalipto submetidos a estresse hídrico. **Irriga**, v. 15, n. 1, p. 98-110, 2010.

PEREIRA, M. R. R. **Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus sp. w. (hill ex. maiden)* submetidos a diferentes níveis de água no solo**. Botucatu-SP: FCA, 2006, 69 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. dos R. Histórico do cultivo de eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (Eds.). **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014, p. 1-138.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SANTOS, P. E. T. dos; AGUIAR, A. V. de; KALIL FILHO, A. N.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de; SOUSA, V. A. de. **Melhoramento genético de espécies arbóreas na Embrapa Florestas: uma visão histórica**. Colombo-PR: Embrapa Florestas (Documentos 259), 2013, 111 p.

POTTS, B. M.; MCGOWEN, M. H.; WILLIAMS, D. R.; SUITOR, S.; JONS, T. H.; GORE, P. L.; VAILLANCOURT, R. E. Advances in reproductive biology and seed production systems of *Eucalyptus*: the case of *Eucalyptus globulus*. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, n. 2, p. 145-154, 2009.

QIANSHENG, L.; DENG, M.; CHEN, J.; HENNY, R. J. Effects of light intensity and paclobutrazol on growth and interior performance of *Pachira aquatica* Aubl. **HortScience**, v. 44, n. 5, p.1291-1295, 2009.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, p. 501-531, 2000.

RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. de F.; PASTRO, M. S.; SOUZA, M. T. de; GARCIA R. A.; CARVALHO, A. M. de. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, 2011.

REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, D.; ANDREOTTI, M. Metodologia e técnicas experimentais diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. **Fisiologia da brotação do eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas**. Série Técnica IPEF, v. 11, n. 30, p. 9-22, 1997.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MAESTRI, M. Crescimento e relações hídricas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *E. camaldulensis* em tubetes sob três regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v. 12, n. 2, p. 183-195, 1988.

RESENDE, J. L. P.; LIMA Junior, V. B.; SILVA, M. L. **O setor florestal brasileiro**. Informe Agropecuário, v. 18, n. 185, p. 7-14, 1996.

RIBEIRO, D. M.; MULLER, C.; BEDIN, J.; ROCHA, G. B.; BARROS, R. S. Effects of autoclaving on the physiological action of paclobutrazol. **Agricultural Sciences**, v. 2, n. 3, p.191-197, 2011.

RIETVELD, W. Effect of paclobutrazol on conifer seedling morphology and field performance. In: LANDIS, T. D. (Eds.). **Proceedings combined meeting of the Western Forest Nursery Associations**. Fort Collins: USDA, 1988, p. 19-23.

ROSELI, A. N. M.; YING, T. F.; RAMLAN M. F. Morphological and Physiological Response of *Syzygium myrtifolium* (Roxb.) Walp. to Paclobutrazol (Responso Morfologi dan Fisiologi *Syzygium myrtifolium* (Roxb.) Walp. Terhadap Paklobutrazol). **Sains Malaysiana**, v. 41, n. 10, p. 1187-1192, 2012.

ROSS, S. D.; PHARIS, R. P.; BINDER, W. D. Growth regulators and conifers: their physiology and potential uses in forestry. In: NICKELL, L. G. (Eds.). **Plant growth regulating chemicals**. Florida: CRC, 1983, p. 35-78.

ROZANE, E. D.; SOUZA, H. A. de; PRADO, R. de M.; NATALE, W.; FRANCO, C. F.; LEAL, R. M. Influência do cultivar, do tipo de folha e do tempo de cultivo na medida indireta da clorofila (SPAD) em mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 6, p. 1538-1543, 2009.

SANTAROSA, E.; PINTO JÚNIOR, J. E.; GOULART, I. C. G. dos R.; PENTEADO JÚNIOR, J. F. Importância socioeconômica e principais usos do eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (Eds.). **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014, p. 1-138.

SANT'ANNA, H. L. S. **Aspectos fisiológicos de variedades de citros submetidas à deficiência hídrica progressiva**. Cruz das Almas-BA: UFRB, 2009, 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Critérios para escolha de eucaliptos para plantio. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (Eds.). **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014, p. 1-138.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao Estado do Rio Grande do Sul. **Árvore**, v. 37, n. 4, p. 759-769, 2013.

SANTOS, G. A.; CABEL, S. R.; ASSIS, T. F.; FIER, I. S. N.; MENDES, C. J.; PUCCI, J. A. L. Potencial da silvicultura clonal de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Coord.). **Silvicultura e**

**melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUPEF, 2012. p. 77-103.

SANTOS, G. A.; XAVIER, A.; LEITE, H. G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Árvore**, v. 30, n. 5, p. 737-747, 2006.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 115, 2000.

SASSE, J. R.; SANDS, R.; WHITEHEAD, D.; KELLIHER, F. M. Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**, v. 16, p. 287-294, 1996.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, v. 51, p. 119-125, 1965.

SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Anuário estatístico da Bahia 2014. Salvador: 2014, v. 28. Disponível em: [http://www.sei.ba.gov.br/images/publicacoes/download/anuario\\_estatistico/anuario\\_estatistico\\_2014.pdf](http://www.sei.ba.gov.br/images/publicacoes/download/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2014.pdf). Acesso em: 26 jun. 2016.

SILVA, J. A. A. da. Potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no pólo gesseiro do Araripe-Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 5 e 6, p. 301-319, 2008-2009.

SILVA, K. S.; FARIA JÚNIOR, M. J. A. Uso de paclobutrazol como estratégia para redução do porte e da brotação lateral de plantas de tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 539-546, 2011.

SILVA, M. R. da; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfofisiológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden). **Irriga**, v. 9, n. 1, p. 31-40, 2004.

SILVA, M. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. Botucatu-SP: UNESP, 2003, 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas.

SILVA, P. H. M.; MORAES, C. B.; MORI, E. S. **Polinização controlada em eucaliptos nas empresas florestais brasileiras**. Piracicaba-SP: IPEF (Circular Técnica, 204), 2012, 12 p.

SOUZA, N. D. de; ABREU, H. dos S.; ELIAS, T. de F.; LATORRACA, J. V. de F.; MAEDA, J. M. Dados de carbono molecular do extrato ciclo-hexano da madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blacke por RMN de <sup>13</sup>C. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 186-197, 2011.

- SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGOA, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, n. 51, p. 45-56, 2004.
- SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.
- SRIDHARAN, R.; RAJA, S. The effects of triazole Compounds on leaf Morphological and Anatomical Characteristics of Radish (*Raphanus sativus* L.). **International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy**, v. 44, p. 90-94, 2015.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. M. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, 2010.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 17-31, 2004.
- STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 105-111, 2002.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. São Paulo, Artmed, 2013. 954 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 848 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.
- TARDIEU, F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. **Comptes Rendus Geoscience**. Paris, v. 337, n. 1-2, p. 57-67, 2005.
- TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. dos; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.
- TATAGIBA, S. D. **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. Alegre-ES: UFES, 2006, 128 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo.
- TSEGAW, T.; HAMMES, S.; ROBBERTSE, J. Paclobutrazol-induced leaf, stem, and root anatomical modifications in potato. **HortScience**, v. 40, n. 5, p. 1343-1346, 2005.
- VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F. de; ALVES, P. L. da C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; e PAULA, R. C. de. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 651-663, 2008.

- VILLAGRA, P. E.; CAVAGNARO, J. B. Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alata*. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 390-400, 2006.
- YADAV, R. K.; RAI, N.; YADAV, D. S.; ASATI, B. S. Use of paclobutrazol in horticultural crops - a review. **Agricultural Reviews**. v. 26, n. 2, p. 124-132, 2005.
- WATSON, G. W. Tree root system enhancement with paclobutrazol. **Journal of arboriculture**, v. 22, p. 211-217, 1996.
- WHITE, D. A.; TURNER, N. C.; GALBRAITH, J. H. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. **Tree Physiology**, v. 20, p. 1157-1165, 2000.
- WILLIAMS, D. R.; POTTS, B. M.; SMETHURST, P. J. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 33, p. 74-81, 2003.
- WILLIAMS, D. R.; ROSS, J. J.; REID, J. B.; POTTS, B. M. Response of *Eucalyptus nitens* seedlings to gibberellin biosynthesis inhibitors. **Plant Growth Regulation**, v. 27, n. 2, p. 125-129, 1999.
- ZHU, Li-H.; PEPPEL, A. V.; Li, Xue-Y.; WELANDER M. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 99, p. 133-141, 2004.