

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO ETIL-TRINEXAPAC NO CRESCIMENTO INICIAL
DO EUCALIPTO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICO**

**Allan Lopes Bacha
Biólogo**

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO ETIL-TRINEXAPAC NO CRESCIMENTO INICIAL DO
EUCALIPTO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICO**

Allan Lopes Bacha

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)**

2017

B118e Bacha, Allan Lopes
Efeito do etil-trinexapac no crescimento inicial do eucalipto em condições de estresse abiótico / Allan Lopes Bacha. -- Jaboticabal, 2017
x, 58 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Rinaldo Cesar de Paula
Coorientador: Pedro Luís da Costa Aguiar Alves
Banca examinadora: Mariluce Pascoina Nepomuceno, Tiago Pereira Salgado
Bibliografia

1. *Eucalyptus urophylla*. 2. Hormese. 3. Deficiência nutricional. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 582.776.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Allan Lopes Bacha – Nasceu em 21 de novembro de 1987, na cidade de Ribeirão Preto-SP, filho de Antonio Jorge Bacha e Rose Mary de Oliveira Lopes Bacha. Em fevereiro de 2009 ingressou no curso de graduação em Ciências Biológicas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, câmpus de Jaboticabal, tendo concluído o curso de Licenciatura em fevereiro de 2013, e Bacharelado em agosto de 2015. De 2010 à 2015 atuou como professor bolsista no projeto Cursinho Ativo da mesma Universidade. Em 2013 iniciou estágio no Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA), onde realizou diversos trabalhos na área de matologia e também seu Trabalho de Conclusão de Curso. Em agosto de 2015 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia, pelo Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, junto ao Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária da FCAV/UNESP - Jaboticabal, tendo concluído o curso em julho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Antonio Jorge Bacha e Rose Mary de Oliveira Lopes Bacha, pelo amor, educação, dedicação, apoio e conselhos que sempre me deram. Ao meu irmão, Renan Lopes Bacha, pela amizade, ajuda, carinho e sei que sempre poderei contar com ele; e a toda minha família, pois eles fazem parte do que sou.

Ao Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula, pela amizade, conselhos, ensinamentos, orientação e toda sua dedicação. Espero ter o prazer de trabalhar novamente com o senhor em oportunidades futuras.

Ao Prof. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, por ter me acolhido em seu laboratório no início de minha caminhada acadêmica e por ter me proporcionado diversas oportunidades para meu desenvolvimento pessoal e profissional; por ter depositado sua confiança em mim, pela paciência, amizade, carinho, atenção, orientação e conselhos que sempre me deu.

Também agradeço ao Pedro de Figueiredo Barbosa Martins (Mister Foca), pela amizade, paciência e por toda a ajuda (tanto prática quanto intelectual), a qual foi essencial à realização deste trabalho.

Aos amigos do LAPDA, pela amizade, suporte, ensinamentos e por tornar o ambiente de trabalho mais agradável.

Aos integrantes da banca de qualificação, Prof^a. Dr^a. Priscila Lupino Gratão, Prof. Dr. Sérgio Valiengo Valeri e Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho, pelas várias sugestões apontadas no trabalho.

Aos integrantes da banca de defesa, Dra. Mariluce Pascoina Nepomuceno e Dr. Tiago Pereira Salgado, por inúmeras sugestões e apontamentos que foram e serão válidos para esse e outros trabalhos futuros.

Aos funcionários do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, pelo auxílio sempre que necessário.

À Jéssica Cristina Ruiz, minha Alma Gêmea e Companheira para a Vida, pelo amor, por ser uma pessoa carinhosa, linda, inteligente, meiga, divertida. Você é demais! Te Amo eternamente! Muito obrigado pela grande ajuda e por sempre estar ao meu lado!

A todos vocês, meu MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. OBJETIVO.....	4
1.3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
1.3.1. A cultura do eucalipto no Brasil.....	4
1.3.2. Estresses abióticos no eucalipto.....	6
1.3.3. Efeito hormético no eucalipto	8
1.3.4. Composto etil-trinexapac	10
1.4. REFERÊNCIAS.....	12
CAPÍTULO 2 – Efeito de etil-trinexapac, em duas épocas de aplicação, no desenvolvimento inicial do eucalipto sob deficiência hídrica	18
2.1. RESUMO.....	18
2.2. INTRODUÇÃO	18
2.3. MATERIAL E MÉTODOS	20
2.4. RESULTADOS	22
2.4.1. Experimento Nº 1 – Aplicação Antes do Plantio (AP)	22
2.4.2. Experimento Nº 2 – Aplicação Depois do Plantio (DP).....	25
2.4.3. Comparação entre Épocas AP e DP.....	28
2.5. DISCUSSÃO.....	30
2.6. CONCLUSÃO.....	34
2.7. REFERÊNCIAS.....	34
CAPÍTULO 3 – Etil-trinexapac ocasiona efeito estimulatório no crescimento inicial do eucalipto sob deficiência nutricional.....	37
3.1. RESUMO.....	37
3.2. INTRODUÇÃO	37
3.3. MATERIAL E MÉTODOS	38

3.4. RESULTADOS	40
3.4.1. 1º Experimento: Aplicação Antes do Plantio – AP	41
3.4.2. 2º Experimento: Aplicação Depois do Plantio – DP	45
3.5. DISCUSSÃO	50
3.6. CONCLUSÃO	55
3.7. REFERÊNCIAS	56

EFEITO DO ETIL-TRINEXAPAC NO CRESCIMENTO INICIAL DO EUCALIPTO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICO

RESUMO – Plantas de eucalipto são sensíveis a estresses abióticos em seu desenvolvimento inicial, sendo as deficiências hídrica e nutricional dois dos mais recorrentes dentre eles. O maturador etil-trinexapac pode afetar positivamente o eucalipto, resposta caracterizada como hormese, conferindo às plantas maior tolerância aos estresses. Diante disto, objetivou-se avaliar o efeito do etil-trinexapac no crescimento inicial do eucalipto em condições de estresse hídrico e nutricional. Quatro experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, em vasos de 15 L, sendo dois sob deficiência hídrica e dois sob deficiência nutricional (NPK). Nas duas condições, foram utilizadas duas épocas de aplicação de etil-trinexapac (antes do plantio - AP; e depois do plantio - DP) em mudas de *Eucalyptus urophylla* (clone I-144). Avaliou-se: trocas gasosas, teor de clorofila total, altura, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca e relação raiz/parte aérea. Para a deficiência hídrica, conduziu-se dois experimentos simultaneamente, durante 74 dias após o plantio (DAP) do eucalipto. Os tratamentos consistiram da combinação de três doses de etil-trinexapac (0,0; 30 e 60 g i.a. ha⁻¹) e duas condições hídricas (sem estresse e com deficiência hídrica – conduzido a 20% da capacidade de campo). Adotou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2, com cinco repetições. Na época de aplicação AP, a pulverização de etil-trinexapac ocorreu aos 0 DAP e na época de aplicação DP, aos 24 DAP. Houve efeito positivo para a taxa de assimilação líquida de CO₂ aos 27 e 40 DAP, para o DP e AP, respectivamente. As plantas de eucalipto na ausência de deficiência hídrica apresentaram maior crescimento, independentemente da época de aplicação. Conclui-se que o etil-trinexapac não ocasionou efeito hormético no eucalipto, independentemente da condição hídrica, e as épocas de aplicação influenciaram de formas distintas as características avaliadas, não havendo efeito prejudicial em nenhuma delas. Para a deficiência nutricional, conduziu-se dois experimentos simultaneamente, durante 81 DAP. Os tratamentos consistiram da combinação de três doses de etil-trinexapac (0,0; 30 e 60 g i.a. ha⁻¹) e quatro variações da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (solução completa, -N, -P e -K). Utilizou-se delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x4, com cinco repetições. Na época de aplicação AP a pulverização do maturador ocorreu aos 0 DAP, enquanto no DP, aos 33 DAP. As plantas em solução -K não diferiram das cultivadas em solução completa. O tratamento -N proporcionou maior relação raiz/parte aérea, mas resultou em menor crescimento, seguido pelo -P. Quando em -P, o etil-trinexapac teve efeito positivo para a matéria seca total (AP) e área foliar (DP). O maturador afetou positivamente algumas características fotossintéticas do eucalipto.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*, deficiência hídrica, deficiência nutricional, hormese, regulador de crescimento vegetal

EFFECT OF TRINEXAPAC-ETHYL IN THE INITIAL GROWTH OF EUCALYPTUS IN ABIOTIC STRESS CONDITIONS

ABSTRACT – Eucalyptus plants are sensitive to abiotic stresses in their initial development, and water and nutritional deficiencies are two of the most recurrent among them. Trinexapac-ethyl can positively affect eucalyptus, a response known as hormesis, possibly providing plants greater tolerance to stress. The objective of this study was to evaluate the effect of trinexapac-ethyl on the initial growth of eucalyptus under conditions of water and nutritional stress. Four experiments were conducted in greenhouse, in 15 L pots. Two in the water deficiency condition and two in nutritional deficiency (NPK). In both deficiency conditions, two trinexapac-ethyl application times (before planting - BP and after planting - AP) in *Eucalyptus urophylla* (clone I-144) were used. The following variables were evaluated: gas exchange, total chlorophyll content, height, stem diameter, leaf area, dry matter and root/shoot ratio. For water deficiency, two experiments were conducted simultaneously, during 74 days after planting (DAP) of eucalyptus. The treatments consisted of three doses of trinexapac-ethyl (0.0, 30 and 60 g i.a. ha⁻¹) and two water conditions (no stress and water deficiency - conducted at 20% field capacity). A randomized complete block design was used in a 3x2 factorial scheme with five replications. In the BP application time, trinexapac-ethyl was sprayed at 0 DAP and in AP mode at 24 DAP. We found a positive effect for net assimilation rate at 27 and 40 DAP, for AP and BP, respectively. Eucalyptus plants in the absence of water deficiency showed higher growth, regardless application time. We concluded that trinexapac-ethyl did not cause hormesis on eucalyptus, regardless water status, and the application time influenced the characteristics evaluated in different ways, with no harmful effect in any of them. For nutritional deficiency, two experiments were conducted simultaneously, for 81 DAP. The treatments consisted of three doses of trinexapac-ethyl (0.0, 30 and 60 g i.a. ha⁻¹) and four variations of the nutrient solution of Hoagland and Arnon: complete solution, -N, -P and -K. A randomized complete block design was used in a 3x4 factorial scheme with five replications. In the BP application time, trinexapac-ethyl was sprayed at 0 DAP, while in AP, at 33 DAP. Plants in -K solution did not differ from those grown in complete solution. The treatment -N provided a higher root/shoot ratio, but resulted in lower growth, followed by -P. In -P solution, trinexapac-ethyl had a positive effect on total dry matter (BP) and leaf area (AP). Trinexapac-ethyl positively affected some photosynthetic characteristics of eucalyptus.

Keywords: *Eucalyptus urophylla*, water stress, nutritional stress, hormesis, plant growth regulator

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é a cultura mais importante do setor florestal brasileiro, e movimentou, em 2015, quase 70 bilhões de reais, representando 1,2% do PIB do país (IBÁ, 2016). Com uma geração de cerca de 3,8 milhões de empregos, o setor florestal tem se destacado no agronegócio brasileiro, e hoje o Brasil é o país com a maior produtividade de eucalipto do mundo (IBÁ, 2016). Com uma área plantada de 5,6 milhões de hectares (de um total de 7,8 milhões), a cultura do eucalipto atingiu uma produtividade média ponderada de $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, tendo seu uso voltado para vários tipos de produtos, como papel e celulose, carvão vegetal, óleos essenciais, postes, construção civil, sendo também utilizado nas indústrias química e farmacêutica (IBÁ, 2016).

Dentre os fatores ambientais, a deficiência de água figura-se como o maior fator limitante para a manutenção das florestas de eucalipto, pois afeta diretamente o metabolismo da planta, causando grandes perdas de produtividade (FLEXAS et al., 2002). Isso ocorre em resposta à diversas modificações fisiológicas, bioquímicas e moleculares observadas no eucalipto (LAWLOR, 2009; PINHEIRO; CHAVES, 2011). Assim que a deficiência hídrica é detectada, inicia-se a produção do hormônio ácido abscísico, que é transportado para as folhas, mediando processos que promovem o fechamento dos estômatos. Como consequência da diminuição das trocas gasosas há, também, a redução da concentração de CO_2 no mesófilo foliar, o que acaba limitando o processo de fixação de carbono, ocasionando redução de produtividade (BEDON et al., 2011; PINHEIRO; CHAVES, 2011; CORREIA et al., 2014).

Em relação à fotossíntese, deve-se ressaltar que as moléculas de água são essenciais a esse processo, pois agem como doador de elétrons e apresentam influência direta na produção de ATP, uma vez que os prótons H^+ liberados no interior do tilacoide são utilizados pela bomba ATP-sintase. Além disso, como elucidam Lawlor (2002) e Parry et al. (2002), a água também afeta diretamente a

atividade da Rubisco e a regeneração da RuBP no processo químico da fotossíntese.

Quanto aos nutrientes, o potássio está relacionado ao processo de ativação de enzimas, com influência direta no processo de abertura e fechamento estomático e consequente regulação osmótica nas células, o qual é essencial à sobrevivência do eucalipto, principalmente em condições de deficiência hídrica (TEIXEIRA et al., 2006; MENDES et al., 2013).

Em razão dos baixos teores de fósforo nos solos brasileiros, este é um dos nutrientes que mais limitam a produção florestal (BARROS; NOVAIS, 1996). Warren (2011) observou que a deficiência de fósforo causou modificações em fatores bioquímicos no processo fotossintético de *E. globulus*, como regeneração da RuBP e a utilização de trifosfato. Além desses fatores, este nutriente também influencia na composição do DNA, RNA e fosfolipídeos das membranas.

O nitrogênio é um elemento que as plantas requerem em maiores quantidades, por ser constituinte de componentes estruturais e fotossintéticos da planta, como ácidos nucleicos, clorofila e aminoácidos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além disso, a deficiência deste nutriente apresenta grande influência na capacidade fotossintética do eucalipto, estando relacionado com a redução na quantidade de tecido paliçádico da folha (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997), ação da Rubisco (CORREIA et al., 2005) e também na taxa de assimilação líquida de CO₂ e transpiração (NGUYEN et al., 2003). Assim, sua deficiência pode inibir rapidamente o crescimento de diversas espécies de eucalipto, como *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* (NGUYEN et al., 2003), *E. grandis* (BRENDOLAN et al., 2000) e *E. urophylla* (FERREIRA et al., 2015).

Em decorrência da proximidade de eucaliptais e áreas de cana-de-açúcar, a possibilidade de ocorrência de deriva de produtos aplicados nesta cultura monocotiledônea (como o etil-trinexapac) é iminente. A deriva é caracterizada como o deslocamento do produto para fora do alvo desejado, e pode ocorrer pela ação do vento, escorrimento ou mesmo volatilização do diluente e do produto (ANDEF, 2010). Assim, parte dos maturadores aplicados na cultura da cana-de-açúcar podem atingir plantas não-alvo em áreas vizinhas, por meio de deriva, em situações nas quais os produtos não foram aplicados adequadamente. Nesse sentido, Pires et al.

(2013) estudaram simulação de deriva de etil-trinexapac no eucalipto, e concluíram que baixas doses deste composto apresentaram efeito positivo no crescimento inicial de *E. urograndis*.

Devido à expansão da cultura do eucalipto para os mais diversos agroecossistemas do Brasil (ABRAF, 2013), nos quais a baixa fertilidade é uma característica natural dos solos, e para que seja mantida alta produtividade com boas características da matéria prima, são necessários estudos que procurem elucidar meios de proporcionar às plantas de eucalipto maneiras de superarem situações estressantes, principalmente durante o primeiro ano após o plantio das mudas no campo. A fase inicial do desenvolvimento do eucalipto é uma das mais críticas do ciclo da cultura, uma vez que esse é o período no qual as plantas se encontram mais suscetíveis às interferências causadas por fatores abióticos, como a deficiência de água e nutrientes no solo (NAMBIAR; SANDS, 1993; GARAU et al., 2008). Assim, a aplicação do maturador etil-trinexapac pode ser uma alternativa viável para proporcionar melhores condições às mudas de eucalipto frente a períodos de estresses, pois trabalhos anteriores mostraram que a pulverização deste produto favoreceu algumas características do eucalipto (PIRES et al., 2013; CORREIA; VILLELA, 2015).

A resposta positiva decorrente da aplicação de subdoses de um produto químico que seria originalmente tóxico é denominado “hormese” (BELZ; DUKE, 2014). O conhecimento sobre essa nova forma de utilização de produtos originalmente empregados para outros fins torna-se um tópico importante a ser explorado, visto que o uso de maturadores e herbicidas em subdoses pode proporcionar aumentos significativos de alguns parâmetros importantes na produção do eucalipto e que podem acarretar em aumento de produtividade.

O etil-trinexapac é um regulador vegetal, frequentemente utilizado em culturas monocotiledôneas cuja aplicação visa reduzir o acamamento dessas plantas, uma vez que o produto ocasiona redução no alongamento dos entrenós (NASCIMENTO et al., 2009). Em nível celular, o etil-trinexapac atua bloqueando a biossíntese do ácido giberélico (HECKMAN et al., 2002). Como consequência, há uma redução no nível de giberelinas ativas, principalmente GA₁, por conta da inibição da enzima 3β-hidroxilase (NAKAYAMA et al., 1990), o que resulta em um aumento acentuado na

quantidade de seu precursor biossintético imediato, o GA₂₀ (ADAMS et al., 1992; DAVIES, 1995). Adams et al. (1992) relatam que esta resposta está relacionada à competição entre o maturador e o 2-oxogluterato pelo cossustrato Fe⁺²/ascorbato-dependente dioxigenase.

No entanto, os processos fisiológicos que provocam efeito positivo em decorrência da aplicação deste maturador ainda não foram elucidados. Assim, uma vez que esta molécula modula a produção da giberelina, é provável que haja o envolvimento de diversas etapas de sinalização e respostas fisiológicas na planta, com isso, estudos que incentivem a compreensão deste fenômeno devem ser estimulados, sendo que o entendimento deste processo pode levar a aumentos de produtividade em um futuro próximo.

1.2. OBJETIVO

Considerando que extensas áreas de eucalipto são implantadas anualmente em diversos agroecossistemas, nos quais a ocorrência de deficiência hídrica e a baixa fertilidade é uma característica natural dos solos, e considerando-se que subdoses de etil-trinexapac podem conferir efeito positivo à cultura, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de subdoses de etil-trinexapac no desenvolvimento inicial do eucalipto em condições de deficiência hídrica e nutricional.

1.3. REVISÃO DE LITERATURA

1.3.1. A cultura do eucalipto no Brasil

Eucalyptus é um gênero pertencente à família Myrtaceae, e nele estão inclusas mais de 1.200 espécies (THE PLANT LIST, 2017). A maioria delas tem sua origem na Austrália, mas algumas são oriundas de outros países dessa região, como Papua-Nova Guiné, Indonésia e Filipinas (ELDRIDGE et al., 1994). Segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2016), a área plantada de eucalipto no Brasil em 2015 foi de 5,6 milhões de hectares e a produtividade atingiu, no mesmo ano, 36

$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. O setor florestal destaca-se no agronegócio brasileiro, alcançando o maior índice médio de produtividade, e gera, no país, cerca de 3,8 milhões de empregos diretos e indiretos (IBÁ, 2016). A região sudeste é responsável por 53% do total da produção de eucalipto, sendo que o Estado de São Paulo apresenta mais de 1 milhão de hectares plantados dessa cultura (ABRAF, 2013).

No Brasil, as espécies de eucalipto têm seu uso voltado para diversas finalidades, como produção de carvão vegetal, marcenaria (madeira processada e serraria), lenha, papel e celulose, postes, construção civil, óleos essenciais, sendo, também, utilizadas nas indústrias química e farmacêutica. Isso é possível devido a sua alta produtividade e adaptabilidade, bem como por suas características físico-mecânicas (GONZÁLEZ, 2002). Assim, cada vez mais o setor florestal vem ocupando lugar de destaque frente a outros seguimentos industriais.

As espécies de eucalipto mais utilizadas no Brasil são: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna* e *E. urograndis*. Dentre essas, *E. urophylla* S.T. Blake tem se destacado em plantações em regiões tropicais úmidas, devido ao ótimo vigor, grande capacidade de rebrota e a resistência ao cancro (MOURA, 2004; ROCHA et al., 2006). Visto a importância das espécies citadas, diversos clones ganharam visibilidade no setor, pois apresentam ganhos em diversas características, além da homogeneidade na qualidade da madeira e nos plantios clonais em larga escala (CORREIA et al., 1995).

Os processos de clonagem de eucalipto começaram na Austrália na década de 1970, sendo o enraizamento de estacas provenientes de mudas ou de brotações colhidas no campo as técnicas mais utilizadas (ALFENAS et al., 2004). González (2002) menciona que clones obtidos de propagação vegetativa mantêm suas características superiores intactas por manterem o material genético uniforme (reprodução assexuada). Sendo assim, é uma ótima forma de se obter ganhos de produtividade em um menor espaço de tempo, pois o critério de seleção das árvores é feito com base na avaliação de suas características silviculturais.

As florestas brasileiras de eucalipto são as mais produtivas do mundo (IBÁ, 2016). Isso se deve à evolução nas técnicas de manejo, melhoramento genético e também às condições ambientais favoráveis (STAPE et al., 2004). Por isso, segundo Tonini et al. (2004), as empresas têm investido cada vez mais em melhoramento

genético, utilizando como principais técnicas a hibridação e a clonagem, sendo esta considerada a maneira mais eficiente de garantir a qualidade do produto, por manter o material genético da planta inalterado, e conseqüentemente, garantida a boa qualidade da madeira.

Visto o avanço desse setor, e para que cada vez mais se mantenha uma alta produtividade com boas características da matéria prima, se faz necessário um adequado manejo dos fatores estressantes que podem afetar o eucalipto na fase de crescimento inicial.

1.3.2. Estresses abióticos no eucalipto

Fatores abióticos (tais como pH do solo, disponibilidade de água, nutrientes e luminosidade) e bióticos (competição, comensalismo) podem afetar diretamente o crescimento de qualquer cultura florestal e, conseqüentemente, seus subprodutos (PITELLI; MARCHI, 1991).

Dentre os fatores ambientais, a água figura-se como o maior limitante para a manutenção dos sistemas agrícolas e florestais, pois afeta diretamente o metabolismo da planta, causando grandes perdas de produtividade (FLEXAS et al., 2002). Ainda, diversos autores (SILVA et al., 2004; SUSILUOTO; BERNINGER, 2007; CORREIA et al., 2014) relatam que, para o eucalipto, os sintomas ocasionados pela deficiência de água disponível no solo são mais drásticos na fase inicial do crescimento.

Trabalhando com diversos clones de eucalipto cultivados em regime de estresse hídrico, Vellini et al. (2008) verificaram que os clones apresentaram reduções nas características avaliadas de acordo com a diminuição da frequência da irrigação (realizadas diariamente, a cada dois, quatro ou seis dias). Na mesma vertente, mas também estudando como variáveis os níveis de fósforo no solo, Gonçalves e Passos (2000), trabalhando com 5 clones distintos de eucalipto em condições de déficit hídrico relataram que todos os parâmetros de crescimento reduziram com as deficiências hídrica e nutricional do solo, sendo o *E. cloeziana* a espécie que apresentou maiores reduções em altura, diâmetro e massa seca total, enquanto *E. urophylla* apresentou os maiores valores para diâmetro do caule.

Moléculas de água agem como doador de elétrons para a fotossíntese, e por isso, também apresentam influência direta na produção de ATP, uma vez que os prótons H⁺ liberados no interior do tilacóide são utilizados pela bomba ATP-sintase, além de afetarem diretamente a atividade da Rubisco e da regeneração da RuBP (LAWLOR, 2002; PARRY et al., 2002). Como consequência da deficiência hídrica, há a redução da transpiração e condutância estomática, em decorrência do fechamento estomático. Esse processo é resultado de uma complexa rede de sinalização influenciada pelo hormônio ácido abscísico (ZHANG et al., 2006; JIANG; HARTUNG, 2008), inclusive sendo reportado em plantas de eucalipto em condições de estresse hídrico (GRANDA et al., 2011; CORREIA et al., 2014).

Nesse sentido, ressalta-se que o potássio também apresenta influência direta no processo de fechamento estomático e consequente regulação osmótica nas células, sendo essencial à sobrevivência do eucalipto em condições de deficiência hídrica (TEIXEIRA et al., 2006; MENDES et al., 2013). No entanto, como observado por Valadares et al. (2014), as respostas à deficiência hídrica também dependem do clone utilizado, podendo haver diferença nas respostas fisiológicas (como a taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática) dos diferentes materiais genéticos disponíveis.

O fósforo contém grande relevância no metabolismo das plantas, principalmente no crescimento inicial do eucalipto, como observado por Warren (2011). O autor observou que a deficiência de fósforo causou modificações em fatores bioquímicos do processo fotossintético de *E. globulus*, como atividade da RUBISCO, regeneração da RuBP e a utilização de trifosfato. Além desses fatores, este nutriente também influencia na composição do DNA, RNA e fosfolípidos das membranas, sendo que sua deficiência resultou na diminuição da quantidade da maioria dos aminoácidos de *E. globulus*, com exceção à arginina e glutamina (WARREN, 2011). Ainda, Barros e Novais (1996) elencam o fósforo como um dos nutrientes que mais limita a produção florestal, em razão de seus baixos teores nos solos brasileiros.

Já o nitrogênio é um elemento mineral que as plantas precisam em maiores quantidades, devido ao fato de ser constituinte de diversos componentes estruturais e fotossintéticos da planta, como ácidos nucleicos, clorofila e aminoácidos (TAIZ;

ZEIGER, 2013). Assim, sua deficiência pode inibir rapidamente o crescimento de diversas espécies de eucalipto, como *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* (Nguyen et al., 2003), *E. grandis* (BRENDOLAN et al., 2000) e *E. urophylla* (FERREIRA et al., 2015).

A relação raiz/parte aérea também parece ser influenciada pela ausência de nitrogênio, resultado da maior alocação de fotoassimilados para o órgão fixador da planta, como observado por Ferreira et al. (2015) em mudas de *E. urophylla* (clone I-144). Essa resposta se dá pelo fato do nitrogênio modular a produção de citocinina (SAKAKIBARA, 2006), com isso, a redução na quantidade deste hormônio faz com que as plantas desenvolvam menores partes aéreas, mas com maiores crescimento em raízes, fazendo com que haja maior relação raiz/parte aérea (WERNER et al., 2001). Além disso, a deficiência deste nutriente apresenta grande influência na capacidade fotossintética do eucalipto, podendo estar relacionado a diversos fatores deste processo, como: quantidade de clorofila, redução na quantidade de tecido paliçádico da folha (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997), ação da RUBISCO (ribulose-1,5-bisfosfato) (CORREIA et al., 2005) e também na condutância estomática, taxa de assimilação líquida de CO₂ e transpiração (NGUYEN et al., 2003).

Assim, dada a expansão da cultura do eucalipto para os mais diversos agroecossistemas, nos quais a baixa fertilidade é uma característica natural dos solos, estudos que busquem alternativas para garantirem às mudas maior capacidade para superarem tais estresses durante o período crítico de desenvolvimento devem ser estimulados.

1.3.3. Efeito hormético no eucalipto

Alguns produtos sintéticos vêm ganhando destaque no cultivo de diversas culturas, principalmente naquelas de alto valor econômico, como é o caso do eucalipto. Esses produtos, que possuem características similares a hormônios vegetais, atuam promovendo, inibindo ou alterando os processos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos nas estruturas celulares das plantas.

Introduzidos, em sua maioria, como herbicidas ou maturadores, esses produtos, aplicados em subdoses, podem auxiliar no crescimento e desenvolvimento

das plantas. Segundo Calabrese e Baldwin (2002), esse efeito é conhecido como efeito hormético (ou hormesis) e foi introduzido por Southam e Erlich (1943), o qual já tem sido reportado em diversas espécies e produtos, inclusive para o eucalipto (VELINI et al., 2008; PIRES et al.; 2013; CORREIA; VILLELA, 2015). Tais produtos vêm sendo estudados com o objetivo de se compreender o mecanismo de ação das diversas substâncias, as quais originalmente eram consideradas tóxicas em elevadas doses.

No entanto, a ocorrência, ou não, de efeito hormético resultante da aplicação de produtos químicos, depende de vários fatores (BELZ; DUKE, 2014), entre eles: clone ou cultivar escolhido (MCDONALD et al., 2001), estágio de desenvolvimento da planta (CARVALHO et al., 2013), condições ambientais no momento e após a aplicação do produto (BELZ; CEDERGREEN, 2010), e o ponto final de avaliação (CEDERGREEN et al., 2009), que corresponde ao período após a exposição ao produto que será feita a avaliação.

O produto mais estudado com a intenção de se promover o efeito hormético nas plantas é o glyphosate, o qual, se aplicado em baixas dosagens, estimula o crescimento de algumas plantas, como citam Duke et al. (2006), Cedergreen et al. (2007) e Velini et al. (2010).

Estudando o efeito de subdoses de glyphosate (entre 1,8 e 720 g e.a. ha⁻¹) aplicadas em cinco espécies de plantas [eucalipto (*E. grandis*), pinus (*Pinus caribea*, trapoeraba (*Commelina benghalensis*), milho (*Zea mays*) e soja RR (*Glycine max*)], Velini et al. (2008) relataram que todas as espécies, com exceção da soja RR, apresentaram estímulo positivo do crescimento. As melhores respostas foram verificadas nas plantas de pinus e trapoeraba, tratadas com subdoses a partir de 36 g e.a. ha⁻¹, sendo detectado aumento da biomassa da parte aérea em cerca de 27% para dose de 14,2 g e.a. ha⁻¹. Já Correia e Villela (2015), aos 45 dias após a aplicação de 200 g i.a. ha⁻¹ de etil-trinexapac, relataram aumento de 29,2% no diâmetro da copa de *E. urograndis* (clone GG100). Godoy (2007), trabalhando com dez doses de glyphosate aplicados em soja convencional, relata que obteve um aumento de 2,67 vezes (utilizando concentração de 18 g e.a. ha⁻¹) na absorção de fósforo pelas folhas. Além disso, encontrou um acúmulo de matéria seca 48% maior em comparação a testemunha (planta sem aplicação da substância).

Ao aplicar glifosato em cevada em estágio de duas folhas, Cedergreen (2008) não verificou ganho de produtividade. No entanto, Cedergreen et al. (2009) observaram ganhos de 12 a 15% em produtividade ao realizarem a aplicação em estágio de enchimento de grãos. Isso indica que a ocorrência do efeito hormético depende da aplicação do produto no estágio de desenvolvimento correto da planta associado à dose utilizada. Por exemplo, a aplicação de glifosato em *Commelina benghalensis* com duas folhas expandidas resultou em crescimento 98% maior que a testemunha, consequência da utilização de uma dose cinco vezes menor que a empregada na pulverização de plantas com quatro folhas expandidas (VELINI et al., 2008).

Com a aplicação de baixas doses de glyphosate (entre 3,6 e 7,2 g e.a ha⁻¹), Carbonari et al. (2007) observaram que houve uma resposta positiva no crescimento do eucalipto, aumentando a biomassa e área foliar das plantas. Ainda, Cedergreen (2008) relatou que esse composto pode induzir o aumento da biomassa da cevada em 25% quando utilizado doses entre 5 e 10% da recomendada comercialmente. Pires et al. (2013) verificaram efeito positivo no crescimento inicial de *E. urograndis* ao utilizarem baixas concentrações de etil-trinexapac. Os autores encontraram, em avaliação realizada aos 42 dias após o plantio, ganhos de 19% em área foliar, 8% em matéria seca total e 13% na matéria seca das folhas.

No que se refere ao efeito hormético em plantas de eucalipto, existem poucos trabalhos que visam identificar compostos e dosagens para esse fim, bem como quais características seriam beneficiadas com tal aplicação.

O conhecimento sobre essa nova forma de utilização dos produtos que originalmente eram empregados no controle de plantas daninhas, bem como usados para inibir/reduzir o crescimento vegetativo de algumas culturas, torna-se um tópico importante a ser explorado, visto que o uso de maturadores e herbicidas em subdoses apresentam resultados significativos no aumento de alguns parâmetros importantes na produção do eucalipto e que podem acarretar em um aumento de produtividade.

1.3.4. Composto etil-trinexapac

O etil-trinexapac, conhecido comercialmente como Moddus[®], é um regulador de crescimento, seletivo, e moderadamente tóxico, já que apresenta classe toxicológica III. Composto por 25% do princípio ativo (etil-trinexapac) e 75% de ingredientes inertes e adjuvantes, esse produto se apresenta na formulação concentrada e emulsionável. É recomendado para a aplicação na cultura da cana-de-açúcar, com o objetivo de acelerar os processos de maturação da planta (NASCIMENTO et al., 2009; MODDUS, 2017).

Esse composto mimetiza a estrutura química do ácido 2-oxogluterato (Figura 1.1) e é uma acilciclohexanediona que interfere nas fases finais da biossíntese da giberelina (RADEMACHER, 2000).

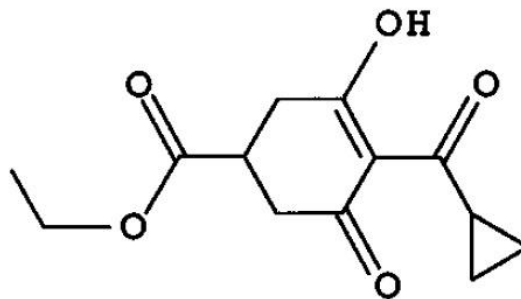


Figura 1.1. Estrutura química da molécula etil-trinexapac.

É também utilizado como redutor de crescimento em cereais de inverno, promovendo acentuada redução no comprimento do caule (FAGERNESS; PENNER, 1998), evitando, assim, o acamamento recorrente nessas culturas. Além disso, como colocam Naqvi (1994) e Nascimento et al. (2009), atua inibindo a alongação dos entrenós, reduzindo perdas na produtividade associadas a esse fenômeno.

Em nível celular, o etil-trinexapac atua reduzindo a alongação da célula de algumas espécies monocotiledôneas, e também bloqueando a biossíntese do ácido giberélico (HECKMAN et al., 2002). Em consequência disso, há uma drástica redução no nível de ácido giberélico ativo (GA₁) por conta da inibição da enzima 3β-hidroxilase (NAKAYAMA et al., 1990) e assim aumentando acentuadamente seu precursor biossintético imediato, o GA₂₀ (Figura 1.2) (ADAMS et al., 1992; DAVIES, 1995). Weiler e Adams (1991) relatam que a queda no nível das giberelinas ativas (GA₁) é a provável causa da redução do crescimento das plantas. Adams et al. (1992) ainda sugeriram que esta resposta está relacionada à competição entre o

maturador e o 2-oxogluterato pelo cossustrato Fe^{+2} /ascorbato-dependente dioxigenase.

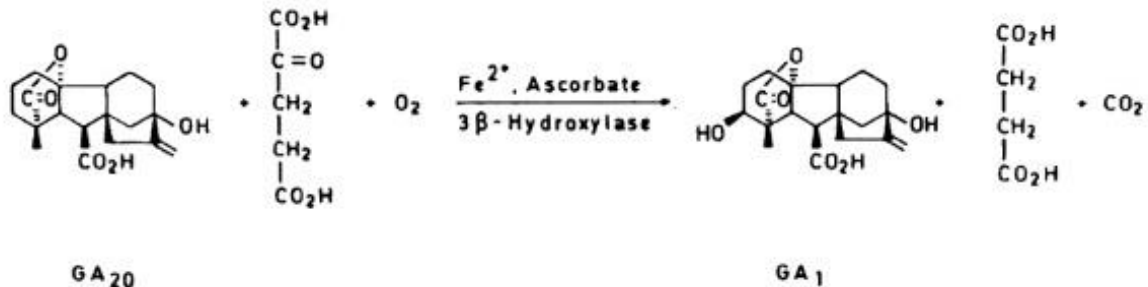


Figura 1.2. Conversão de GA_{20} em GA_1 por meio da enzima 3 β -hidroxilase (ADAMS et al., 1992).

Trabalhando com macieiras, Maxson e Jones (2002) evidenciaram que o composto etil-trinexapac atua no final do processo de síntese do ácido giberélico, uma vez que houve redução do crescimento vegetativo de ramos depois de 10-14 dias da aplicação, sendo a inibição mantida por mais 30 dias.

Os processos fisiológicos que provocam efeito positivo em decorrência da aplicação deste maturador ainda não foram elucidados. No entanto, uma vez que esta molécula modula a produção da giberelina, é provável que haja o envolvimento de diversas etapas de sinalização e respostas fisiológicas na planta, assim, estudos que incentivem a compreensão deste fenômeno devem ser estimulados, sendo que o entendimento deste processo pode levar a aumentos de produtividade em um futuro próximo.

1.4. REFERÊNCIAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTAS. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**. 2013. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

ADAMS R. et al. **Studies on the action of the new growth retardant CGA 163'935 (cimectacarb)**. In: Karsen C.M., van Loon L.C., Vreugdenhil D., editors. Progress in plant growth regulation. Dordrecht: Kluwer Academic, 1992, p. 818-827.

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 442p.

ANDEF. Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Disponível em: <<http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil**. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.). *Nutrition of Eucalyptus*. Collingwood: CSIRO, p.335-355, 1996.

BEDON F. et al. Interaction between environmental factors affects the accumulation of root proteins in hydroponically grown *Eucalyptus globulus* (Labill.). **Plant Physiol Biochem**. 2011;49:69-76.

BELZ, R.G.; CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environ Exp Bot**. 2010;69:293–301.

BELZ, R.G.; DUKE, S.O. Herbicides and plant hormesis. **Pest Manag Sci**. 2014;70:698-707.

BRENDOLAN R.A. et al. Efeitos da nutrição mineral na competição inter e intraespecífica de *Eucalyptus grandis* e *Brachiaria decumbens*: 1 - crescimento. **Sci For**. 2000;58:49-57.

CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Defining hormesis. **Human Experimental Toxicology** v.21, 91–97, 2002.

CARBONARI, C.A.; MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D. Efeitos da aplicação de glyphosate no crescimento inicial de mudas de eucalipto submetidas a dois níveis de adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. v. 1, 342p. p. 68-70.

CARVALHO L.B.; ALVES P.L.C.A.; DUKE S.O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Ann Braz Acad Sci**. 2013;85:813-821.

CEDERGREEN N. et al. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crop Res**. 2009;114:54-57.

CEDERGREEN N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environ Pollut**. 2008;156:1099-1104.

CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J.C.; KUDSK, O.; MATHIASSEN, S.K.; DUKE, S.O. The occurrence of hormesis in plants and algae. **Dose-Response** v.5, n.2, p.150-162, 2007.

CORREIA B. et al. Water stress and recovery in the performance of two *Eucalyptus globulus* clones: physiological and biochemical profiles. **Physiologia Plantarum**, 2014;150:580-592.

CORREIA C.M. et al. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. **Eur J Agron**, 2005;22:337-347.

CORREIA N., VILLELA G.B. Trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl selectivity to young eucalyptus plants. **Planta Daninha**, 2015;33:259-266.

CORREIA, D.; GONÇALVES, A. N. COUTO, H. T. Z.; RIBEIRO, M. C. Efeito do meio de cultura líquido e sólido no crescimento e desenvolvimento de gemas de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* na multiplicação in vitro. **IPEF**, n.48/49, p.107-116, jan./dez.1995.

DAVIES. P. J. Plant hormones physiology biochemistry and molecular biology. 2.ed. Netherlands: Klumer Academic Publishes, 1995. 823 p.

DUKE, S.O.; CEDERGREEN, N.; VELINI, E.D.; BELZ, R.G. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks Pest Management**, v.17, n.1, p.29-33, 2006.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, 1994. p. 288.

FAGERNESS, M. J.; PENNER, D. Spray application parameters that influence the growth inhibiting effects of trinexapac-ethyl. **Crop Sci**, v. 38, p. 1028-1035, 1998.

FERREIRA E.V.O. et al. Differential behavior of young eucalyptus clones in response to nitrogen supply. **R. Bras. Ci. Solo**, 2015;39:809-820.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J.M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. **Functional Plant Biology**, v.29, p.461-471, 2002.

GODOY, M.C. **Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fósforo pela soja**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, 2007.

GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 145-161, 2000.

GONZÁLEZ, E. R. **Transformação genética de *Eucalyptus grandis* e de híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* via *Agrobacterium***. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GRANDA V. et al. Rapid responses of C14 clone of *Eucalyptus globulus* to root drought stress: time-course of hormonal and physiological signaling. **J Plant Physiol.** 2011;168:661-670.

HECKMAN, N. L. et al. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Sci**, v. 42, p. 423-427, 2002.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual de 2016**. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf Acesso em: 20 de janeiro de 2017.

JIANG F., HARTUNG W. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. **J Exp Bot**, 2008;59: 37-43.

KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, G.S. **Physiology of woody plants**. California: Academic, 1997. 411p.

LAWLOR D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**. 2002;89:871-885.

LAWLOR D.W. Musings about the effects of environment on photosynthesis. **Annals of Botany**. 2009;103:543-5549.

MAXSON, K.L.; JONES, A.L. Management of fire blight with gibberellin inhibitors and sar inducers. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.590, p.217-223, 2002.

MCDONALD, L.; MORGAN, T.; JACKSON, P. The effect of ripeners on the CCS of 47 sugarcane varieties in the burdekin. **Proc Aust Soc Sugar Cane Technol**. 2001;23:102-108.

MENDES H.S.J. et al. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**. 2013;19:603-611.

MODDUS. **Bula**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Outros/MODDUS.pdf> Acesso em: 05 março 2017.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no Brasil**. Brasília: EMBRAPA Recursos genéticos e biotecnologia. 2004. 12 p. (Comunicado técnico, n. 111), Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/174980/1/cot111.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2017.

NAKAYAMA, K. et al. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cell-free systems derived from immature seeds. **Plant Cell Physiol**, v. 31, p. 1183-1190, 1990.

NAMBIAR E., SANDS R. Competition for water and nutrients in forests. **Can. J. Forest Res.** 1993;23:1955-1968.

NAQVI, S. S. M. **Plant growth hormones: growth promoters and inhibitors.** In: PESSARAKLI, M. Handbook of plant and crop physiology. New York: Marcel Dekker, 1994. p.527-556.

NASCIMENTO V. et al. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia**, 2009;68:921-929.

NGUYEN T.N. et al. Effect of nitrogen deficiency on biomass production, photosynthesis, carbon partitioning, and nitrogen nutrition status of *Melaleuca* and *Eucalyptus* species. **Soil Sci Plant Nutr**, 2003;49:99-109.

PARRY M.A.J. et al. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany.** 2002;89:833-839.

PINHEIRO C., CHAVES M.M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany.** 2011;62:869-882.

PIRES R.N. et al. Effects of the simulated drift of ripeners on *Eucalyptus urograndis*. **Journal of Agricultural Science**, 2013;5:78-86.

PITELLI, R. A.; MARCHI, S. R. Interferência das plantas invasoras nas áreas de reflorestamento. Seminário técnico sobre plantas daninhas e o uso de herbicidas em reflorestamento, 3, Belo Horizonte, 1991. **Anais...** Belo Horizonte, 1991. p.1-11.

RADEMACHER, W. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol**, 2000;51:501–531.

ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D.; ROCHA, R. B. Avaliação genética de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus urophylla* utilizando os procedimentos REML/BLUP e E(QM). **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 369-379, 2006.

SAKAKIBARA H. Cytokinins: Activity, Biosynthesis, and Translocation. **Annu. Rev. Plant Biol**, 2006;57:431-449.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A.; CARDOSO, A.A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, 34:325-335, 2004.

SOUTHAM, C.M.; ERLICH, J. Effects of extract of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. **Phytopathology**, 33, 517–524, 1943.

STAPE J. et al. Water use, water limitation, and water use efficiency in a eucalyptus plantation. **Bosque**, 2004;25:35-41.

SUSILUOTO S.; BERNINGER F. Interactions between morphological and physiological drought responses in *Eucalyptus microtheca*. **Silva Fennica**, 2007;41:221-233.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEIXEIRA P.C. et al. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de eucalipto em função da adubação potássica e água do solo. **R. Ceres**. 2006;53:662-671.

THE PLANT LIST. **Version 1**. Disponível em: <<http://www.theplantlist.org/>> Acesso em: 05 jun. 2017.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na Depressão Central e Serra do Sudoeste, Rio Grande do Sul. **Ciência florestal**, v. 14, n. 2, p. 61-77, 2004.

VALADARES, J.; PAULA, N.F.; PAULA, R.C. Physiological changes in eucalyptus hybrids under different irrigation regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 805-814, out-dez, 2014.

VELINI E.D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Manag Sci**, 2008;64:489-496.

VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; BARBERIS, L.R.M.; DUKE, S.O. Growth Regulation and other secondary effects of herbicides. **Weed Science**, v.58, n.3, p.351-354. 2010.

VELLINI, A.L.T.T.; DE PAULA, N.F.; ALVES, P.L.C.A.; PAVANI, L.C.; BONINE, C.A.V.; SCARPINATI, D.A.; DE PAULA, R.C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, .32, n.4, p.651-663, 2008.

WARREN C. R. How does P affect photosynthesis and metabolite profiles of *Eucalyptus globulus*? **Tree Physiol**, 2011;31:727-739.

WEILER, E. W.; ADAMS, R. **Studies on the action of the new growth retardant CGA 163'935**. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE – WEEDS, 1991, Switzerland. Proceedings... Switzerland: Ciba Geigy, 1991. p. 1133-1138.

WERNER, T.; MOTYKA, V.; STRNAD, M.; SCHMULLING T. Regulation of plant growth by cytokinin. **Proc Natl Acad Sci**, 2001;98:10487-10492.

ZHANG J. et al. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. **Field Crop Res**, 2006;97:111-119.

CAPÍTULO 2 – Efeito de etil-trinexapac, em duas épocas de aplicação, no desenvolvimento inicial do eucalipto sob deficiência hídrica

2.1. RESUMO – Plantas de eucalipto são sensíveis a estresses durante o desenvolvimento inicial, sendo a deficiência hídrica o mais importante dentre eles. Assim, o efeito hormético ocasionado pela aplicação de produtos químicos pode ser um fator que proporcione às plantas tolerar tais estresses. Objetivou-se comparar duas épocas de aplicação (antes do plantio – AP; e depois do plantio – DP) de etil-trinexapac e seus efeitos no crescimento inicial de *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144) em duas condições hídricas. Conduziu-se dois experimentos simultaneamente em casa de vegetação, durante 74 dias após o plantio (DAP) do eucalipto, em vasos de 15 L. Os tratamentos consistiram da combinação de três doses de etil-trinexapac (0,0; 30 e 60 g i.a. ha⁻¹) e duas condições hídricas (sem estresse e com deficiência hídrica – conduzido a 20% da capacidade de campo). Foi utilizado delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2, com cinco repetições. Na época AP, a pulverização de etil-trinexapac ocorreu aos 0 DAP e na época DP, aos 24 DAP. Nos dois experimentos foram avaliados: altura, diâmetro, área foliar, matéria seca, teor relativo de clorofila total e trocas gasosas das plantas. Houve efeito positivo para a taxa de assimilação líquida de CO₂ aos 27 e 40 DAP, para o DP e AP, respectivamente. As plantas de eucalipto na ausência de deficiência hídrica apresentaram maior crescimento, independentemente da época de aplicação. Conclui-se que o etil-trinexapac não ocasionou efeito hormético no eucalipto, independentemente da condição hídrica, e as épocas de aplicação influenciaram de formas distintas as características avaliadas, não havendo efeito prejudicial em nenhuma delas.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*, hormese, estresse abiótico, estresse hídrico, subdose

2.2. INTRODUÇÃO

O eucalipto é a cultura mais importante do setor florestal brasileiro, o qual movimentou 69,1 bilhões de reais em 2015, com representação de 1,2% no PIB do país. Dos 7,8 milhões de hectares de área plantada, 5,6 milhões de hectares são ocupados com eucalipto (Ibá, 2016), sendo a maior parte das florestas comerciais extensivas formadas com mudas clonais. No entanto, o eucalipto é extremamente sensível a estresses bióticos e abióticos durante o crescimento e desenvolvimento

inicial, período que compreende os primeiros meses após o plantio (Nambiar e Sands, 1993; Garau et al., 2008).

Diversos autores ressaltam que a baixa disponibilidade de água no solo tem se mostrado como o fator abiótico mais importante na diminuição da produtividade do eucalipto (Chaves et al., 2009; Villar et al., 2011; Correia et al., 2014). Isso ocorre, pois a deficiência hídrica ocasiona diversas modificações fisiológicas nas plantas, as quais, na tentativa de garantir a sobrevivência, reduzem o crescimento, comprometendo, assim, a produtividade (Bedon et al., 2011).

Em resposta à deficiência hídrica, diversas modificações fisiológicas, bioquímicas e moleculares são observadas (Lawlor, 2009; Pinheiro e Chaves, 2011). Assim que as raízes detectam baixa disponibilidade de água no solo, há a produção de ácido abscísico, que é transportado para as folhas e faz a mediação de processos que promovem o fechamento estomático e acabam diminuindo o processo de troca gasosa. Como resultado, há a redução da concentração de CO₂ no interior do mesófilo foliar limitando, assim, o processo de fixação de carbono, e conseqüentemente, ocasionando uma redução do crescimento foliar e na produtividade (Bedon et al., 2011; Pinheiro e Chaves, 2011; Correia et al., 2014).

Assim, estudos que procurem elucidar maneiras de proporcionar ganhos ao eucalipto, em condições de estresse, devem ser estimulados. Trabalhos anteriores relatam que a aplicação de etil-trinexapac em mudas de eucalipto favoreceu algumas características avaliadas (Pires et al., 2013; Correia e Villela, 2015), fenômeno esse denominado de efeito hormético ou hormese, que é caracterizado como uma resposta positiva em razão da aplicação de subdoses de um produto químico (Belz e Duke, 2014). Esse efeito já foi observado em *Eucalyptus urograndis* com ganhos de até 19% em área foliar e 8% na matéria seca total (Pires et al., 2013). No entanto, também é importante observar que esse efeito depende de vários fatores, como do clone ou do cultivar utilizado, estágio de desenvolvimento da planta, condições ambientais, entre outros (Belz e Duke, 2014).

O etil-trinexapac é um regulador vegetal, ou maturador, frequentemente utilizado em culturas como cana-de-açúcar e arroz, cuja aplicação visa reduzir o acamamento dessas plantas, uma vez que o produto ocasiona redução no alongamento dos entrenós (Nascimento et al., 2009).

Com a hipótese de que etil-trinexapac pode conferir respostas positivas ao eucalipto em condições de estresse hídrico, o presente trabalho objetivou comparar duas épocas de aplicação de etil-trinexapac e seus efeitos no crescimento inicial de um clone de *E. urophylla* sob duas condições de disponibilidade hídrica.

2.3. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos simultaneamente em casa de vegetação, com condições semicontroladas, de agosto a outubro de 2016, no município de Jaboticabal-SP, Brasil (altitude de 590 m e coordenadas geográficas de 21°15'17"S e 48°19'20"W). No decorrer do período experimental, a temperatura média do ar foi de 22,5 °C (máxima de 32,3 °C e mínima de 14 °C), com umidade relativa de 61,4% e insolação de 247 horas mensais.

Ambos experimentos foram conduzidos durante 74 dias após o plantio (DAP) do eucalipto, em vasos de 15 L previamente preenchidos com mistura de terra coletada na camada superficial de um Latossolo Vermelho Escuro (Tabela 1) e areia grossa na proporção de 2:1 (v/v).

Tabela 1. Análise química do substrato utilizado nas parcelas experimentais. Jaboticabal-SP, 2016.

pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	SB	T	V %
6,0	18	17	3,6	23	9	18	35,2	53,5	66

Foram utilizadas mudas comerciais de um clone de *Eucalyptus urophylla* (clone I-144) com 90 dias de idade, que apresentavam, em média, 37 cm de altura, 3,35 mm de diâmetro do caule e 12 folhas.

Foram avaliadas duas épocas de aplicação de etil-trinexapac: antes do plantio (AP – Experimento N° 1) e depois do plantio (DP - Experimento N° 2). Para a época antes do plantio (AP), as mudas de eucalipto, ainda acondicionadas em tubetes de 50 mL, foram pulverizadas com etil-trinexapac (Moddus®) nas dosagens de 30 e 60 g i.a. ha⁻¹ (10 e 20% da dose comercial recomendada para cana-de-açúcar, respectivamente). Para a aplicação do produto, foi utilizado um pulverizador costal, à pressão constante (CO₂), munido de barra com duas pontas TT 110.02, regulado

para gasto de volume de calda de 200 L ha⁻¹. Por ocasião da aplicação, ocorrida em sala de pulverização, a temperatura do ar era de 27,3 °C com umidade relativa de 59,5%. Vinte e quatro horas após a aplicação do produto, todas as mudas foram plantadas nos vasos.

Para a época depois do plantio (DP), a aplicação ocorreu aos 24 dias após o plantio (DAP) das mudas nos vasos, e foram usadas as mesmas doses e metodologia de aplicação anteriormente descritas. Nessa ocasião, a temperatura do ar era de 29,4 °C e umidade relativa de 55,2%.

Nos dois experimentos, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, e os tratamentos arranjados em esquema fatorial 3x2, sendo três doses de etil-trinexapac (0%, 10% e 20% da dose comercial) e dois regimes hídricos (com e sem deficiência hídrica), com cinco repetições.

Nos oito primeiros dias após o plantio, todas as plantas foram mantidas a 22% de umidade do substrato para garantir a sobrevivência das mudas. Após esse período, o monitoramento da umidade do substrato foi feito com o sensor Falker HydroFarm (modelo HFM 2030), considerando valores entre 20-22% para plantas que foram mantidas na ausência de deficiência hídrica, e 3-5% (equivalente a uma média de 20% da capacidade de campo) para plantas mantidas em condições de deficiência hídrica. As plantas foram mantidas sob essas situações de umidade do substrato até os 74 DAP.

Aos 27 DAP (três dias após a aplicação do etil-trinexapac), na época de aplicação DP, e aos 40 DAP na época AP, avaliou-se, na terceira folha totalmente expandida, as taxas de assimilação líquida de CO₂, de transpiração, concentração de CO₂ intercelular e condutância estomática, com um analisador de gás por infravermelho (IRGA modelo. LI 6400, LiCor[®]), utilizando-se CO₂ de referência de 398 μmol CO₂ mol⁻¹; H₂O de referência de 19 mmol H₂O mol⁻¹; temperatura da câmara fixada em 25 °C; a pressão atmosférica em 1000 KPa; a taxa de fluxo em 400 μmol s⁻¹ e o fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (quantum) em 1100 μmol m⁻² s⁻¹. Para ambos experimentos, aos 74 DAP, foram determinados o diâmetro do coleto, utilizando-se um paquímetro digital, e a altura das plantas, com régua graduada em mm. Também avaliou-se, na terceira folha totalmente expandida de cada planta, o teor relativo de clorofila total (Falker, mod. CFL 1030) e a taxa de

assimilação líquida de CO₂, transpiração, concentração de CO₂ intercelular e condutância estomática, utilizando-se a mesma metodologia anteriormente citada. Após essas avaliações, as plantas foram cortadas em sua base e suas folhas destacadas para a determinação da área foliar (LiCor, mod. LI 3100 A). Em seguida, folhas e caules foram levados à estufa de circulação forçada de ar (70 °C), por 96 horas, para a determinação da massa de matéria seca em balança eletrônica de precisão.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, inicialmente por época de aplicação e, posteriormente, comparando as épocas para cada regime hídrico. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

2.4. RESULTADOS

2.4.1. Experimento Nº 1 – Aplicação Antes do Plantio (AP)

As plantas de eucalipto mantidas sem deficiência hídrica, independentemente das doses de etil-trinexapac aplicadas, apresentaram maiores altura, diâmetro, área foliar e matéria seca total (MST) em relação às plantas com deficiência hídrica, com acréscimo de, respectivamente, 49,1%, 47,6%, 215,4% e 316,3% (Tabela 2-A). Por outro lado, o teor relativo de clorofila total foi cerca de 33,6% superior nas plantas cultivadas sob deficiência hídrica.

Quanto às doses de etil-trinexapac, independentemente da condição hídrica, observou-se que a maior dose proporcionou altura 6,9% superior a dos demais tratamentos (Tabela 2-A). Já maior diâmetro foi observado nas plantas que receberam a dose de 10% de etil-trinexapac, diferindo significativamente da testemunha, mas não da dose de 20%. O teor de clorofila foi maior na dose de 20% em relação à dose de 10%, porém, ambos não diferiram da testemunha e não houve efeito do etil-trinexapac sobre a área foliar e MST (Tabela 2-A).

Na primeira avaliação das trocas gasosas, realizada aos 40 DAP (Tabela 2-B), observou-se que as plantas que se encontravam na ausência de estresse hídrico obtiveram maiores valores para todos os parâmetros avaliados. Na avaliação feita

ao final do período experimental (74 DAP), com exceção da taxa de assimilação líquida de CO₂, todas as outras variáveis mantiveram o mesmo padrão observado na avaliação anterior (40 DAP), no qual as plantas sem estresse hídrico obtiveram maiores valores (Tabela 2-C). Ainda, as plantas com restrição de água apresentaram maiores valores para a taxa de assimilação líquida provavelmente pelo fato de que, ao crescerem menos (devido à restrição hídrica), acabaram acumulando maior quantidade de clorofila nas folhas, resultando em maior taxa de assimilação líquida de CO₂ (Tabela 2-C).

Na avaliação da taxa de assimilação líquida aos 40 DAP (Tabela 3-A), observou-se um efeito diferenciado do maturador, de maneira que quando em restrição de água, o etil-trinexapac proporcionou reduções na taxa de assimilação líquida, ao passo que quando na ausência de deficiência hídrica, a maior dose favoreceu a ocorrência de maiores valores (Tabela 3-A). Apesar dos baixos valores da taxa de assimilação líquida de CO₂ das plantas tratadas com maturador em restrição hídrica, não houve comprometimento em seu crescimento, como é possível observar na Tabela 2-A, em que não houve diferença significativa em relação à testemunha para a MST.

Para a concentração de CO₂ intercelular e transpiração (Tabela 3-B e 3-C), o padrão de resultado foi o mesmo em relação aos tratamentos com e sem estresse hídrico, em que as plantas cultivadas sem restrição hídrica obtiveram maiores valores. Quanto à aplicação de etil-trinexapac, observou-se que a maior dose do maturador proporcionou menores valores de concentração de CO₂ intercelular em situação de deficiência hídrica (Tabela 3-B).

Tabela 2. Efeito da aplicação de etil-trinexapac sobre a altura (cm), diâmetro do caule (mm), área foliar (cm²), matéria seca total (MST – g), teor relativo de clorofila total (Clorofila – UR), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A - μmol CO₂ m⁻² s⁻²), condutância estomática (g_s - mol H₂O m⁻² s⁻²), concentração de CO₂ intercelular (C_i - μmol CO₂ mol⁻¹) e taxa de transpiração (E - mmol H₂O m⁻² s⁻²) de *Eucalyptus urophylla* (I-144), na ausência e na presença de deficiência hídrica. Época de aplicação Antes do Plantio (AP).

(A) – Crescimento e Clorofila – 74 DAP					
	Altura	Diâmetro	Área Foliar	MST	Clorofila
Sem deficiência	81,0 A	7,25 A	1728,1 A	23,11 A	29,24 B
Com deficiência	54,3 B	4,91 B	547,8 B	5,55 B	44,06 A
0% Etil-trinexapac	66,1 B	5,84 B	1222,0	13,64	36,72
10% Etil-trinexapac	66,1 B	6,24 A	1029,3	14,74	35,78
20% Etil-trinexapac	70,7 A	6,15 AB	1162,6	14,61	37,45
F (Regime hídrico - RH)	486,8**	347,2**	75,88**	1151**	804,2**
F (Etil-trinexapac - ET)	6,39*	3,68*	0,71 ^{ns}	1,77 ^{ns}	3,42 ^{ns}
F (RH x ET)	2,77 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,99 ^{ns}
C.V. (%)	4,90	5,65	32,60	9,88	3,90
(B) – Primeira avaliação IRGA (40 DAP)					
	A	g _s	C _i	E	-----
Sem deficiência	15,83	0,765 A	320,6	9,57	-----
Com deficiência	10,26	0,141 B	211,9	3,44	-----
0% Etil-trinexapac	13,85	0,485 A	275,2	6,60	-----
10% Etil-trinexapac	12,83	0,431 B	269,9	6,80	-----
20% Etil-trinexapac	12,45	0,444 AB	253,6	6,11	-----
F (Regime hídrico - RH)	200,2**	1633,7**	237,9**	273,4**	-----
F (Etil-trinexapac - ET)	4,54*	4,40*	3,38 ^{ns}	1,21 ^{ns}	-----
F (RH x ET)	37,64**	2,89 ^{ns}	3,89*	5,20*	-----
C.V. (%)	8,25	9,32	7,24	15,61	-----
(C) – Segunda avaliação IRGA (74 DAP)					
	A	g _s	C _i	E	-----
Sem deficiência	12,31 B	0,710 A	338,1 A	8,68 A	-----
Com deficiência	14,69 A	0,229 B	242,3 B	5,19 B	-----
0% Etil-trinexapac	13,52	0,476	288,1	6,87 AB	-----
10% Etil-trinexapac	14,25	0,468	294,3	7,60 A	-----
20% Etil-trinexapac	12,73	0,464	288,3	6,32 B	-----
F (Regime Hídrico - RH)	19,29**	283,1**	114,2**	154,2**	-----
F (Etil-trinexapac - ET)	2,65 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,21 ^{ns}	6,97**	-----
F (RH x ET)	1,20 ^{ns}	3,22 ^{ns}	2,19 ^{ns}	0,45 ^{ns}	-----
C.V. (%)	10,98	16,67	8,45	11,09	-----

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valor significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. C.V. = Coeficiente de variação. DAP = Dias após o plantio do eucalipto.

Tabela 3. Desdobramento da interação regime de irrigação x doses de etil-trinexapac para taxa de assimilação líquida de CO₂ ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$), concentração de CO₂ intercelular ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e taxa de transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$) em um clone de *Eucalyptus urophylla* (I-144), submetido à aplicação de etil-trinexapac e cultivado na ausência e na presença de deficiência hídrica, 40 dias após o plantio (40 DAP). Época de aplicação Antes do Plantio (AP).

(A) – A (40 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	14,46 Ab	15,80 Aab	17,23 Aa	8,23**
Com deficiência	13,24 Aa	9,87 Bb	7,67 Bc	33,9**
F	3,20 ^{ns}	75,70**	196,6**	-----
(B) – C_i (40 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	329,9 Aa	312,0 Aa	319,8 Aa	1,08 ^{ns}
Com deficiência	220,5 Ba	227,7 Ba	187,5 Bb	6,19**
F	80,32**	47,70**	117,6**	-----
(C) – E (40 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	8,90 Aa	10,56 Aa	9,26 Aa	2,73 ^{ns}
Com deficiência	4,30 Ba	3,04 Ba	2,96 Ba	3,68 ^{ns}
F	51,14**	136,6**	96,07**	-----

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** = valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

2.4.2. Experimento Nº 2 – Aplicação Depois do Plantio (DP)

Não houve diferença estatística entre as doses de etil-trinexapac para a altura, área foliar e MST (Tabela 4-A). Em relação aos regimes hídricos, o padrão foi o mesmo observado na época AP, em que apenas os valores de clorofila se mostraram maiores nos tratamentos com restrição hídrica (Tabela 4-A). A presença de água no sistema proporcionou ganhos de 57,2% em altura, 59,5% em diâmetro, 157,45% em área foliar e 286,95% em MST, em relação às plantas que foram mantidas sob deficiência hídrica.

Em relação às trocas gasosas avaliadas aos 3 dias após a aplicação do maturador (27 DAP), observou-se que a maior dose de etil-trinexapac proporcionou efeito benéfico em relação à menor dose para a condutância estomática e transpiração, diferindo da testemunha apenas nos valores de condutância

estomática (Tabela 4-B). Quando comparado os regimes hídricos, as plantas sem restrição de água obtiveram maiores valores para todas as variáveis (Tabela 4-B).

Na avaliação das trocas gasosas ao final do período experimental (74 DAP), a aplicação de 10% de etil-trinexapac favoreceu a condutância estomática, diferindo significativamente da testemunha e da maior dose testada (Tabela 4-C). Ainda, assim como ocorreu na época AP, a taxa de assimilação líquida de CO₂ foi a única variável com maiores valores em condições de deficiência hídrica, independentemente da dose do maturador (Tabela 4-C), o que se deve, provavelmente, à maior quantidade de clorofila nas folhas (Tabela 4-A). No entanto, deve-se ressaltar que mesmo com maiores valores de taxa de assimilação líquida, a água ainda era fator limitante ao crescimento das plantas nesta condição hídrica, por isso apresentaram menores características biométricas ao final do período experimental, mesmo com maior taxa de assimilação líquida nesse período (Tabela 4-A).

Quanto às interações significativas entre regimes hídricos e doses de etil-trinexapac, observa-se para o diâmetro, assim como para a taxa de assimilação líquida aos 27 DAP e transpiração aos 74 DAP (respectivamente Tabela 5-A, 5-C e 5-E), que as plantas sem estresse hídrico apresentaram maiores valores independentemente da dose de etil-trinexapac, ao contrário do ocorrido para o teor de clorofila (Tabela 5-B), em que, também é possível observar que a aplicação de 10% do maturador proporcionou efeito benéfico em relação à testemunha, mas não diferindo da maior dose. Já sob restrição hídrica, o etil-trinexapac proporcionou menores valores para o teor de clorofila, em relação à testemunha (Tabela 5-B).

Ainda, avaliando a interação entre regimes hídricos e doses de etil-trinexapac, observa-se para taxa de assimilação líquida, na avaliação aos 3 dias após a aplicação do etil-trinexapac (27 DAP), que a maior dose do produto teve efeito positivo quando as plantas de eucalipto se encontravam sob deficiência hídrica (Tabela 5-C). Para a avaliação da taxa de assimilação líquida ao final do período experimental (74 DAP), com exceção da dose de 20% de etil-trinexapac, todas as plantas sob deficiência hídrica apresentaram maiores valores em relação às sem deficiência (Tabela 5-D). Sem deficiência hídrica, não houve diferença entre as doses testadas, ao passo que na condição de restrição de água, o tratamento com

20% do maturador proporcionou menores valores de taxa de assimilação líquida de CO₂ (Tabela 5-D). Observou-se, também, que as plantas tratadas com 10% do produto, quando em deficiência hídrica, transpiraram mais em relação aos outros tratamentos, enquanto na condição sem deficiência não houve diferença significativa para esta variável (Tabela 5-E).

Tabela 4. Efeito da aplicação de etil-trinexapac sobre a altura (cm), diâmetro do caule (mm), área foliar (cm²), matéria seca total (MST – g), teor relativo de clorofila total (Clorofila – UR), taxa de assimilação líquida de CO₂ ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$), concentração de CO₂ intercelular ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e taxa de transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$) de *Eucalyptus urophylla* (I-144), na ausência e na presença de deficiência hídrica. Época de aplicação Depois do Plantio (DP).

(A) – Crescimento e Clorofila – 74 DAP					
	Altura	Diâmetro	Área Foliar	MST	Clorofila
Sem deficiência	78,0 A	6,97	2167,8 A	23,06 A	29,37
Com deficiência	49,6 B	4,37	842,3 B	5,96 B	41,72
0% Etil-trinexapac	63,3	5,66	1467,8	14,63	35,45
10% Etil-trinexapac	63,3	5,63	1464,2	13,78	35,91
20% Etil-trinexapac	65,0	5,73	1583,2	15,12	35,28
F (Regime Hídrico - RH)	455,7**	431,6**	148,5**	1133,0**	562,3**
F (Etil-trinexapac - ET)	0,73 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,52 ^{ns}	2,38 ^{ns}	0,52 ^{ns}
F (RH x ET)	0,28 ^{ns}	4,33*	0,10 ^{ns}	0,44 ^{ns}	13,51**
C.V. (%)	5,70	6,03	19,78	9,58	4,01
(B) – Primeira avaliação IRGA (27 DAP)					
	A	g_s	C_i	E	-----
Sem deficiência	17,68	0,670 A	298,3 A	12,56 A	-----
Com deficiência	7,16	0,060 B	171,8 B	2,50 B	-----
0% Etil-trinexapac	12,80	0,343 B	232,7	7,39 AB	-----
10% Etil-trinexapac	10,73	0,332 B	236,7	6,98 B	-----
20% Etil-trinexapac	13,73	0,419 A	235,8	8,21 A	-----
F (Regime Hídrico - RH)	706,0**	1000,6**	249,2**	1093,5**	-----
F (Etil-trinexapac - ET)	20,11**	8,08**	0,09 ^{ns}	5,64*	-----
F (RH x ET)	6,49**	2,93 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-----
C.V. (%)	8,72	14,4	9,32	11,06	-----
(C) – Segunda avaliação IRGA (74 DAP)					
	A	g_s	C_i	E	-----
Sem deficiência	10,88	0,678 A	312,0 A	10,32	-----
Com deficiência	15,04	0,284 B	248,5 B	6,46	-----
0% Etil-trinexapac	12,68	0,453 B	282,3	8,16	-----
10% Etil-trinexapac	14,77	0,541 A	287,9	9,04	-----
20% Etil-trinexapac	11,43	0,448 B	284,0	7,97	-----
F (Regime Hídrico - RH)	53,76**	265,8**	205,9**	194,3**	-----
F (Etil-trinexapac - ET)	11,84**	6,28**	0,42 ^{ns}	5,68*	-----
F (RH x ET)	5,45*	0,52 ^{ns}	1,60 ^{ns}	3,71*	-----
C.V. (%)	11,96	13,74	4,85	9,04	-----

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valores

significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. C.V. = Coeficiente de variação. DAP = Dias após o plantio do eucalipto.

Tabela 5. Desdobramento da interação regime de irrigação x doses de etil-trinexapac para diâmetro do caule (mm), teor relativo de clorofila total (Clorofila – UR), taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A* – μmol CO₂ m⁻² s⁻²), e taxa de transpiração (*E* - mmol H₂O m⁻² s⁻²) em um clone de *Eucalyptus urophylla* (I-144), submetido à aplicação de etil-trinexapac e cultivado na ausência e na presença de deficiência hídrica. Época de aplicação Depois do Plantio (DP).

(A) – Diâmetro (74 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	7,19 Aa	6,71 Aa	7,02 Aa	2,08 ^{ns}
Com deficiência	4,13 Ba	4,56 Ba	4,44 Ba	2,46 ^{ns}
F	199,1**	98,9**	142,1**	-----
(B) – Clorofila (74 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	27,44 Bb	31,12 Ba	29,56 Bab	8,39**
Com deficiência	43,46 Aa	40,70 Ab	41,00 Ab	5,64*
F	315,6**	112,8**	160,9**	-----
(C) – A (27 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	18,92 Aa	16,03 Ab	18,10 Aa	9,44**
Com deficiência	6,69 Bb	5,43 Bb	9,36 Ba	17,16**
F	317,9**	238,9**	162,2**	-----
(D) – A (74 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	10,04 Ba	11,94 Ba	10,67 Aa	1,94 ^{ns}
Com deficiência	15,32 Aa	17,60 Aa	12,19 Ab	15,36**
F	28,96**	33,32**	2,39 ^{ns}	-----
(E) – E (74 DAP)				
	0% etil-trinexapac	10% etil-trinexapac	20% etil-trinexapac	F
Sem deficiência	10,03 Aa	10,55 Aa	10,39 Aa	0,61 ^{ns}
Com deficiência	6,29 Bb	7,54 Ba	5,55 Bb	8,77**
F	60,59**	39,30**	101,8**	-----

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valores significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns}= valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. DAP = Dias após o plantio do eucalipto.

2.4.3. Comparação entre Épocas AP e DP

Quando as plantas de eucalipto se encontravam sob deficiência hídrica, independentemente da época de aplicação (AP ou DP), observou-se que a

aplicação de etil-trinexapac teve efeito positivo na altura, diâmetro e matéria seca do caule, proporcionando ganhos máximos de, respectivamente, 7,2%, 10,8% e 20,9% (Tabela 6-A). Já a época AP proporcionou maiores valores de altura e diâmetro em comparação à DP, provavelmente pelo fato de o produto ter agido mais precocemente. No entanto, a época DP possibilitou área foliar 53,8% maior em relação às plantas do AP (Tabela 6-A). Não houve diferença entre as duas épocas de aplicação do etil-trinexapac na produção de matéria seca.

Tabela 6. Comparação entre as épocas de aplicação (Antes do Plantio; e Depois do Plantio) de etil-trinexapac em um clone de *Eucalyptus urophylla* (I-144), para as características altura (cm), diâmetro do caule (mm), área foliar (cm²), matéria seca total (MST – g), matéria seca do caule (MSC – g) e matéria seca das folhas (MSF – g) em dois regimes de irrigação (com e sem deficiência hídrica).

(A) – Com Deficiência Hídrica						
	Altura	Diâmetro	Área Foliar	MST	MSC	MSF
Antes do Plantio	54,3 A	4,91 A	547,8 B	5,55	1,99	3,61
Depois do Plantio	49,6 B	4,37 B	842,3 A	5,96	2,19	3,61
0% Etil-trinexapac	50,0 B	4,36 B	703,6	5,49	1,86 B	3,72
10% Etil-trinexapac	52,2 AB	4,83 A	667,9	5,80	2,25 A	3,49
20% Etil-trinexapac	53,6 A	4,73 A	714,7	5,99	2,17 A	3,62
F (Modo de Aplicação)	19,07**	26,67**	84,88**	2,56 ^{ns}	4,26 ^{ns}	0,00 ^{ns}
F (Etil-trinexapac - ET)	3,90*	7,44**	0,82 ^{ns}	1,29 ^{ns}	6,20**	0,33 ^{ns}
F (Aplicação x ET)	1,20 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,18 ^{ns}	2,93 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,48 ^{ns}
C.V. (%)	5,58	6,09	12,59	12,27	12,57	17,06
(B) – Sem Deficiência Hídrica						
	Altura	Diâmetro	Área Foliar	MST	MSC	MSF
Antes do Plantio	81,06 A	7,25	1728,1 B	23,11	7,88	15,21
Depois do Plantio	78,06 B	6,97	2167,8 A	23,06	7,68	15,37
0% Etil-trinexapac	79,40 AB	7,14	1986,3	22,79	7,52	15,63
10% Etil-trinexapac	77,20 B	7,05	1826,6	22,72	7,87	14,32
20% Etil-trinexapac	82,10 A	7,15	2031,1	23,73	7,94	15,79
F (Modo de Aplicação)	6,67*	2,86 ^{ns}	6,00*	0,01 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,19 ^{ns}
F (Etil-trinexapac - ET)	5,95**	0,14 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,14 ^{ns}	2,57 ^{ns}
F (Aplicação x ET)	1,10 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,41 ^{ns}	2,01 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,23 ^{ns}
C.V. (%)	3,99	6,26	25,23	6,44	8,54	10,44

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valores significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. C.V. = Coeficiente de variação. DAP = Dias após o plantio do eucalipto.

Em relação à comparação entre as épocas de aplicação na condição sem estresse hídrico, o padrão observado foi semelhante ao anterior, de maneira que o AP proporcionou maior altura às plantas de eucalipto (acréscimo de 3,8%), enquanto

o DP possibilitou maior área foliar, com um aumento de 25,4% (Tabela 6-B). Para as doses de etil-trinexapac, observa-se que a maior dose proporcionou maior altura em relação à menor dose, mas não diferiu significativamente da testemunha.

2.5. DISCUSSÃO

A redução observada em algumas características no presente experimento, nas plantas cultivadas sob deficiência hídrica, como em altura, diâmetro, área foliar e MST, independentemente da aplicação de etil-trinexapac (Tabelas 2-A e 4-A), se deve ao fato de que a água é um fator essencial para o metabolismo celular da planta e corrobora outros trabalhos já realizados (Susiluoto e Berninger, 2007; Granda et al., 2011; Correia et al., 2014). Taiz e Zeiger (2013) ressaltam que os processos fisiológicos são afetados pela disponibilidade hídrica, pois as propriedades das moléculas de água influenciam diretamente os constituintes da célula, como as estruturas das proteínas, ácidos nucleicos, membranas, entre outros.

Plantas de eucalipto sob restrição hídrica tendem a apresentar menores valores de fotossíntese, conforme se constatou no presente estudo (Tabelas 3-B e 5-B), uma vez que as moléculas de água agem como doador de elétrons na fase fotoquímica deste processo e, com isso, apresentam influência direta na produção de ATP, uma vez que os prótons H^+ , resultantes da fotólise da água, são liberados no interior do tilacoide, para posterior uso da bomba ATP-sintase, além de afetarem diretamente a atividade da Rubisco e da regeneração da RuBP (Lawlor, 2002; Parry et al., 2002).

Ainda sob restrição hídrica, foi possível observar a redução da transpiração e condutância estomática em decorrência do fechamento dos estômatos, o que acabou implicando em menor concentração de CO_2 intercelular (Tabelas 2-B e 4-B). Diversos autores (Hanba et al., 2004; Flexas et al., 2006; Flexas et al., 2008; Miyazawa et al., 2008) ressaltam que a redução da taxa de assimilação líquida de CO_2 não está somente relacionada ao fechamento estomático, mas também na redução da condutância do CO_2 no mesófilo foliar, na qual as aquaporinas parecem estar envolvidas, principalmente em condições de déficit hídrico. Assim, destaca-se

que o fechamento dos estômatos, que tem por finalidade evitar a perda de água por transpiração, é resultado de uma complexa rede de sinalização, tendo o hormônio ácido abscísico (ABA), função primordial nesse processo (Zhang et al., 2006; Jiang e Hartung, 2008), inclusive sendo reportado em plantas de eucalipto em condições de estresse hídrico (Granda et al., 2011; Correia et al., 2014).

No entanto, ao contrário do que foi observado nas primeiras avaliações de trocas gasosas, a taxa de assimilação líquida de CO₂ ao final do período experimental (74 DAP) foi maior nas plantas com deficiência hídrica em comparação às sem estresse, independentemente da época de aplicação do etil-trinexapac (Tabelas 2-C e 4-C). Esse resultado está relacionado à quantidade de clorofila presente nas folhas das plantas de eucalipto sob restrição hídrica, que foi maior sob deficiência hídrica do que nos tratamentos irrigados diariamente até capacidade de campo (Tabelas 2-A e 4-A). Resultado semelhante também foi encontrado por Correia et al. (2014), que relacionaram a maior concentração deste pigmento ao menor crescimento foliar observado em plantas de eucaliptos sob deficiência hídrica, corroborando os resultados do presente estudo (Tabelas 2-A e 4-A). Esses autores sugerem, ainda, que a presença de alta concentração de carotenoides, também devido à menor expansão foliar, possa ter protegido as clorofilas da degradação, preservando, assim, a capacidade fotossintética das plantas. Por outro lado, Susiluoto e Berninger (2007) mencionam outra justificativa para a manutenção de elevadas concentrações deste pigmento em condições de estresse hídrico, na qual o aumento proporcional da relação raiz/parte aérea, também relatada por outros autores (Blake e Suiter-Filho, 1988; Li e Wang, 2003), aumenta a capacidade de exploração de nutrientes do solo, resultando em maior absorção de nitrogênio pela raiz e, conseqüentemente, mantendo elevados níveis de clorofila e fotossíntese na folha.

O termo “hormese” é definido como um efeito estimulatório resultante da ação de baixas doses de um produto químico originalmente tóxico (Belz e Duke, 2014), o qual já tem sido reportado em diversas espécies e produtos, inclusive eucalipto (Velini et al., 2008; Pires et al.; 2013; Correia e Villela, 2015).

No presente experimento, na época AP, observou-se ganhos de 6,96% em altura e 6,85% em diâmetro, para as plantas que receberam a aplicação de 20 e

10% de etil-trinexapac, respectivamente (Tabela 2-A). Pires et al. (2013) verificaram ganhos ainda mais significativos ao pulverizarem o mesmo produto na dose de 10% em plantas de *E. urograndis*. Nessa ocasião, os autores encontraram ganhos de 8% em diâmetro, 8% em matéria seca total, 19% em área foliar e 13% na matéria seca das folhas, aos 42 DAP. Belz e Duke (2014) ressaltam que a hormese resultante da aplicação de produtos químicos depende de vários fatores, entre eles: condições ambientais (Belz e Cedergreen, 2010), estágio de desenvolvimento da planta (Carvalho et al., 2013), clone ou cultivar escolhido (McDonald et al., 2001) e o ponto final de avaliação (Cedergreen et al., 2009), ou seja, quanto tempo após a exposição ao produto será feita a avaliação. Isso justifica a diferença dos resultados encontrados no presente trabalho, conduzido por 74 DAP com o clone I-144, e os encontrados por Pires et al. (2013), que conduziram o experimento por 42 DAP.

Ainda, aos 40 DAP, a taxa de assimilação líquida de CO₂ nas plantas submetidas a 20% de etil-trinexapac, que não estavam sob deficiência hídrica, foi 19,15% maior que a da testemunha (Tabela 3-A). Esse resultado dá embasamento à hipótese levantada por Pires et al. (2013), que sugeriram que o etil-trinexapac não causava efeito deletério sobre as características fotossintéticas de *E. urograndis*.

Na época DP, na qual as plantas de eucalipto já estavam plantadas há 24 dias antes da aplicação, foi possível observar que a pulverização de 20% de etil-trinexapac teve efeito benéfico para a fotossíntese três dias após a aplicação (27 DAP), em tratamentos sob estresse hídrico (Tabela 5-C), o que sugere que a degradação do produto químico, pelas plantas, tem um efeito benéfico quando elas já estão com o sistema radicular estabelecido. Vale ressaltar que a condutância estomática também foi maior nas plantas pulverizadas com mesma dose do maturador, independentemente da condição hídrica a qual foram submetidas (Tabela 4-B). No entanto, esse ganho observado nas avaliações de trocas gasosas não foi suficiente para aumentar significativamente as características biométricas do eucalipto, como altura, diâmetro, área foliar e matéria seca total (Tabela 4-A). Correia e Villela (2015) encontraram aumento de 29,2% no diâmetro da copa de *E. urograndis* (clone GG100) aos 45 dias após a aplicação de 200 g i.a. ha⁻¹ de etil-trinexapac. Vale ressaltar que os autores pulverizaram o produto aos 73 DAP das

mudas, ou seja, a época de aplicação foi similar ao DP do presente estudo, mas as mudas se encontravam com idade mais avançada.

A diferença encontrada entre os trabalhos se deve ao fato de que a ocorrência de hormese possivelmente está relacionada à idade das plantas, de maneira que plantas mais jovens parecem necessitar de doses menores do mesmo produto do que plantas mais velhas (Belz e Duke, 2014). Nesse sentido, vale ressaltar o trabalho de Velini et al. (2008), que observaram que *Commelina benghalensis* com duas folhas expandidas tiveram máxima resposta hormética (cresceram 98% mais que a testemunha) em uma dose cinco vezes menor que plantas com quatro folhas expandidas (que obtiveram crescimento 42% maior que a testemunha). Assim, para que o efeito hormético seja significativo na produção, é importante que a aplicação do produto ocorra no estágio de desenvolvimento correto da planta. Cedergreen (2008) aplicou baixas doses de glifosato em cevada em estágio de duas folhas e não verificou ganho de produtividade. Já Cedergreen et al. (2009) observaram ganhos de 12 a 15% em produtividade da cevada ao aplicarem 2,5 a 20 g e.a. ha⁻¹ de glifosato em estágio de enchimento de grãos.

Comparando as épocas AP e DP, observou-se que o etil-trinexapac na época AP beneficiou a altura em ambas condições hídricas e também o diâmetro sob estresse hídrico, enquanto que na época DP houve ganho em área foliar (Tabela 6-A e 6-B). O composto etil-trinexapac é um acil-ciclohexanediona que ocasiona redução no alongamento dos entrenós de algumas espécies (como o arroz, trigo e cevada), reduzindo, assim, o acamamento dessas plantas (Nascimento et al., 2009). Ainda, Adams et al. (1992) sugeriram que este composto está relacionado à inativação da enzima GA₂₀ 3β-hydroxilase, devido à competição entre o maturador e o 2-oxogluterato pelo cossustrato Fe⁺²/ascorbato-dependente dioxigenase, reduzindo, com isso, o nível de giberelinas ativas, principalmente GA₁. No entanto, em eucalipto não há efeito negativo deste produto, como observado no presente trabalho e também verificado por outros autores (Pires et al., 2013; Correia e Villela, 2015).

Apesar da maior área foliar observada nas plantas de eucalipto na época DP em comparação à época AP, não houve diferença significativa para a matéria seca das folhas (Tabela 6-A e 6-B), o que indica que quando exposto à aplicação de etil-trinexapac após o plantio, as plantas de eucalipto modificam a produção das

estruturas foliares, de maneira que quando em DP, o eucalipto investe em maior tamanho ou quantidade de folhas finas, ao passo que quando em AP, investe na produção de folhas menores (ou em menor quantidade) e mais espessas, obtendo, desta maneira, matérias secas equivalentes, porém, com áreas foliares distintas.

Os processos fisiológicos que ocasionam o efeito hormético pela aplicação de etil-trinexapac ainda não foram elucidados, mas é provável que envolvam várias etapas de sinalização e respostas fisiológicas na planta, uma vez que esta molécula modula a produção da giberelina. Assim, novos estudos nesse sentido devem ser realizados, de maneira que a compreensão deste processo possa levar a aumentos de produtividade em um futuro próximo.

2.6. CONCLUSÃO

Conclui-se que plantas de eucalipto na ausência de deficiência hídrica apresentaram maior crescimento, independentemente da época de aplicação de etil-trinexapac. A aplicação de etil-trinexapac antes do plantio das mudas proporcionou efeito positivo para a altura e o diâmetro do eucalipto. As épocas de aplicação influenciaram de formas distintas as características avaliadas, não havendo efeito prejudicial em nenhuma delas.

2.7. REFERÊNCIAS

Adams R. et al. Studies on the action of the new growth retardant CGA 163935 (cimectacarb). In: Karsen C.M., van Loon L.C., Vreugdenhil D., editors. **Progress in plant growth regulation**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1992, p. 818-827.

Bedon F. et al. Interaction between environmental factors affects the accumulation of root proteins in hydroponically grown *Eucalyptus globulus* (Labill.). **Plant Physiol Biochem**. 2011;49:69-76.

Belz R.G., Cedergreen N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environ Exp Bot**. 2010;69:293–301.

Belz R.G., Duke S.O. Herbicides and plant hormesis. **Pest Manag Sci**. 2014;70:698-707.

Blake T., Suiter-Filho W. Drought tolerance, growth partitioning and vigour in eucalypt seedlings and rooted cuttings. **Tree Physiol.** 1988;4:325-335.

Carvalho L.B., Alves P.L.C.A., Duke S.O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Ann Braz Acad Sci.** 2013;85:813-821.

Cedergreen N. et al. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crop Res.** 2009;114:54-57.

Cedergreen N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environ Pollut.** 2008;156:1099-1104.

Chaves M.M., Flexas J., Pinheiro C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany.** 2009;103:551-560.

Correia B. et al. Water stress and recovery in the performance of two *Eucalyptus globulus* clones: physiological and biochemical profiles. **Physiologia Plantarum.** 2014;150:580-592.

Correia N., Villela G.B. Trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl selectivity to young eucalyptus plants. **Planta Daninha.** 2015;33:259-266.

Flexas J. et al. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. **Plant, Cell and Environment.** 2008;31:602-621.

Flexas J. et al. Tobacco aquaporin NtAQP1 is involved in mesophyll conductance to CO₂ in vivo. **The Plant Journal.** 2006;48:427-439.

Garau A.M. et al. Water stress tolerance in *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *maidenii* (F. Muell.) saplings induced by water restrictions imposed by weeds. **Forest Ecology and Management.** 2008;255:2811-2819.

Granda V. et al. Rapid responses of C14 clone of *Eucalyptus globulus* to root drought stress: time-course of hormonal and physiological signaling. **J Plant Physiol.** 2011;168:661-670.

Hanba Y.T. et al. Overexpression of the barley aquaporin HvPIP2;1 increases internal CO₂ conductance and CO₂ assimilation in the leaves of transgenic rice plants. **Plant and Cell Physiology.** 2004;45:521-529.

Ibá – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual de 2016.** Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf Acesso em: 20 de janeiro de 2017.

Jiang F., Hartung W. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. **J Exp Bot.** 2008;59: 37-43.

- Lawlor D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**. 2002;89:871-885.
- Lawlor D.W. Musings about the effects of environment on photosynthesis. **Annals of Botany**. 2009;103:543-5549.
- Li C., Wang K. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell populations. **Forest Ecology and Management**. 2003;179:377-385.
- McDonald L.,Morgan T., Jackson P. The effect of ripeners on the CCS of 47 sugarcane varieties in the burdekin. **Proc Aust Soc Sugar Cane Technol**. 2001;23:102-108.
- Miyazawa S.I. et al. Deactivation of aquaporins decreases internal conductance to CO₂ diffusion in tobacco leaves grown under long term drought. **Functional Plant Biology**. 2008;35:553-564.
- Nambiar E., Sands R. Competition for water and nutrients in forests. **Can. J. Forest Res**. 1993;23:1955-1968.
- Nascimento V. et al. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia**. 2009;68:921-929.
- Parry M.A.J. et al. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**. 2002;89:833-839.
- Pinheiro C., Chaves M.M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**. 2011;62:869-882.
- Pires R.N. et al. Effects of the simulated drift of ripeners on *Eucalyptus urograndis*. **Journal of Agricultural Science**. 2013;5:78-86.
- Susiluoto S., Berninger F. Interactions between morphological and physiological drought responses in *Eucalyptus microtheca*. **Silva Fennica**. 2007;41:221-233.
- Taiz L., Zeiger E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- Velini E.D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Manag Sci**. 2008;64:489-496.
- Villar E. et al. RNA-Seq reveals genotype-specific molecular responses to water deficit in eucalyptus. **BMC Genomics**. 2011;12:538.
- Zhang J. et al. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. **Field Crop Res**. 2006;97:111-119.

CAPÍTULO 3 – Etil-trinexapac ocasiona efeito estimulatório no crescimento inicial do eucalipto sob deficiência nutricional

3.1. RESUMO – Plantas de eucalipto são sensíveis a estresses abióticos em seu desenvolvimento inicial, sendo a deficiência nutricional um dos mais recorrentes dentre eles. O maturador etil-trinexapac pode afetar positivamente o eucalipto, resposta caracterizada como hormese, conferindo às plantas maior tolerância aos estresses. Objetivou-se avaliar o efeito do etil-trinexapac em duas épocas de aplicação (antes do plantio - AP; e depois do plantio - DP) em mudas de *Eucalyptus urophylla* sob condições de deficiência nutricional (NPK). Dois experimentos foram conduzidos simultaneamente em casa de vegetação, durante 81 dias após o plantio (DAP) do eucalipto em vasos de 15 L. Os tratamentos consistiram de três doses de etil-trinexapac (0,0; 30 e 60 g i.a. ha⁻¹) e quatro variações da solução nutritiva de Hoagland e Arnon: solução completa, -N, -P e -K. Utilizou-se delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x4, com cinco repetições. Na época AP a pulverização do maturador ocorreu aos 0 DAP, enquanto no DP, aos 33 DAP. Foram avaliados: trocas gasosas, teor de clorofila total, altura, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca e relação raiz/parte aérea. As plantas em solução -K não diferiram das cultivadas em solução completa. O tratamento -N proporcionou maior relação raiz/parte aérea, mas resultou em menor crescimento, seguido pelo -P. Quando em -P, o etil-trinexapac teve efeito positivo para a matéria seca total (AP) e área foliar (DP). O maturador afetou positivamente algumas características fotossintéticas do eucalipto.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*, fósforo, hormese maturador, nitrogênio, potássio

3.2. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* é o mais importante para o setor florestal brasileiro, sendo a cultura do eucalipto a principal fornecedora de madeira para produção de celulose, energia, dentre outros (Ibá, 2016). Devido aos programas de melhoramento genético e à evolução das técnicas silviculturais (Stape et al., 2004; Pereira et al., 2012), a cultura do eucalipto no Brasil alcançou, no ano de 2015, produtividade de 36 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, em uma área plantada de 5,6 milhões de hectares (Ibá, 2016).

A fase inicial do desenvolvimento do eucalipto, que compreende o primeiro ano após o plantio das mudas, é uma das mais críticas do ciclo da cultura, pois a

mesma se encontra mais suscetível à interferências causadas por estresses bióticos e abióticos, dentre os quais pode-se destacar a deficiência de nutrientes no solo (Nambiar e Sands, 1993; Garau et al., 2008). Isto se torna mais relevante, dada a expansão da cultura pelo país para os mais diversos agroecossistemas, nos quais a baixa fertilidade é uma característica natural dos solos.

A deficiência nutricional afeta todo o metabolismo da planta, podendo levar à baixa sobrevivência inicial, menor tolerância a estresses bióticos e abióticos (Teixeira et al., 2006) e reduções expressivas na produtividade da floresta. Com isso, estudos que busquem alternativas para garantirem às mudas maior capacidade para superarem esse período crítico devem ser estimulados.

Alguns estudos sugerem que a aplicação do maturador etil-trinexapac em mudas de eucalipto pode ocasionar efeito positivo ao crescimento das plantas (Pires et al.; 2013; Correia e Villela, 2015). Esse fenômeno é conhecido como hormese, e consiste em um efeito estimulatório decorrente da aplicação de baixas doses de uma substância que seria tóxica em elevadas quantidades (Calabrese e Baldwin, 2002; Belz e Duke, 2014).

O etil-trinexapac é um maturador utilizado em espécies monocotiledôneas, sendo um acil-ciclohexanediona, e ocasiona redução no alongamento dos entrenós, diminuindo o efeito de acamamento recorrente nessas culturas (Caldas et al., 2009; Espindula et al., 2009; Nascimento et al., 2009). Apesar disso, como verificado em alguns trabalhos (Pires et al., 2013; Correia e Villela, 2015), não há efeito negativo deste produto em plantas de eucalipto.

Assim, com a hipótese de que o etil-trinexapac pode conferir efeito positivo ao eucalipto sob estresse nutricional, este trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de etil-trinexapac em duas épocas (antes do plantio; e depois do plantio) em mudas de *E. urophylla* sob deficiência nutricional.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos simultaneamente, em casa de vegetação, durante 81 dias após o plantio (DAP) das mudas de eucalipto, em vasos de 15 L previamente preenchidos com areia grossa. Durante os experimentos, os

valores médios de umidade relativa do ar foram de 61,4%, temperatura de 22,5 °C (máxima de 32,3 °C e mínima de 14 °C) e insolação de 247 horas mensais.

Foram utilizadas mudas comerciais de *Eucalyptus urophylla* (clone I-144) com 90 dias de idade, as quais apresentavam, em média, 37 cm de altura, 3,35 mm de diâmetro do caule e 12 folhas.

Duas épocas de aplicação de etil-trinexapac (Moddus®) foram avaliadas: antes do plantio (AP – Experimento 1) e depois do plantio (DP – Experimento 2). Para a época AP, as mudas de eucalipto, ainda acondicionadas em tubetes de 50 mL, foram pulverizadas com etil-trinexapac nas doses de 30 e 60 g i.a. ha⁻¹ (respectivamente 10 e 20% da dose comercial recomendada para cana-de-açúcar). Para isso, utilizou-se pulverizador costal, à pressão constante (CO₂), munido de barra com duas pontas TT 110.02, regulado para gasto de volume de calda de 200 L ha⁻¹. Na ocasião da aplicação, a temperatura do ar era de 27,3 °C com umidade relativa de 59,5%. Vinte e quatro horas após a aplicação do etil-trinexapac, todas as mudas foram plantadas nos vasos.

Para a época DP, a aplicação ocorreu aos 33 DAP, e as mesmas doses e metodologia de aplicação anteriormente descritas foram utilizadas. Nessa ocasião, a temperatura do ar foi de 25,2 °C e umidade relativa de 61,5%.

Em ambos experimentos, foi utilizado delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco repetições, e os tratamentos arranjados em esquema fatorial 3x4, sendo três doses de etil-trinexapac (0%, 10% e 20% da dose comercial) e quatro variações da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950), a saber: solução completa; ausência de N (-N); ausência de P (-P) e ausência de K (-K). Ao final do período experimental, a solução completa forneceu, por vaso: 9,44 g de Ca(NO₃)₂ 4H₂O, 4,04 g de KNO₃, 3,94 g de MgSO₄ 7H₂O e 1,08 g de KH₂PO₄; já a solução -N forneceu 0,98 g de MgSO₄ 7H₂O, 1,00 g de Ca(H₂PO₄)₂ H₂O, 13,9 g de K₂SO₄ e 2,75 g de CaSO₂ 2H₂O; a -P forneceu 14,1 g de Ca(NO₃)₂ 4H₂O, 3,94 g de MgSO₄ 7H₂O e 13,9 g de K₂SO₄; enquanto a solução -K forneceu 14,1 g de Ca(NO₃)₂ 4H₂O, 3,94 g de MgSO₄ 7H₂O e 0,1 g de Ca(H₂PO₄)₂ H₂O; além disso, para todas as soluções, também foi fornecido, por vaso, 4 mg de B, Mn e Fe-EDTA, 0,08 mg de Mo, 0,16 mg de Cu e 0,4 mg de Zn.

Inicialmente, para garantir a sobrevivência, todas as mudas foram irrigadas com a solução completa nas concentrações de 25% (aos 7, 9 e 11 DAP) e 50% até 21 DAP. Aos 23 DAP iniciou-se a aplicação das soluções propostas para cada tratamento. Os vasos foram irrigados diariamente até capacidade de campo, e aplicados 200 mL de cada solução nutritiva em dias alternados. As plantas foram mantidas sob essas condições nutritivas até os 81 DAP.

Na época DP, aos 36 DAP (três dias após a aplicação do etil-trinexapac), e aos 53 DAP na época AP, foram avaliadas, na terceira folha totalmente expandida, a taxa de assimilação líquida de CO₂, transpiração, concentração de CO₂ intercelular e condutância estomática, com um analisador de gás por infravermelho (IRGA mod. LI 6400, LiCor®). As condições de referência de trabalho adotadas para as avaliações das trocas gasosas foram: 19 mmol H₂O mol⁻¹, 398 µmol CO₂ mol⁻¹, temperatura da câmara fixada em 25 °C, a taxa de fluxo em 400 µmol s⁻¹, pressão atmosférica em 1000 KPa e o fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (quantum) em 1100 µmol m⁻² s⁻¹.

Nos dois experimentos, ao final do período experimental (81 DAP), foram determinados a altura das plantas (com régua graduada em mm) e o diâmetro do caule (utilizando-se paquímetro digital). Também foram avaliados, na terceira folha totalmente expandida de cada planta, o teor relativo de clorofila total (Falker®, mod. CFL 1030) e a taxa de assimilação líquida de CO₂, transpiração, concentração de CO₂ intercelular e condutância estomática, utilizando-se a mesma metodologia anteriormente descrita. Após as avaliações, as plantas foram cortadas em sua base e suas folhas destacadas para a determinação da área foliar (LiCor®, mod. LI 3100 A). As raízes foram lavadas e, assim como os caules e folhas, foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar (70 °C), por 96 horas, para a determinação da massa de matéria seca em balança eletrônica de precisão.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3.4. RESULTADOS

3.4.1. 1º Experimento: Aplicação Antes do Plantio – AP

Com exceção ao diâmetro do eucalipto, não houve efeito das doses de etil-trinexapac sobre as características avaliadas ao final do período experimental (Tabela 1). De maneira geral, observou-se padrão semelhante de resposta em altura, diâmetro, área foliar e matéria seca quanto às variações de solução nutritiva, em que a solução completa e com ausência de potássio (-K) proporcionaram os maiores valores, diferindo dos demais tratamentos. Os eucaliptos cultivados com deficiência de N (-N) obtiveram os menores valores, com reduções de 35,7% em altura, 46,8% em diâmetro e 85,4% em área foliar, em comparação à solução completa. A deficiência de P (-P) resultou em maior teor de clorofila total, superando em 59% o tratamento -N, o qual também diferiu dos demais tratamentos, que apresentaram comportamento intermediário (Tabela 1).

Para a relação raiz/parte aérea (Tabela 2), houve efeito positivo da aplicação de 20% de etil-trinexapac no tratamento -N. Ainda, este tratamento proporcionou maiores valores para essa característica em relação às demais soluções nutritivas em todas as doses testadas. Independentemente da dose, as plantas que receberam solução -N obtiveram as menores produções de matéria seca (MSF, MSPA e MST), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 2). Para a matéria seca total (MST), no tratamento -P, a dose de 10% de etil-trinexapac foi benéfica às plantas, igualando-as àquelas que receberam solução nutritiva completa (Tabela 2).

Para a transpiração, a aplicação de 10% do produto promoveu efeito benéfico em relação às plantas que não receberam o maturador (Tabela 3). Houve efeito da solução nutritiva sobre as características de trocas gasosas avaliadas aos 53 DAP, sendo que o comportamento da condutância estomática e da transpiração foi semelhante, em que sob -N foram observados os menores valores dessas características, diferindo das demais soluções nutritivas (Tabela 3). Em relação à concentração de CO₂ intercelular, o efeito foi oposto, em que as plantas cultivadas sob -N apresentaram maiores valores. Já para a taxa de assimilação de CO₂, a solução -P resultou em valor semelhante ao da solução completa, enquanto a solução -N proporcionou o menor valor, resultado que provavelmente está

diretamente relacionado à maior quantidade de carbono intercelular encontrado nesta condição (Tabela 3).

Ao final do período experimental (81 DAP), foi observado efeito da solução nutritiva para a taxa de transpiração nas plantas que receberam solução completa e -N, enquanto para o carbono interno houve o mesmo padrão de resposta da avaliação feita aos 53 DAP (Tabela 3).

Tabela 1. Efeito da aplicação de etil-trinexapac em mudas de *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144) cultivadas em diferentes soluções nutritivas, sobre a altura do eucalipto, diâmetro do caule, área foliar, relação raiz/parte aérea (Raiz/PA), teor relativo de clorofila total (Clorofila), matéria seca do caule (MSC), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) aos 81 dias após o plantio. Época de aplicação Antes do Plantio (AP).

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Área Foliar (cm ²)	Raiz/PA	Clorofila UR
Completa	86,9 A	10,1 A	3941,2 A	0,564	28,8 B
-N	55,8 C	5,37 C	573,1 C	1,243	21,5 C
-P	80,6 B	8,62 B	3467,1 B	0,568	34,2 A
-K	90,0 A	9,46 A	3820,1 A	0,494	29,5 B
0% Etil-trinexapac	77,3	8,51 AB	3027,8	0,716	28,1
10% Etil-trinexapac	78,9	8,03 B	2957,1	0,669	28,0
20% Etil-trinexapac	78,7	8,63 A	2866,1	0,768	29,4
F Nutrientes (N)	229,9**	135,5**	396,8**	306,3**	76,2**
F Etil-trinexapac (ET)	0,90 ^{ns}	4,10*	1,36 ^{ns}	8,16**	2,33 ^{ns}
F (N x ET)	1,78 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,50 ^{ns}	12,1**	1,40 ^{ns}
C.V. (%)	5,04	8,33	10,5	10,8	8,14
	MSC	MSF	MSPA	MSR	MST
	(g)				
Completa	16,5 A	21,8	38,6	21,7 A	60,3
-N	2,77 C	4,82	7,59	9,85 C	17,4
-P	12,2 B	19,7	31,9	18,9 B	50,6
-K	16,6 A	21,9	38,6	19,6 AB	57,7
0% Etil-trinexapac	11,8	17,4	29,3	17,4	46,7
10% Etil-trinexapac	11,7	17,2	29,1	17,2	46,4
20% Etil-trinexapac	12,5	16,6	29,1	17,8	46,4
F Nutrientes (N)	310,1**	389,9**	421,6**	57,1**	501,3**
F Etil-trinexapac (ET)	1,95 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,06 ^{ns}
F (N x ET)	1,37 ^{ns}	2,96*	2,32*	1,87 ^{ns}	7,52**
C.V. (%)	11,9	9,45	9,52	15,3	7,36

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valores significativos a 5% e 1% de probabilidade

pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2. Desdobramento da interação solução nutritiva x doses de etil-trinexapac para relação raiz/parte aérea (Raiz/PA), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144) submetido à aplicação de etil-trinexapac e cultivado em diferentes soluções nutritivas. Época de aplicação Antes do Plantio (AP).

Raiz/PA				
	0% Etil-trinexapac	10% Etil-trinexapac	20% Etil-trinexapac	F
Completa	0,524 Ba	0,554 BCa	0,615 Ba	1,75 ^{ns}
-N	1,205 Ab	1,057 Ac	1,468 Aa	35,6 ^{**}
-P	0,613 Ba	0,618 Ba	0,474 Cb	5,54 ^{**}
-K	0,520 Ba	0,446 Ca	0,517 BCa	1,45 ^{ns}
F	89,2 ^{**}	59,3 ^{**}	181,9 ^{**}	---
MSF (g)				
Completa	23,3 Aa	22,2 Aab	19,9 Bb	5,61 ^{**}
-N	5,14 Ca	4,88 Ba	4,44 Ca	0,24 ^{ns}
-P	19,0 Ba	21,0 Aa	19,1 Ba	2,44 ^{ns}
-K	22,2 Aa	20,8 Aa	22,8 Aa	2,08 ^{ns}
F	134,7 ^{**}	130,8 ^{**}	130,2 ^{**}	---
MSPA (g)				
Completa	39,9 Aa	39,0 Aa	36,9 Aa	1,52 ^{ns}
-N	7,97 Ca	7,59 Ca	7,22 Ca	0,09 ^{ns}
-P	30,7 Ba	33,7 Ba	31,4 Ba	1,62 ^{ns}
-K	38,6 Aab	36,2 ABb	41,0 Aa	3,77 ^{**}
F	141,5 ^{**}	136,4 ^{**}	148,2 ^{**}	---
MST (g)				
Completa	60,7 Aa	60,7 Aa	59,6 Aa	0,18 ^{ns}
-N	18,2 Ca	16,3 Ca	17,7 Ca	0,43 ^{ns}
-P	49,5 Bb	56,2 ABa	46,2 Bb	11,1 ^{**}
-K	58,4 Aa	52,3 Bb	62,3 Aa	10,8 ^{**}
F	163,6 ^{**}	176,1 ^{**}	176,6 ^{**}	---

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{**} = valores significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Efeito da aplicação de etil-trinexapac em mudas de *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144), cultivadas em diferentes soluções nutritivas, sobre a taxa de assimilação líquida (A), condutância estomática (g_s), concentração de CO_2 intercelular (C_i) e taxa de transpiração (E), aos 53 e 81 dias após o plantio. Época de aplicação Antes do Plantio (AP).

Tratamentos	53 dias após o plantio			
	A $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$	g_s $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$	C_i $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$
Completa	16,7 AB	0,776 A	309,3 B	10,9 A
-N	8,34 C	0,441 B	332,7 A	8,43 B
-P	17,7 A	0,736 A	310,1 B	10,4 A
-K	16,6 B	0,760 A	311,8 B	11,1 A
0% Etil-trinexapac	14,7 AB	0,690	316,6	9,76 B
10% Etil-trinexapac	14,4 B	0,679	317,9	10,7 A
20% Etil-trinexapac	15,3 A	0,665	313,4	10,2 AB
F Nutrientes (N)	243,3**	75,3**	45,7**	23,8**
F Etil-trinexapac (ET)	3,59*	0,60 ^{ns}	2,59 ^{ns}	4,58*
F (N x ET)	1,52 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,53 ^{ns}
C.V. (%)	7,30	10,4	2,03	9,57
Tratamentos	81 dias após o plantio			
	A $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$	g_s $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$	C_i $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$
Completa	15,4	0,825	332,4 B	7,77 A
-N	6,55	0,487	362,7 A	6,77 B
-P	13,2	0,615	337,9 B	6,99 AB
-K	15,1	0,776	334,3 B	7,38 AB
0% Etil-trinexapac	12,4	0,679	342,9	7,51
10% Etil-trinexapac	12,7	0,669	341,2	7,21
20% Etil-trinexapac	12,5	0,681	341,3	6,96
F Nutrientes (N)	249,7**	103,9**	33,6**	3,25*
F Etil-trinexapac (ET)	0,40 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,74 ^{ns}
F (N x ET)	2,43*	4,22**	0,60 ^{ns}	1,26 ^{ns}
C.V. (%)	8,06	8,69	2,75	13,1

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valores significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Sob solução completa, as plantas que receberam 10% de etil-trinexapac apresentaram maior taxa de assimilação líquida de CO_2 aos 81 DAP, em relação às plantas que não receberam aplicação, fazendo com que este tratamento diferisse significativamente dos tratamentos com -P e -K, fato que não foi observado nas doses 0% ou 20% de etil-trinexapac (Tabela 4). Para a condutância estomática, quando em -P, a aplicação de 20% proporcionou maiores valores, além disso,

independentemente da dose do maturador, os valores não diferiram entre as plantas cultivadas em solução completa e -K, que superaram as cultivadas em -P e -N (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento da interação solução nutritiva x doses de etil-trinexapac para taxa de assimilação líquida (A) e condutância estomática (g_s) em *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144) submetido à aplicação de etil-trinexapac e cultivado em diferentes soluções nutritivas. Época de aplicação Antes do Plantio (AP).

A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$) – 81 DAP				
	0% Etil-trinexapac	10% Etil-trinexapac	20% Etil-trinexapac	F
Completa	14,8 ABb	16,4 Aa	15,1 Aab	3,58**
-N	6,12 Ca	7,23 Ca	6,31 Ba	1,70 ^{ns}
-P	13,2 Ba	12,8 Ba	13,6 Aa	0,79 ^{ns}
-K	15,6 Aa	14,5 Ba	15,2 Aa	1,63 ^{ns}
F	91,4**	76,1**	87,1**	---
g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$) – 81 DAP				
Completa	0,792 Aa	0,860 Aa	0,824 Aa	1,65 ^{ns}
-N	0,535 Ba	0,470 Ba	0,455 Ca	2,59 ^{ns}
-P	0,602 Bb	0,549 Bb	0,694 Ba	7,84**
-K	0,777 Aa	0,799 Aa	0,752 Aa	0,79 ^{ns}
F	23,7**	51,7**	36,9**	---

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** = valores significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. DAP = Dias após o plantio do eucalipto.

3.4.2. 2º Experimento: Aplicação Depois do Plantio – DP

A aplicação de 20% de etil-trinexapac proporcionou efeito benéfico sobre a altura em relação às plantas não tratadas. Quanto às soluções nutritivas, o tratamento -N foi 39,4% menor do que as plantas que receberam solução completa, enquanto o tratamento -P igualou-se ao -K e solução completa, fato que não ocorreu no primeiro experimento (Tabela 5). Para o diâmetro, o tratamento -N, com o menor valor, diferiu dos demais, enquanto o -K (com o maior valor) diferiu do tratamento -P (Tabela 5).

Em relação às matérias secas, ambas as doses proporcionaram efeito benéfico para MSPA e MST. Para MSC e MSF, somente a aplicação de 20% de etil-

trinexapac apresentou efeito positivo para as plantas. Quanto à MSR, não foi observada diferença entre os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito da aplicação de etil-trinexapac em mudas de *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144), cultivadas em diferentes soluções nutritivas, sobre a altura do eucalipto, diâmetro do caule, área foliar, relação raiz/parte aérea (Raiz/PA), teor relativo de clorofila total (Clorofila), matéria seca do caule (MSC), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) aos 81 dias após o plantio. Época de aplicação Depois do Plantio (DP).

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Área Foliar (cm ²)	Raiz/PA	Clorofila UR
Completa	89,4 A	9,28 AB	3096,1	0,607	29,4
-N	54,1 B	4,97 C	406,9	1,338	20,2
-P	83,1 A	8,49 B	2801,9	0,587	33,3
-K	88,8 A	9,50 A	2939,6	0,564	31,6
0% Etil-trinexapac	75,5 B	8,10	2210,2	0,758	29,1
10% Etil-trinexapac	79,3 AB	8,10	2281,8	0,842	28,4
20% Etil-trinexapac	81,1 A	7,98	2441,3	0,723	29,1
F Nutrientes (N)	90,5**	102,0**	423,1**	385,9**	222,7**
F Etil-trinexapac (ET)	4,32*	0,16 ^{ns}	4,86*	13,6**	1,36 ^{ns}
F (N x ET)	1,06 ^{ns}	1,37 ^{ns}	3,13*	9,58**	4,87**
C.V. (%)	8,64	10,0	10,3	9,57	5,30
	MSC	MSF	MSPA	MSR	MST
	(g)				
Completa	16,2 A	21,3 A	37,8 A	22,9 A	60,8 A
-N	2,77 C	4,68 B	7,45 C	9,59 C	16,9 C
-P	12,8 B	21,2 A	34,1 B	19,9 B	54,5 B
-K	16,4 A	21,2 A	37,7 A	21,3 AB	59,1 A
0% Etil-trinexapac	11,5 B	16,1 B	27,6 B	17,7	45,4 B
10% Etil-trinexapac	12,2 AB	17,2 AB	29,6 A	19,2	49,4 A
20% Etil-trinexapac	12,5 A	18,1 A	30,5 A	18,3	48,6 A
F Nutrientes (N)	513,1**	409,5**	659,5**	86,7**	558,6**
F Etil-trinexapac (ET)	4,15*	7,39**	8,99*	1,89 ^{ns}	7,86**
F (N x ET)	1,55 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,32 ^{ns}
C.V. (%)	9,09	9,27	7,54	13,5	7,11

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valores significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação às soluções nutritivas, houve comportamento semelhante para a MSC, MSPA e MST, em que as soluções completa e -K proporcionaram os maiores valores, seguidos do -P, e do tratamento -N, o qual obteve os menores valores

(Tabela 5). Para a MSF, as plantas que receberam solução –P conseguiram compensar a perda nas características anteriormente citadas, igualando-se às plantas que receberam solução completa e –K. Ressalta-se que as plantas cultivadas com –N obtiveram MSF 77,9% menor que a média dos demais tratamentos (Tabela 5).

Para a área foliar, a aplicação do maturador nas plantas tratadas com solução –P, proporcionou acréscimos de 19,4% e 28,5% para a menor e maior dose, respectivamente, em relação às plantas não tratadas, fazendo com que se igualassem aos tratamentos –K e solução completa (Tabela 6). As plantas que receberam solução –N apresentaram menor área foliar que as demais, independentemente da dose (Tabela 6).

Tabela 6. Desdobramento da interação solução nutritiva x doses de etil-trinexapac para área foliar, relação raiz/parte aérea (Raiz/PA) e teor relativo de clorofila total (Clorofila) de *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144) submetido à aplicação de etil-trinexapac e cultivado em diferentes soluções nutritivas. Época de aplicação Depois do Plantio (DP).

Área Foliar (cm²)				
	0% Etil-trinexapac	10% Etil-trinexapac	20% Etil-trinexapac	F
Completa	2998,7 Aa	3140,6 Aa	3148,9 Aa	0,62 ^{ns}
-N	390,5 Ca	361,8 Ba	468,4 Ba	0,26 ^{ns}
-P	2415,4 Bb	2885,3 Aa	3105,1 Aa	10,7 ^{**}
-K	3036,2 Aa	2739,5 Aa	3043,1 Aa	2,60 ^{ns}
F	134,6 ^{**}	144,4 ^{**}	150,2 ^{**}	---
Raiz/PA				
Completa	0,634 Ba	0,596 Ba	0,592 Ba	0,48 ^{ns}
-N	1,214 Ab	1,579 Aa	1,221 Ab	39,6 ^{**}
-P	0,620 Ba	0,592 Ba	0,550 Ba	1,12 ^{ns}
-K	0,563 Ba	0,600 Ba	0,528 Ba	1,18 ^{ns}
F	84,9 ^{**}	219,3 ^{**}	100,8 ^{**}	---
Clorofila (UR)				
Completa	28,8 Ba	29,2 Ba	30,2 Ba	1,00 ^{ns}
-N	21,7 Ca	18,4 Cb	20,4 Cab	6,18 ^{**}
-P	33,5 Aa	33,0 Aa	33,6 Aa	0,21 ^{ns}
-K	29,3 Bb	33,2 Aa	32,2 ABa	8,61 ^{**}
F	51,1 ^{**}	104,4 ^{**}	76,8 ^{**}	---

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** = valores significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para a relação raiz/parte aérea, as plantas do tratamento –N que receberam 10% do produto apresentaram maiores valores que as demais (Tabela 6). Independentemente da aplicação do etil-trinexapac, as plantas cultivadas com solução –N apresentaram maior relação raiz/parte aérea que as cultivadas nas demais soluções (Tabela 6).

Para o teor de clorofila total, observou-se efeito positivo de ambas as doses para o tratamento –K, fazendo com que essas plantas se igulassem ao tratamento –P (Tabela 6). Independentemente da dose de etil-trinexapac, as plantas do tratamento –N foram as que apresentaram menor quantidade de clorofila (Tabela 6).

Aos 36 DAP, observou-se efeito positivo do produto na taxa de assimilação líquida de CO₂, com aumento de até 13,3% em relação à testemunha (Tabela 7). Para a condutância estomática e taxa de assimilação de CO₂, as plantas irrigadas com solução –N apresentaram os menores valores, diferindo das plantas cultivadas nas demais soluções (Tabela 7).

Ao final do período experimental (81 DAP), ao contrário do observado na primeira avaliação, não houve efeito benéfico da maior dose do maturador sobre a taxa de assimilação de CO₂ (Tabela 7). Quanto às soluções nutritivas, o tratamento –N proporcionou taxa de assimilação de CO₂ 63,3% menor que o tratamento –K, que obteve o maior valor. Para o carbono interno, a resposta foi oposta, e o tratamento –N obteve maior valor que os demais. Já a transpiração foi maior para as plantas tratadas com a solução completa, igualando-se ao –K; novamente o tratamento –N foi o que proporcionou a menor taxa de transpiração (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito da aplicação de etil-trinexapac em mudas de *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144), cultivadas em diferentes soluções nutritivas, sobre a taxa de assimilação líquida (A), condutância estomática (g_s), concentração de CO_2 intercelular (C_i) e taxa de transpiração (E), aos 36 e 81 dias após o plantio. Época de aplicação Depois do Plantio (DP).

36 dias após o plantio				
Tratamentos	A	g_s	C_i	E
	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$
Completa	17,8 A	0,729 A	301,6	10,4
-N	11,9 B	0,486 B	305,3	7,93
-P	18,6 A	0,708 A	297,5	10,0
-K	18,6 A	0,739 A	304,8	10,0
0% Etil-trinexapac	15,7 C	0,630	301,2	8,95
10% Etil-trinexapac	16,6 B	0,695	305,2	10,0
20% Etil-trinexapac	17,8 A	0,671	300,5	9,83
F Nutrientes (N)	108,3**	26,2**	1,07 ^{ns}	15,7**
F Etil-trinexapac (ET)	15,1**	2,55 ^{ns}	0,73 ^{ns}	5,58**
F (N x ET)	1,45 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,61 ^{ns}	2,90*
C.V. (%)	7,24	13,7	4,43	11,5
81 dias após o plantio				
Completa	14,9 A	0,781	312,9 BC	9,66 A
-N	5,53 B	0,412	334,8 A	7,27 C
-P	14,8 A	0,655	308,6 C	8,60 B
-K	15,1 A	0,751	316,4 B	9,30 AB
0% Etil-trinexapac	13,3 A	0,671	316,2	8,48
10% Etil-trinexapac	12,4 AB	0,629	317,2	8,61
20% Etil-trinexapac	12,1 B	0,649	321,1	9,04
F Nutrientes (N)	236,7**	104,9**	32,5**	18,1**
F Etil-trinexapac (ET)	5,75**	2,15 ^{ns}	2,13 ^{ns}	1,84 ^{ns}
F (N x ET)	1,98 ^{ns}	4,31**	0,99 ^{ns}	1,73 ^{ns}
C.V. (%)	9,41	9,71	2,45	11,0

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ** = valores significativos a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Houve efeito benéfico do produto para a taxa de transpiração das plantas irrigadas com solução –N, independentemente da dose do maturador, o que fez com que estas não diferissem das plantas cultivadas nas outras soluções nutritivas na dose de 10% do produto (Tabela 8). As plantas cultivadas com –N apresentaram menores valores de condutância estomática, diferindo das cultivadas nas demais soluções nutritivas (Tabela 8).

Tabela 8. Desdobramento da interação solução nutritiva x doses de etil-trinexapac para taxa de transpiração (E) e condutância estomática (g_s) em *Eucalyptus urophylla* (Clone I-144) submetido à aplicação de etil-trinexapac e cultivado em diferentes soluções nutritivas. Época de aplicação Depois do Plantio (DP).

E (mmol H₂O m⁻² s⁻²) – 36 DAP				
	0% Etil-trinexapac	10% Etil-trinexapac	20% Etil-trinexapac	F
Completa	9,86 Aa	10,1 Aa	11,3 Aa	2,49 ^{ns}
-N	6,33 Bb	9,27 Aa	8,20 Ba	9,00 ^{**}
-P	10,1 Aa	9,88 Aa	10,2 Aa	0,12 ^{ns}
-K	9,50 Aa	10,9 Aa	9,61 ABa	2,68 ^{ns}
F	12,6 ^{**}	2,00 ^{ns}	6,88 ^{**}	---
g_s (mol H₂O m⁻² s⁻²) – 81 DAP				
Completa	0,800 Aa	0,769 Aa	0,773 Aa	0,36 ^{ns}
-N	0,452 Ca	0,303 Bb	0,482 Ca	11,4 ^{**}
-P	0,641 Ba	0,688 Aa	0,635 Ba	1,04 ^{ns}
-K	0,790 Aa	0,757 Aa	0,706 ABa	2,19 ^{ns}
F	33,2 ^{**}	60,8 ^{**}	19,5 ^{**}	---

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** = valores significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} = valor não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. DAP = dias após o plantio do eucalipto.

3.5. DISCUSSÃO

As reduções das características observadas nas plantas cultivadas em solução com algum nutriente ausente, se deve ao fato de os nutrientes serem essenciais ao metabolismo das células (Taiz e Zeiger, 2013). De maneira geral, observou-se que apenas o tratamento –K não diferiu da solução completa, o que provavelmente se deve ao fato de que a adubação realizada no processo de produção das mudas (anteriormente ao plantio) tenha suprido a necessidade deste nutriente durante o período experimental. Ainda, deve-se ressaltar que o eucalipto apresenta baixa exigência de K na fase inicial de crescimento, sendo mais requerido à medida que a floresta cresce (Barros et al., 1990). Brendolan et al. (2000) encontraram resultados semelhantes para *E. grandis*, porém observaram que o tratamento –P não apresentou diferença significativa para as soluções completa e –K. Apesar disso, deve-se ressaltar que os autores conduziram o experimento por 60 DAP, ao passo que no presente estudo os eucaliptos foram cultivados durante 81

DAP. Assim, é provável que o período sob o qual as plantas ficam sob restrição nutricional tenha influência na diferenciação dos resultados dos tratamentos.

Independentemente da época de aplicação do etil-trinexapac, o tratamento –N foi o que proporcionou os menores valores para, praticamente, todas as características avaliadas. Outros autores também observaram redução no crescimento e matéria seca de *E. grandis* (Brendolan et al., 2000), *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* (Nguyen et al., 2003) e *E. urophylla* (Ferreira et al., 2015) em condições de deficiência de nitrogênio. Esses resultados se devem ao fato de o nitrogênio ser um elemento mineral que as plantas precisam em maiores quantidades, uma vez que é constituinte de diversos componentes da célula vegetal, como ácidos nucleicos, clorofila e aminoácidos. Assim, a deficiência deste nutriente inibe rapidamente o crescimento das plantas (Taiz e Zeiger, 2013).

Os maiores valores de relação raiz/parte aérea encontrados nas plantas cultivadas em solução –N, se justificam pelo menor crescimento da parte aérea e proporcional aumento no crescimento da raiz, resultado da maior alocação de fotoassimilados para esse órgão, resposta que também está associada com uma alteração nos níveis dos hormônios, havendo uma diminuição da giberelina e aumento na quantidade de ácido abscísico (Marschner, 1995; Palmer et al., 1996). O maior investimento em crescimento da raiz em condições de deficiência nutricional está relacionado a uma tentativa, por parte da planta, de aumentar a exploração de nutrientes no solo e sua consequente absorção, sendo o aumento da relação raiz/parte aérea também observada por Ferreira et al. (2015) em mudas de *E. urophylla* (clone I-144) sob restrição de nitrogênio. Isso ocorre pois o nitrogênio modula a produção de citocinina, sendo que a deficiência deste nutriente implica em baixa produção desse hormônio (Sakakibara, 2006). Como resultado, plantas com deficiência de citocinina desenvolvem menores partes aéreas, mas com maiores crescimento em raízes, fazendo com que haja maior relação raiz/parte aérea (Werner et al., 2001).

Além disso, o menor crescimento das plantas cultivadas com deficiência deste nutriente ocorreu em razão do nitrogênio também apresentar grande influência na capacidade fotossintética do eucalipto, podendo estar relacionado a diversos fatores deste processo, tais como: redução na quantidade de tecido paliçádico da folha

(Kozlowski e Pallardy, 1997), quantidade de clorofila (Tabelas 1 e 5), ação da RUBISCO (ribulose-1,5-bisfosfato) (Correia et al., 2005) e também na condutância estomática, taxa de assimilação líquida de CO₂ e transpiração (Tabelas 3 e 7), bem como ressaltados no trabalho de Nguyen et al. (2003).

Com relação à quantidade de CO₂ intercelular, que foi maior para as plantas mantidas sem nitrogênio (Tabelas 3 e 7), é possível que isto se deva ao fato de que, como os estômatos estavam fechados e as plantas apresentavam baixa taxa de assimilação líquida de CO₂ (Tabelas 3 e 7), as moléculas de CO₂ ficaram armazenadas no mesófilo foliar sem serem utilizadas, não possibilitando sua evasão (devido ao fechamento estomático), resultando, assim, em maiores valores de CO₂ interno. Resultados semelhantes também foram observados por Nguyen et al. (2003) em mudas de *E. camaldulensis*.

Quanto aos resultados observados para as plantas cultivadas com solução – P, Warren (2011) observou que a deficiência de fósforo causa modificações em fatores bioquímicos do processo fotossintético de *E. globulus* (como atividade da RUBISCO, regeneração da RuBP e utilização de trifosfato) e diminuição na quantidade da maioria dos aminoácidos (com exceção à arginina e glutamina), limitando, desta maneira, o crescimento do eucalipto. Assim, é provável que seja essa a causa da diferença em matéria seca encontrada entre os tratamentos –P e solução completa, em ambas as épocas de aplicação do maturador. No entanto, no presente experimento observou-se que não houve diferença significativa para a taxa de assimilação líquida de CO₂ entre os tratamentos anteriormente citados (Tabelas 3 e 7), o que pode estar relacionado à elevada quantidade de clorofila nas folhas (Tabelas 1 e 5), ou à ação do etil-trinexapac no metabolismo da planta. Nesse sentido, deve-se ressaltar que quando houve desdobramento das variáveis MST (para AP) e área foliar (para DP), foi observado que a aplicação de etil-trinexapac causou efeito positivo às plantas com deficiência de fósforo, com ganhos de 13,5% em MST, e até 28,5% em área foliar. Assim, mais estudos nesse sentido devam ser realizados, uma vez que o conhecimento desta resposta fisiológica pode resultar em ganhos de produtividade em condições de campo onde há restrição de fósforo no solo.

Nesse sentido, deve-se ressaltar que o desenvolvimento inicial do eucalipto (do plantio até cerca de um ano de idade) é o período no qual a planta está mais suscetível às interferências impostas pelos fatores estressantes do meio (Nambiar e Sands, 1993; Garau et al., 2008). Sendo assim, os ganhos proporcionados pela pulverização do produto podem ser uma alternativa viável ao produtor para que a planta possa lidar com as condições adversas do ambiente durante a fase de crescimento inicial.

Diversos autores definem hormese como sendo um efeito estimulatório decorrente da aplicação de baixas doses de uma substância que seria tóxica em elevadas quantidades (Calabrese e Baldwin, 2002; Belz e Duke, 2014). Esse efeito já foi observado em várias espécies vegetais, incluindo *Eucalyptus urograndis* e *E. grandis* (Velini et al., 2008; Pires et al., 2013; Correia e Villela, 2015).

Na época AP, observou-se efeito positivo da aplicação de 20% de etil-trinexapac na relação raiz/parte aérea (tratamento –N); e para MST no tratamento –P, observou-se aumento de 13,5% em relação às plantas que não receberam o maturador, com a aplicação de 10% de produto (Tabela 2). Quanto às trocas gasosas ao final do período experimental, houve aumento da fotossíntese para a solução completa, e da condutância para o tratamento –P na dose de 20% do maturador (Tabela 4). Apesar disso, esses ganhos não foram refletidos em aumentos nas características de crescimento e matéria seca do eucalipto (Tabela 1). Belz e Duke (2014) elucidam que vários fatores podem influenciar a ocorrência de hormese resultante da aplicação de produtos químicos, como por exemplo: espécie, clone ou cultivar utilizado (Dusky et al., 1986; McDonald et al., 2001), estágio de desenvolvimento da planta (Carvalho et al., 2013), condições ambientais (Belz e Cedergreen, 2010) e o ponto final de avaliação (Cedergreen et al., 2009; Belz et al., 2011), ou seja, quanto tempo após a exposição ao produto é feita a avaliação. Assim, torna-se compreensível a diferença observada entre os resultados obtidos no presente trabalho e dos relatados por Pires et al. (2013), os quais encontraram ganhos de 19% em área foliar de *E. urograndis* pulverizados com 10% da dose comercial de etil-trinexapac antes do plantio das mudas (metodologia semelhante à época AP). Ainda, deve-se ressaltar que os autores conduziram o experimento por 42 DAP, enquanto no presente trabalho os eucaliptos foram cultivados por 81 DAP.

Na época DP, houve efeito positivo para a maioria das variáveis de matéria seca do eucalipto (Tabela 5), sendo observados aumentos na MSPA e MST, com ganhos em relação às testemunhas de, respectivamente, 10,5% (para a maior dose) e 8,81% (menor dose). A altura e a área foliar também obtiveram incrementos significativos em relação à testemunha de 7,41% e 28,5% (para o tratamento -P), respectivamente, para a aplicação de 20% do maturador (Tabelas 5 e 6). A ocorrência do efeito benéfico do produto na maioria das características biométricas dos eucaliptos expostos à época DP, e que não ocorreu na época AP, provavelmente está relacionada ao fato de as plantas do DP já se encontrarem com o sistema radicular totalmente estabelecido no momento da aplicação (ocorrida aos 33 DAP), o que deve ter ajudado na degradação do etil-trinexapac e consequente metabolização de seus subprodutos, o que resultou, aos três dias após a pulverização do maturador, em aumento na taxa de assimilação líquida de CO₂ (Tabela 7), podendo ser esta a justificativa para o aumento das características observadas. Esses resultados dão embasamento à hipótese de que o etil-trinexapac até 20% da dose empregada como maturador não causa efeito deletério sobre as características fotossintéticas do eucalipto, a qual foi sugerida por Pires et al. (2013). Além disso, os resultados também fundamentam a afirmativa de que a ocorrência de efeito hormético depende da época de aplicação do produto (Belz e Duke, 2014).

Nesse sentido, vale ressaltar o trabalho de Cedergreen (2008), que ao aplicar baixas doses de glifosato em cevada em estágio de duas folhas, não verificou ganho de produtividade. Já Cedergreen et al. (2009) aplicaram 2,5-20 g e.a. ha⁻¹ de glifosato em estágio de enchimento de grãos e observaram ganhos de 12-15% na produtividade da cevada.

Correia e Villela (2015) também observaram efeito hormético em *E. urograndis* aos 45 dias após pulverizarem 200 g i.a. ha⁻¹ de etil-trinexapac. Nessa ocasião, houve aumento de 29,2% no diâmetro da copa das plantas de eucalipto. Além disso, deve-se destacar que a aplicação do produto ocorreu 73 dias após o plantio das mudas, ou seja, época de aplicação semelhante ao DP do presente estudo, mas as mudas se encontravam com idade mais avançada. Assim, a diferença entre os trabalhos é decorrente do fato de que a hormese também está relacionada à idade das plantas, de maneira que plantas mais velhas precisam de

maiores doses enquanto plantas mais jovens necessitam de doses menores do mesmo produto (Belz e Duke, 2014). Como observado por Velini et al. (2008), que obtiveram máxima resposta hormética de *Commelina benghalensis* com duas folhas expandidas, utilizando uma dose cinco vezes menor que a utilizada em plantas com quatro folhas expandidas. Nessa ocasião, as plantas mais jovens apresentaram crescimento 98% maior que da testemunha.

O etil-trinexapac é uma acil-ciclohexanediona relacionado à inativação da enzima GA₂₀ 3β-hydroxilase, no entanto, não há efeito negativo deste produto em plantas de eucalipto (Pires et al., 2013; Correia e Villela, 2015). A atuação deste maturador ocorre devido à redução do nível de giberelinas ativas (principalmente GA₁) decorrente da competição entre o etil-trinexapac e o 2-oxogluterato pelo co-substrato Fe⁺²/ascorbato-dependente dioxigenase (Adams et al., 1992).

Os processos de efeito hormético em resposta à aplicação de etil-trinexapac ainda não foram esclarecidos, mas é provável que estejam relacionados a diversas etapas de sinalização e respostas fisiológicas na planta, devido ao fato desta molécula modular a produção da giberelina. Assim, os resultados encontrados no presente estudo, em que com deficiência de fósforo o maturador proporciona ganhos de 28,5% em área foliar (DP) e 13,5% em MST (AP), podem prover informações importantes para futuros trabalhos que objetivem compreender o processo hormético e, com isso, possibilitar aumentos de produtividade em um futuro próximo, principalmente no cultivo de culturas em condições não ideais.

3.6. CONCLUSÃO

Conclui-se que as plantas de eucalipto cultivadas com deficiência de potássio durante 58 dias, não diferiram das cultivadas com solução completa, independentemente da aplicação de etil-trinexapac. O tratamento com deficiência de nitrogênio afetou negativamente o crescimento do eucalipto, seguido pelo tratamento com deficiência de fósforo.

Em condição de deficiência de fósforo, a aplicação de etil-trinexapac teve efeito positivo para a matéria seca total e área foliar, quando as épocas de aplicação foram “antes do plantio” e “depois do plantio”, respectivamente.

3.7. REFERÊNCIAS

- Adams R., Kerber E., Pfister K., Weiler W. Studies on the action of the new growth retardant CGA 163935 (cimectacarb). In: Karsen C.M., Van Loon L.C., Vreugdenhil D., editors. **Progress in plant growth regulation**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1992. p.818-827.
- Barros N.F., Novais R.F., Neves J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: Barros N.F., Novais R.F., editores. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- Belz R.G. et al. Herbicide hormesis – can it be useful in crop production? **Weed Res.** 2011;51:321–332.
- Belz R.G., Cedergreen N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environ Exp Bot.** 2010;69:293–301.
- Belz R.G., Duke S.O. Herbicides and plant hormesis. **Pest Manag Sci.** 2014;70:698-707.
- Brendolan R.A. et al. Efeitos da nutrição mineral na competição inter e intraespecífica de *Eucalyptus grandis* e *Brachiaria decumbens*: 1 - crescimento. **Sci For.** 2000;58:49-57.
- Calabrese E.J., Baldwin L.A. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. **Trends Pharmacol Sci.** 2002;7:323-331.
- Caldas L.S. et al. Growth-active gibberellins overcome the very slow shoot growth of *Hancornia speciosa*, an important fruit tree from the Brazilian “Cerrado”. **Trees.** 2009;23:1229-1235.
- Carvalho L.B. et al. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Ann Braz Acad Sci.** 2013;85:813–821.
- Cedergreen N. et al. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crop Res.** 2009;114:54–57.
- Cedergreen N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environ Pollut.** 2008;156:1099–1104.
- Correia C.M. et al. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. **Eur J Agron.** 2005;22:337-347.
- Correia N., Villela G.B. Trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl selectivity to young eucalyptus plants. **Planta Daninha.** 2015;33:259-266.

- Dusky J.A. et al. Response of eight sugarcane cultivars to glyphosine and glyphosate ripeners. **J Plant Growth Regul.** 1986;4:225–235.
- Espindula M.C. et al. Utilização de redutores de crescimento em trigo. **Planta Daninha.** 2009;27:379-387.
- Ferreira E.V.O. et al. Differential behavior of young eucalyptus clones in response to nitrogen supply. **R. Bras. Ci. Solo.** 2015;39:809-820.
- Garau A.M. et al. Water stress tolerance in *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. maidenii (F. Muell.) saplings induced by water restrictions imposed by weeds. **Forest Ecol Manag.** 2008;255:2811-2819.
- Hoagland D.R., Arnon D.I. **The water-culture method for growing plants without soil.** California Agricultural Experiment Station, Circular 347. 1950. 31p.
- Ibá – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual de 2016.** Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf Acesso em: 10 de março de 2017.
- Kozlowski T.T., Pallardy G.S. **Physiology of woody plants.** California: Academic, 1997. 411p.
- Marschner H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1995.
- McDonald L. et al. The effect of ripeners on the CCS of 47 sugarcane varieties in the burdekin. **Proc Conf Aust Soc Sugar Cane Technol.** 2001;23:102–108.
- Nambiar E., Sands R. Competition for water and nutrients in forests. **Can. J. Forest Res.** 1993;23:1955-1968.
- Nascimento V. et al. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia.** 2009; 68:921-929.
- Nguyen T.N. et al. Effect of nitrogen deficiency on biomass production, photosynthesis, carbon partitioning, and nitrogen nutrition status of *Melaleuca* and *Eucalyptus* species. **Soil Sci Plant Nutr.** 2003;49:99-109.
- Palmer S.J. et al. Control of leaf expansion in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by nitrogen nutrition. **J Exp Bot.** 1996;47:359–368.
- Pereira F.C.M. et al. Interaction between weed management and covering fertilization in the initial growth of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. **Rev Árvore.** 2012;36: 941-949.
- Pires R.N. et al. Effects of the simulated drift of ripeners on *Eucalyptus urograndis*. **J Agr Sci.** 2013;5:78-86.

Sakakibara H. Cytokinins: Activity, Biosynthesis, and Translocation. **Annu. Rev. Plant Biol.** 2006;57:431-449.

Stape J. et al. Water use, water limitation, and water use efficiency in a eucalyptus plantation. **Bosque.** 2004;25:35-41.

Taiz L., Zeiger E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

Teixeira P.C. et al. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de eucalipto em função da adubação potássica e água do solo. **R. Ceres.** 2006;53:662-671.

Velini E.D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Manag Sci.** 2008;64:489-496.

Warren C. R. How does P affect photosynthesis and metabolite profiles of *Eucalyptus globulus*? **Tree Physiol.** 2011;31:727–739.

Werner T, Motyka V, Strnad M, Schmulling T. Regulation of plant growth by cytokinin. **Proc Natl Acad Sci.** 2001;98:10487-10492.