

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO SILVICULTURAL E FISIOLÓGICO DE
CLONES DE *Eucalyptus* sp. SOB DUAS CONDIÇÕES
HÍDRICAS EM CAMPO.**

João Pedro Peixoto Fernandes

Engenheiro Florestal

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO SILVICULTURAL E FISIOLÓGICO DE
CLONES DE *Eucalyptus* sp. SOB DUAS CONDIÇÕES
HÍDRICAS EM CAMPO**

João Pedro Peixoto Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula

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 (Genética e Melhoramento de Plantas).

2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOÃO PEDRO PEIXOTO FERNANDES – filho de Antônia Delza de Fátima Fernandes e Edilson Fernandes da Silva nasceu em 07 de abril de 1992, natural de Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte. Graduado no ano de 2018 em Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, Mossoró – RN. Foi bolsista de Iniciação científica PIBIC/CNPq no período 2014 a 2017 e PICI/UFERSA de 2017 a 2018. Em agosto de 2018 ingressou no curso de Pós-graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), no nível de mestrado, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (UNESP/FCAV), sendo bolsista CAPES, tendo como orientador o Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula.

“There's no way around grief and loss:
you can dodge all you want, but
sooner or later you just have to go into
it, through it, and, hopefully, come out
the other side. The world you find
there will never be the same as the
world you left.”

Johnny Cash

Dedico

Aos meus Pais, Antônia Delza de Fátima Fernandes e Edilson Fernandes da Silva, pelo apoio incondicional.

Ofereço

À Edicleide Macedo da Silva, que junto com Macarena me fazem encontrar felicidade até mesmo em dias difíceis.

F363d

Fernandes, João Pedro Peixoto

Desempenho silvicultural e fisiológico de clones de *Eucalyptus* sp. sob duas condições hídricas em campo /

João Pedro Peixoto Fernandes. -- Jaboticabal, 2021

35 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Rinaldo Cesar de Paula

1. Déficit hídrico. 2. Fotossíntese. 3. Parâmetros genéticos. 4.
Adaptabilidade. 5. Estabilidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESEMPENHO SILVICULTURAL E FISIOLÓGICO DE CLONOS DE *Eucalyptus* sp. SOB DUAS CONDIÇÕES HÍDRICAS EM CAMPO

AUTOR: JOÃO PEDRO PEIXOTO FERNANDES

ORIENTADOR: RINALDO CESAR DE PAULA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RINALDO CESAR DE PAULA (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Dr. MARCIO JOSE DE ARAÚJO (Participação Virtual)
Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) / Piracicaba/SP


Pesquisador Dr. PAULO HENRIQUE MULLER DA SILVA (Participação Virtual)
Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) / Piracicaba/SP

Jaboticabal, 22 de fevereiro de 2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, por organizar o Universo maravilhosamente para evolução da vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento - 001.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (UNESP/FCAV) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), pelo conhecimento e oportunidade para evolução da minha formação acadêmica.

Aos meus pais, Antônia Delza de Fátima Fernandes e Edilson Fernandes da Silva, por sempre estarem ao meu lado e por toda a dedicação.

A companheira da minha vida Edicleide Macedo da Silva, por me apoiar, cuidar, confiar e incentivar em todos os momentos e por toda sua dedicação em todas as etapas da realização desse trabalho,

A meu orientador, Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula, pela ajuda e orientação no trabalho, pelos ensinamentos e pelo exemplo de profissionalismo.

Aos colegas do Laboratório de Sementes e Melhoramento Florestal, William, João Vitor, Robson, Márcio, Tamara, Bruna, Patrícia, Lígia, Ygor, Matheus, Wagner e Taty pelo convívio, parceria nas pesquisas e nos momentos de descontração.

Aos funcionários do Departamento de Ciências da Produção Agrícola Unesp/FCAV, em especial aos do setor do Horto Florestal, Roberto e Adevair pelo apoio e ajuda na condução do experimento, e pela amizade.

Aos professores da Unesp/FCAV, aos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), pela oportunidade de compartilhar seus conhecimentos que contribuíram para meu crescimento profissional.

A Profa. Dra. Rita de Cássia Panizzi, pelos ensinamentos, sua amizade e por ser essa pessoa de espírito iluminado.

Aos amigos que Unesp me presenteou William, Daniel, Robson e João Vitor pelos momentos compartilhados e pela incrível oportunidade de conhecer vocês.

Obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Cultura do eucalipto no Brasil	2
2.2. Estresse hídrico na cultura do eucalipto	4
2.3. Melhoramento genético de eucalipto	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Material genético.....	7
3.2. Condução Experimental.....	8
3.3. Avaliações.....	8
3.4. Delineamentos Experimentais.....	10
3.5. Análises Estatísticas	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÕES.....	19
6. REFERÊNCIAS.....	19

DESEMPENHO SILVICULTURAL E FISIOLÓGICO DE CLONES DE *Eucalyptus* SP. SOB DUAS CONDIÇÕES HÍDRICAS EM CAMPO

RESUMO - O Brasil é um dos países com a maior área de floresta plantada do mundo, e o gênero *Eucalyptus* no setor florestal brasileiro. Mesmo considerando a alta plasticidade fenotípica da maioria das espécies do gênero, há fatores que limitam seu bom desenvolvimento e produção, a exemplo do déficit hídrico, que acarreta diversas alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas, comprometendo a produtividade. Estimativas de parâmetros genéticos dos principais caracteres fisiológicos envolvidos na tolerância à seca em eucalipto ainda são pouco conhecidos. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade, estabilidade e adaptabilidade de clones de eucalipto sob duas condições de disponibilidade hídrica em campo. Dez clones de eucalipto foram submetidos a duas condições de cultivo em campo, sem e com restrição de 30% de redução hídrica, avaliando-se, no período chuvoso e seco, a atividade fotossintética máxima, condutância estomática, taxa de transpiração e os potenciais hídricos foliares antemanhã e ao meio-dia. Também, foram determinados o crescimento em altura, diâmetro à altura do peito e volume individual de madeira aos 32 meses após o transplante. Os dados foram analisados via modelos mistos e a estabilidade, adaptabilidade e produtividade estimados pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG). A interação clones x condição hídrica foi não significativa para a maioria dos caracteres avaliados, mas há variabilidade genética entre os clones e bom controle genético sobre os caracteres de fisiológicos e de crescimento. Os clones C3, B2 e A1 foram os genótipos mais promissores nas condições dos experimentos por apresentarem alta estabilidade, adaptabilidade e produtividade.

Palavras-chave: Déficit hídrico, Fotossíntese, Parâmetros genéticos, Adaptabilidade, Estabilidade.

SILVICULTURAL AND PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF EUCALYPTUS SP. UNDER TWO WATER CONDITIONS IN THE FIELD

ABSTRACT – Brazil is one of the countries with the largest area of planted forest in the world, and the genus *Eucalyptus* stands out for composing a significant portion in the production of the Brazilian forest sector. Even considering the high phenotypic plasticity of most species of the genus, factors that limit its good development and production, an example of the water deficit, which causes several morphological, biochemical and physiological changes, compromising productivity. Estimates of genetic parameters of the main physiological traits subject to drought tolerance in *eucalyptus* are still poorly understood. Thus, the present work aimed to evaluate the productivity, stability and adaptability of eucalyptus clones under two conditions of water availability in the field. Ten eucalyptus clones were obtained from two cultivation conditions in the field, without and with water restriction, evaluating, in the rainy and dry period, the maximum photosynthetic activity, stomatal conductance, transpiration rate and leaf water potentials at noon before dawn. Also, growth in height, diameter at chest height and individual volume of wood were determined. The data were realized through mixed models and the stability, adaptability and productivity estimated by the method of the harmonic mean of the relative performance of the genotypic values (MHPRVG). The interaction between clones x water condition was not expressed for most of the characteristic traits, but there is genetic variability between the clones and good genetic control over the physiological and growth traits. Clones C3, B2 and A1 are the most promising qualified for the selection of water stress tolerant eucalyptus genotypes because they present stability, adaptability and productivity.

Keywords: Water deficit, photosynthesis, genetic parameters, adaptability, stability.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Mirtaceae e possui uma grande diversidade com mais de 900 espécies (Brooker, 2000). Sendo quase sua totalidade originário da Austrália exceto o *E. urophylla* que ocorre na Indonésia e o *E. deglupta* também na Indonésia e na Papua Nova Guiné (Brooker e Kleinig, 2006). Foi descrito em 1789 como um novo gênero por Charles Louis L'Héritier de Brutelle com uma única espécie, *E. obliqua*, em seu livro *Sertum Anglicum*.

Nos tempos atuais espécies de eucalipto são amplamente plantadas em diversas regiões do mundo (Lehto et al., 2010), sendo o Brasil um dos principais produtores mundiais onde seu cultivo destina-se, principalmente, para a produção de celulose, papel, painéis de madeira e bioenergia (IBÁ, 2020).

A seleção de genótipos tolerantes à seca é a principal estratégia a ser adotada para estabelecer plantações em áreas sujeitas ao déficit hídrico (Bison et al., 2007). Dessa forma, para várias culturas a tolerância a seca é um dos principais motivos dos programas de melhoramento. No entanto, no Brasil, na maioria dos programas de melhoramento florestal a seleção de genótipos é praticada principalmente sobre o crescimento e produtividade (Navarrete-Campos et al., 2012), sem uma clara compreensão das respostas fisiológicas de árvores sob estresse hídrico.

O estresse hídrico limita o crescimento e desenvolvimento dos clones de eucalipto, interferindo diretamente no estágio inicial de estabelecimento das plântulas, que são particularmente sensíveis a condição limitante de água. Dessa forma, se tem uma diminuição do estande acentuada devido a morte das plantas pelo estresse, isso contribui para perdas consideráveis em todo plantio (Chaín et al., 2020).

Características fisiológicas, como taxa líquida de assimilação (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e potencial hídrico foliar (Ψ_f), são sensíveis às variações de disponibilidade de água no solo e na atmosfera, logo, são importantes em estudos sob condições de déficit hídrico. Contudo, informações sobre o controle genético desses caracteres em eucalipto são escassos, principalmente, em condições de campo (Paula et al., 2011).

Estudos sobre a interação genótipos x ambientes (condição hídrica) são importantes porque permitem identificar genótipos que além de produtivos, tenham

alta adaptabilidade e estabilidade frente ao estresse hídrico, auxiliando na recomendação mais adequada dos genótipos para plantios em regiões propensas à seca. Métodos de estudos de adaptabilidade e estabilidade com base em modelos mistos têm sido usados com sucesso em espécies perenes como eucalipto (Rosado et al., 2012; Oliveira et al., 2018), pois o BLUP dos valores genéticos maximiza a acurácia seletiva (Garcia; Nogueira, 2005) e possibilita analisar dados desbalanceados, para avaliar indivíduos através do tempo e locais (Viana e Resende, 2014), sendo importante para o melhoramento de espécies perenes, uma vez que uma das limitações no melhoramento dessas espécies está relacionada aos longos ciclos das mesmas (Castro et al., 2018). Isto é importante, principalmente para os caracteres fisiológicos que podem variar frente às estações climáticas no ano e entre anos ao longo do ciclo da cultura.

O método da Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (MHPRVG) tem tido sido aplicado principalmente para caracteres de crescimento e produção onde fornece em uma única medida, a adaptabilidade, a estabilidade e a produtividade (Resende e Thompson, 2004), sendo escassas informações para caracteres fisiológicos em eucalipto. O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade, estabilidade e adaptabilidade de caracteres fisiológicos e de crescimento em clones de eucalipto sob duas condições de disponibilidade hídrica em campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura do eucalipto no Brasil

É muito discutível de quando e por onde as primeiras mudas de *Eucalyptus* chegaram ao território brasileiro: 1825, 1855, 1865 no jardim botânico do Rio de Janeiro ou no Rio Grande do sul em 1868, ou no interior de São Paulo entre 1861 e 1863. Mas, é evidente que implementação para fins econômicos se deve à Companhia Paulista de Estrada de Ferro no início do século XX. Isso deve-se aos estudos de Edmundo Navarro de Andrade, onde demonstrou o grande potencial do eucalipto frente as espécies nativas do Brasil (peroba, cabreúva, jequitibá, jacarandá-paulista e

pinheiro-do-Paraná) e exóticas. Com isso, intensificaram-se o seu cultivo, para o fornecimento de energia para as locomotivas, bem como madeira para postes e dormentes. (Andrade, 1961; Ferreira e Santos, 1997)

Seu rápido crescimento, boa produtividade, ampla diversidade de espécies e sua grande capacidade adaptativa frente ao gradiente climático e dos solos brasileiros, contribuíram para seu sucesso. Mas, uns dos fatos mais determinantes para o sucesso econômico do gênero no Brasil, foi a fabricação de celulose a partir da fibra curta do eucalipto e a sua propagação clonal. (Campinhos et al., 2006; ABRAF, 2010).

O setor florestal brasileiro é referência mundial, tendo a maior produtividade de madeira do mundo, sua importância pode ser avaliada pela sua grande participação na economia do país, impulsionado inicialmente por incentivos fiscais para o reflorestamento e por Programas Nacionais de Siderurgia a Carvão Vegetal, de Celulose e Papel. (Santos, 2001). Em 2019, o setor respondeu por 1,2% do PIB (produto interno bruto) e receita bruta total de 97,4 bilhões, são quase 5 mil produtos de origem ambientalmente correta, oriundos das florestas plantadas brasileiras, que gera 3,75 milhões de empregos (diretos, indiretos e os gerados pelo efeito de renda) em mais de 1000 municípios no Brasil. Eucalipto é a cultura mais importante para o setor, com um cultivo de 6,97 milhões de hectares plantados que representa 77% dos 9 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil. (IBÁ, 2020).

Com o aumento da demanda por produtos oriundos do setor florestal e as exigências dos mercados internacionais por madeira certificadas com o “selo verde” (ambientalmente correta). Há necessidade do aumento na produtividade do setor, o que estimula a exploração da madeira de espécies exóticas como, por exemplo, as pertencentes ao gênero *Eucalyptus* (Trevisan, 2010).

Porém, a intensidade da expansão de áreas com a cultura do eucalipto no Brasil, tem sido mitigada devido a competição com outras culturas de importância agrônômica e em virtude do aumento dos custos da produção de madeira (Castro et al., 2016; Araújo, 2018). Isso é em decorrência do avanço do plantio para novas fronteiras florestais, que são áreas com maiores restrições de água e nutrientes. (Ibá, 2017). Esses fatores limitantes junto com a instabilidade climática em áreas cultivadas com eucalipto, tem ocorrido um crescimento mais tímido atribuído principalmente ao

impacto das alterações climáticas no regime de chuva de grande parte do território nacional. Sendo a água o fator mais determinante para o aumento da produtividade, onde pode aumentar em até 30% sua produtividade (Allen et al., 2010; Stape et al., 2010; Ibá, 2017).

2.2. Estresse hídrico na cultura do eucalipto

Estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, provavelmente causado pela emissão e concentração do CO₂ atmosférico pós industrialização. Há evidências que o aumento da temperatura vem provocando a mudança climática (IPCC, 2018).

A mudança climática está desempenhando um papel cada vez mais importante no cultivo de plantas, devido, a eventos climáticos extremos, principalmente ao aumento de temperatura e alterações na precipitação que podem provocar inundações e severidade da seca (Artaxo, 2020).

Aproximadamente 77% da área plantada em florestas no Brasil se dá em espécies do gênero *Eucalyptus* (IBA, 2020). Esses plantios se dão na mais ampla diversidade de ambientes, passando por 15 estados em maior ou menor proporção. No entanto, deve-se destacar que a escolha de tais localidades se sustentam na premissa de garantir bom desempenho das árvores, como crescimento e sobrevivência (Binkley et al., 2020), influenciando diretamente na produtividade e duração do ciclo (Alves et al., 2018).

As consequências das mudanças climáticas se tornam mais evidentes a cada dia, principalmente na forma de eventos extremos mais recorrentes e persistentes, como prolongados períodos de seca e temperaturas elevadas. Segundo dados do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) as mudanças irão impactar de maneira não homogênea sobre o globo, dos quais as chuvas ocorrerão de maneira mais intensas e frequentes para as regiões de latitudes intermediárias a úmidas, no entanto, para as intermediárias tendendo a seca e subtropicais se tornarão mais escassas (IPCC, 2014).

Há prognósticos de que o aquecimento global será responsável por 20% do incremento na escassez de água, não somente em zonas propensas a seca, mas

também nos diversos ecossistemas tropicais e subtropicais. (Silva et al., 2011). Dentre todos os estresses bióticos enfrentados, para as culturas florestais a limitação hídrica é o fator mais restritivo para a expressão de todo o potencial genético dos mesmos (Zhou et al., 2014). As consequências da escassez de água se dão principalmente por afetar a fotossíntese, respiração, metabolismo dos carboidratos e absorção de íons (Martins et al., 2018).

Assim, tão importante quanto a mitigação das mudanças climáticas é entender as estratégias envolvidas na adaptação dos genótipos. Uma vez que, evolutivamente, somente se mantem as espécies, as quais apresentam estruturas e mecanismos anatômica e fisiologicamente as condições do globo (Porto, 1987). Neste contexto, em 2011 se estabeleceu o Projeto TECHS (Programa Cooperativo sobre Tolerância de Eucalyptus clonais aos estresses hídricos, térmicos e bióticos) que abrange desde o Pará ao Rio grande do Sul e parte do Uruguai, cujo viés principal é o entendimento da performance dos genótipos e a interação com os mais diversos ambientes (Binkley et al., 2017).

Dentre os mecanismos para enfrentar o déficit hídrico demonstrado nas pesquisas podemos destacar a eficiência no fechamento dos estômatos para evitar a perda de água, nos mecanismos de percepção e sinalização para a síntese e acumulação de proteínas responsivas ao estresse e metabolitos de proteção por meio da produção do fitohormônio ABA (ácido abscísico) (Umezawa et al., 2010), alterações no conteúdo de clorofila e carotenoides (Shvaleva et al., 2006), ajuste osmótico e elástico (Warren et al., 2012). A nível de genoma, estudo recentes tem dado atenção para as alterações epigenéticas, as quais estão relacionadas a metilação do DNA, modificações nas histonas e remodelação da cromatina (Han e Wagner, 2013).

A superioridade de alguns genótipos em detrimento de outros, substancialmente se dá pela sua eficiência no uso da água, ou seja, a produção por unidade de água transpirada (Blackman et al., 2017). Deste modo, o programa de melhoramento florestal é estruturado na premissa da avaliação da sobrevivência, bem como a produtividade a longo prazo de uma gama de clones sob uma diversidade de ambientes, permitindo a identificação e seleção de ideótipos para cada condição (Scolforo et al., 2017).

2.3. Melhoramento genético de eucalipto

O melhoramento genético do eucalipto no Brasil teve início a partir de 1941, quando pesquisadores fizeram a introdução de algumas espécies, cujo objetivo seria identificar as melhores e selecionar as mais adaptadas as condições de cultivo (Ferreira e Santos, 1997). Em 1941, foi instalado o primeiro programa de melhoramento genético da cultura no Brasil, tendo como principais objetivos uniformidade nos plantios, produtividade e aumento no diâmetro (Assis et al., 2015). Efetivamente, os avanços nas pesquisas utilizando o melhoramento na cultura só foi concretizada a partir de 1960, impulsionada pelos incentivos fiscais, o que fez com que várias regiões iniciasse o cultivo de eucalipto, abrindo portas também para novas pesquisas em genética e melhoramento da cultura (Vencovsky e Ramalho, 2000; Silva e Barrichello, 2006).

Algumas características em que o melhoramento genético do eucalipto tem contribuído, é a resistência a doenças (Silva et al., 2013), boa produtividade da madeira e celulose (Ferreira e Santos, 1997), adaptação as diferentes regiões de cultivo e produção de sementes melhoradas (Rezende, 2001) e melhoramento para produção de energia (Assis et al., 2015). Além dessas características, têm se buscado desenvolver pesquisas de seleção de clones de eucalipto tolerantes ao estresse hídrico (Silva et al., 2004; Valadares et al., 2014; Müller et al., 2017; Nóia Júnior et al., 2019).

A seleção de clones de eucalipto tolerantes ao estresse hídrico é fundamental para adaptação em regiões que apresentam pouca disponibilidade hídrica, com possibilidade de maximização na produtividade nessas condições (Correia et al., 2014). Quando existe limitação na disponibilidade hídrica, é observado o desencadeamento de uma série de respostas fisiológicas, bioquímicas e até mesmo moleculares nas plantas (Pinheiro e Chaves, 2011), sendo essas, consideradas complexas (Nóia Júnior et al., 2019) e, dependentes da taxa e da intensidade do estresse (Correia et al., 2014).

Inicialmente, os programas de melhoramento genético da cultura no Brasil não focaram diretamente na seleção de plantas tolerantes ao estresse hídrico. Dessa forma, em situações de ocorrência de déficit hídrico, aqueles clones selecionados anteriormente, por não estarem adaptados a essa condição, apresentará redução no

seu potencial. No entanto, devido a possibilidade de expansão do cultivo para outras regiões, tornou-se importante e indispensável, passando a ser de interesse tanto de órgãos públicos como de empresas privadas, o desenvolvimento de clones mais adaptados e que sejam mais produtivos quando colocados em situações de limitação hídrica. Nesse cenário, o melhoramento genético desempenha papel fundamental e indispensável para o desenvolvimento de genótipos tolerantes ao estresse hídrico, devido não apenas à expansão da cultura para áreas com menores disponibilidades hídricas, mas também dado o cenário de mudanças climáticas globais (Allen et al., 2010). Sendo assim, encontrar diferenças fisiológicas e suas relações na produtividade dos genótipos de eucalipto frente à diferentes disponibilidades hídricas podem ser pertinentes para os programas de melhoramento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material genético

Foram avaliados 10 genótipos comerciais de eucalipto, doravante nomeado de “clones”, com três tipos de comportamento e de diferentes origens climáticas (Tabela 1). Todos os clones são derivados da rede experimental do Programa Cooperativo sobre Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Biótico (TECHS), pertencente ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF (Binkley et al., 2017).

Tabela 1 - Lista de clones, espécies/híbridos, tipo de comportamento e origem climática, segundo a classificação de Köppen descrita por Alvares et al. (2013).

Tipo de comportamento	Clones	Espécies/Híbridos	Origem climática
Plásticos	Q8	<i>E. grandis</i>	Af
	K2	<i>E. saligna</i>	Cfb
	C3	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	As
Subtropicais	A1	<i>E. urophylla</i> x <i>E. sp.</i>	Cwa
	F6	<i>E. benthamii</i>	Cfb
	O6	<i>E. grandis</i>	Cfb
Tropicais	D4	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Aw
	P7	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i>	As

G7	<i>E. urophylla</i>	Cwa
B2	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Aw

3.2. Condução Experimental

O experimento foi implantado em janeiro de 2017, em área localizada a 21°23'23,12" de latitude sul e 48°28'05,30" de longitude oeste com altitude média de 604 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, de textura argilosa (Andrioli e Centurion, 1999), o qual após a análise de solo foi adubado com 100 g/planta de 'MG YORIN SI' (YOORIN®). As práticas culturais como capinas, adubação de cobertura e aplicação de defensivos agrícolas foram feitas de acordo com a necessidade da cultura.

O espaçamento de plantio foi 3,0 x 2,0 m, e os 10 clones foram submetidos a duas condições de disponibilidade hídrica: sem restrição hídrica (100% da precipitação pluviométrica) e com restrição da chuva, onde foi instalada uma estrutura de lonas de plástico sobre palanques inclinados entre as linhas do plantio, de forma a conduzir parte da água da chuva para fora do experimento (aproximadamente 30% da chuva) simulando, portanto, uma condição de menor disponibilidade hídrica (Figura 1).



Figura 1 - Parcela experimental sem o sistema de exclusão de chuva (a); parcela com o sistema de exclusão de chuva (b).

3.3. Avaliações

Aos 32 meses de idade foram mensurados a Altura Total (ALT, m) e o Diâmetro à Altura do Peito (DAP, cm), medido a 1,30 m do solo, e a partir dessas avaliações obteve-se a estimativa do Volume (VOL, m³/árvore), aplicando-se sobre a fórmula do volume do cilindro um fator de forma de 0,42 para corrigir para a conicidade do tronco.

As características fisiológicas estudadas corresponderam àquelas relacionadas às trocas gasosas, avaliadas com um analisador de gases a infravermelho (IRGA), modelo LCPro+ (ADC BioScientific Ltd.), acoplado a uma fonte de luz artificial regulada para um fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (FFFA) de 1100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob concentração de CO₂ ambiente ($400 \pm 25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ou seja: transpiração (E , $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Essas avaliações ocorreram ao longo do dia e no pico fotossintético (entre 8h e 11h30 min), em folhas totalmente expandidas de ramos (com aproximadamente 50 cm de comprimento) destacados do terço superior da planta (Santiago e Mulkey, 2003). Também, procedeu-se, ao longo do dia (das 4 h às 16 h), a avaliação dos potenciais hídricos foliares com uma bomba de pressão (Scholander *et al.*, 1965). Todas essas avaliações foram realizadas em duas épocas do ano, ao final do período chuvoso (abril, aos 27 meses de idade) (Ep 1) e ao final do período seco (agosto, aos 31 meses de idade) (Ep2) (Figura 2). Durante o período de avaliação, foram monitorados os dados climáticos (Figura 2), obtidos por uma estação meteorológica distante cerca de 600 m do experimento.

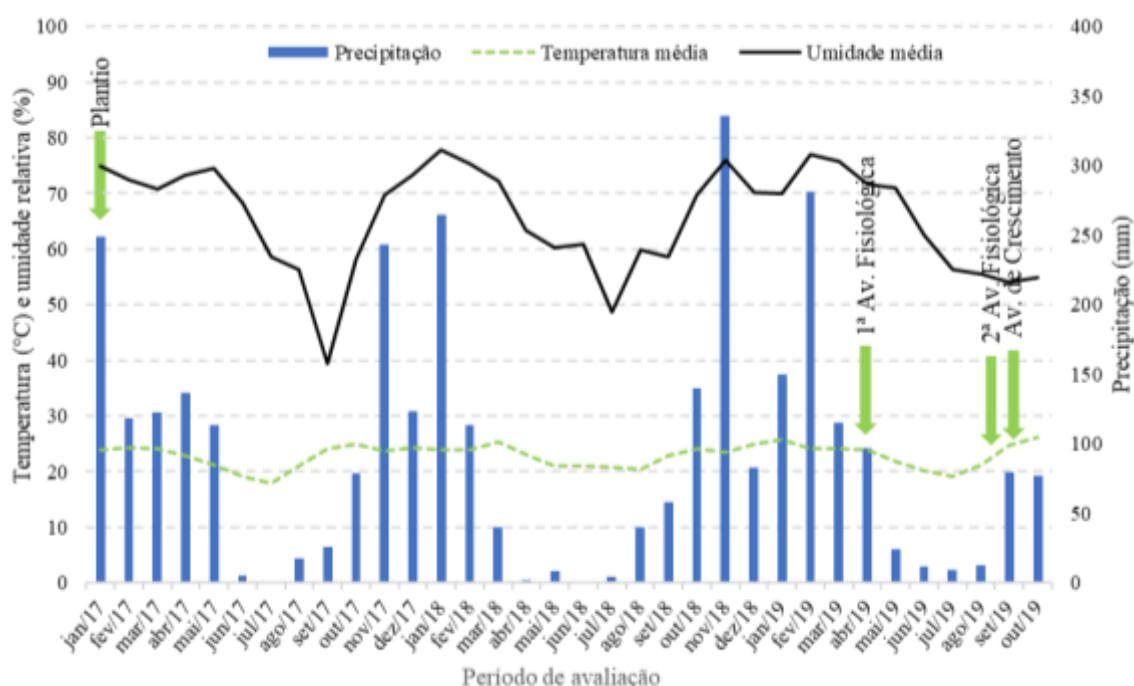


Figura 2 – Balanço hídrico, temperatura média e umidade relativa média do ar em Jaboticabal durante a condução dos experimentos.

3.4. Delineamentos Experimentais

O experimento foi conduzido em blocos completos casualizados com duas repetições, em parcelas lineares de 5 plantas. Para o estudo das características fisiológicas foram amostradas três plantas de porte médio por tratamento.

3.5. Análises Estatísticas

As avaliações fisiológicas ao longo do dia (trocas gasosas e potencial hídrico foliar) foram apresentadas em figuras, denotando o comportamento dos clones, nas duas condições hídricas. Para efeito de análises estatísticas desses caracteres, utilizou-se os dados de trocas gasosas (E , g_s e A) avaliados no período do pico fotossintético (entre 8h e 11h30 min) e de potencial hídrico foliar no período antemanhã (Ψ_{pd} , em MPa), avaliado entre 4h e 5h, e ao meio dia (Ψ_{md} , em MPa), entre 12 e 14h.

As análises estatísticas e as estimativas de parâmetros genético-estatísticos foram realizadas utilizando-se a metodologia REML/BLUP, disponíveis no software

SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2007; Resende, 2016), conforme os modelos estatísticos 51 (características de crescimento), que se refere à avaliação de clones não aparentados em delineamentos de blocos casualizados em vários ambientes e várias observações por parcela, e 151 (características fisiológicas), que se refere à avaliação de clones não aparentados em delineamentos de blocos casualizados em vários ambientes, uma observação por parcela e medidas repetidas no tempo, conforme descrito a seguir:

$$\text{Modelo 51: } y = Xr + Zg + Wp + Ti + e$$

em que y , r , g , p , i , e e correspondem, respectivamente, aos vetores de dados, r dos efeitos fixos de repetição somados à média geral, dos efeitos aleatórios dos genótipos, dos efeitos aleatórios de parcela, de efeitos aleatórios da interação genótipo x ambiente (condição hídrica) e do efeito dos resíduos (aleatórios); X , Z , W , e T são as matrizes de incidência para r , g , p e i , respectivamente.

$$\text{Modelo 151: } y = Xm + Zg + Tp + Wi + e$$

em que y , m , g , p , i , e e correspondem, respectivamente, aos vetores de dados, de efeitos fixos (combinações de Medição-Repetição-Ambiente somados à média geral), de efeitos genotípicos (aleatórios), de efeitos de ambientes permanentes (aleatórios), de efeitos aleatórios da interação genótipo x ambiente (condição hídrica) e de resíduos (aleatórios); X , Z , T , e W são as matrizes de incidência para m , g , p e i , respectivamente.

Para obtenção das Análises de Deviances (ANADEV) os dados foram analisados utilizando-se os modelos completos e com a eliminação de cada efeito, para obter o teste da razão de verossimilhança (LRT) de cada fonte de variação, e testados pelo teste de χ^2 (Resende, 2007).

A estabilidade e a adaptabilidade dos clones para a seleção conjunta, é dada pela média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos preditos (Resende, 2016):

$$\text{MHPRVG}_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{V_{g_{ij}}}}$$

em que n é o número de ambientes (condição hídrica) onde se avaliou o clone i , Vg_{ij} é o valor genotípico do clone i no ambiente j , expresso como proporção da média desse ambiente (Resende e Thompson, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação Clone x Condição hídrica foi significativa apenas para o potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}), denotando comportamento diferencial dos clones nas duas condições hídricas estudadas. O efeito do ambiente permanente da parcela dentro dos ambientes (ou covariância dos efeitos de parcela entre medidas repetidas) foi não significativo para os caracteres fisiológicos estudados, mas o efeito de parcela foi significativo para a altura, sugerindo influência ambiental dentro das parcelas. O efeito de clones foi significativo para taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida máxima (A_{max}), diâmetro a altura do peito (DAP) e volume de madeira por árvore (VOL), o que evidencia a variabilidade genética entre os clones (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de deviance (ANADEV), para taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida (A), potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio dia (Ψ_{md}), diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (ALT) e volume de madeira por árvore (VOL), em clones de *Eucalyptus* sp. sob duas condições hídricas.

Fonte de Variação	E	g_s	A_{max}	Ψ_{pd}	Ψ_{md}	DAP	ALT	VOL
Clone (C)	6,75**	4,59*	8,87**	0,01 ^{ns}	0,86 ^{ns}	17,02**	2,88 ^{ns}	15,54**
Ambiente Permanente	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-	-	-
Parcela	-	-	-	-	-	0,03 ^{ns}	36,93**	0,14 ^{ns}
C x R	0,04 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,01 ^{ns}	6,11*	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}

**, * e ^{ns}: respectivamente, valores significativos a 1 e a 5% e valores não significativos a 5% pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT).

Até os 32 meses de idade, a condição hídrica não afetou o crescimento (DAP, ALT e VOL), apesar da tendência de redução no crescimento dos clones com restrição de chuvas, principalmente para VOL (Figura 3c), o que pode evidenciar que o efeito

da exclusão de chuvas pode influenciar futuramente, uma vez que, a partir dos 18 meses que competição por reserva de água começa, em função do aumento da biomassa, ocorre elevação da competição por água (Assis et al., 2015).

As variações climáticas podem ter sido determinantes para o efeito não significativo da exclusão de chuvas, uma vez que desde a implementação do experimento, em 2017, a média pluviométrica anual tem sido inferior à média histórica (~1400 mm). Esse menor volume precipitado pode ter reduzido o crescimento, nas duas condições hídricas, dificultando até o momento a detecção de diferenças entre os tratamentos com e sem restrição hídrica (Figura 2).

Além dos baixos índices pluviométricos, as variações climáticas afetam o padrão de chuvas. Como observado, no período menos chuvoso (junho – agosto) ocorreu precipitações anteriormente à segunda avaliação fisiológica (Figura 2), o que pode ter afetado na avaliação, posto que os caracteres avaliados, de trocas gasosas e potencial hídrico, são muito sensíveis às condições ambientais.

A variabilidade genética encontrada entre os clones não é uma surpresa (Figura 3), já que os mesmos são de várias origens climáticas com comportamentos distintos (Alvares et al. 2013; Binkley et al., 2017). Com exceção dos clones K2 e F6, os demais clones têm em sua constituição genotípica *E. urophylla* ou *E. grandis*, destacando a grande diversidade genética dessas espécies, o que demonstra o seu potencial uso em programas de melhoramento de eucalipto, sendo essas a base da silvicultura brasileira. (Araújo et al. 2019; Miranda. et al., 2019; Silva et al., 2019).

A avaliação das trocas gasosas (taxa de transpiração - E ; condutância estomática - g_s ; e taxa de assimilação líquida - A) e do potencial hídrico foliar (Ψ) ao longo do dia em duas épocas estão representados na Figura 4. Na avaliação, ao final do período seco (Ep2) o potencial hídrico dos clones foi sensivelmente menor que ao final do período chuvoso (Ep1) e apresentou uma queda mais acentuada no horário mais crítico do dia ao estresse (12 h) e uma retomada mais lenta após esse período. Essa redução do potencial hídrico foliar próximo ao meio dia já é esperada, pois isto ocorre mesmo quando a umidade do solo está próxima da capacidade de campo, uma vez que nesse horário ocorre aumento das taxas de transpiração (Nogueira et al., 2000).

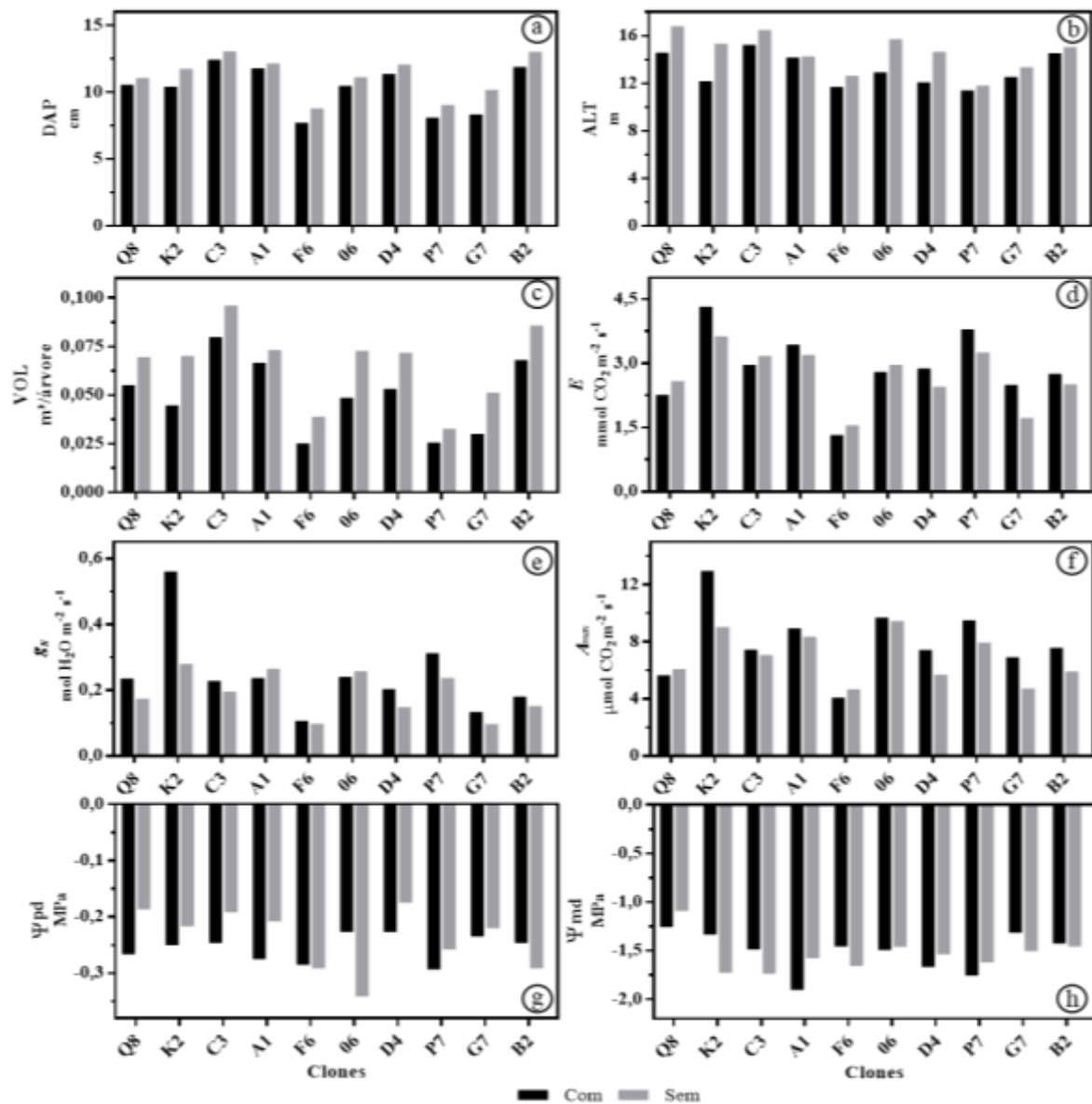


Figura 3 - Comportamento médio de clones de *Eucalyptus* para caracteres de crescimento (Diâmetro à Altura do Peito – DAP(a), Altura total das árvores – ALT(b) e Volume por árvore – VOL(c)) aos 32 meses após o plantio, e para caracteres fisiológicos no pico fotossintético com avaliações realizadas entre 8h e 11h30 min (Taxa de transpiração (E);d), condutância estomática (g_s);e), taxa máxima de assimilação líquida de CO₂ (A_{max});f) e potenciais hídricos foliares antemanhã (Ψ_{pd});g) e ao meio dia (Ψ_{md});h), em duas condições hídrica em campo (com (Com) e sem (Sem) restrição hídrica).

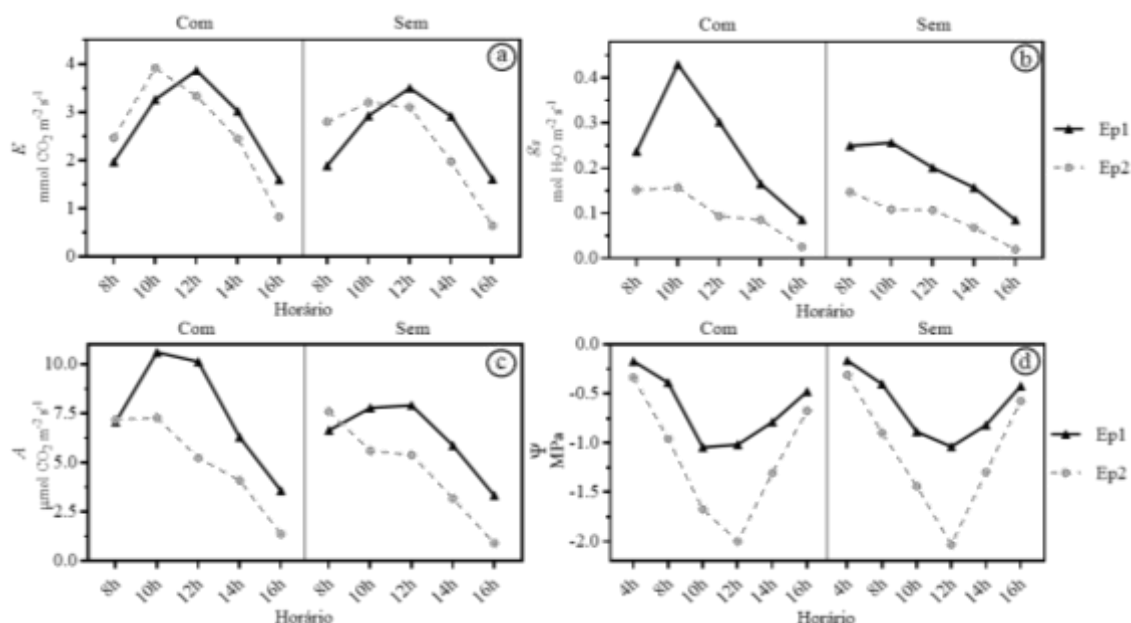


Figura 4 - Taxa de transpiração (E ;a), condutância estomática (g_s ;b), taxa de assimilação líquida (A ;c) e potencial hídrico foliar (Ψ) ao longo do dia em duas épocas (Ep1 (abril) - no final do período chuvoso aos 27 meses de idade; Ep2 (agosto) – final do período seco aos 31 meses de idade) em clones de *Eucalyptus* submetidos a duas condições hídricas (com (Com) e sem (Sem) restrição hídrica) em campo.

Os melhoristas desejam que a variação manifestada em seus experimentos seja apenas de origem genética. Entretanto, mesmo com todo cuidado na condução, os experimentos apresentam variações aleatórias entre parcelas que receberam os mesmos genótipos, devido a efeitos ambientais. Essa variação é o erro experimental (Ramalho et al., 2005). A maneira mais utilizada de se comparar a precisão experimental é por meio do coeficiente de variação (CV). Segundo a classificação de Gomes (2000), as estimativas dos CV para os caracteres do presente trabalho, foram médias (10 a 20%) para todos os caracteres fisiológicos, exceto para condutância estomática (g_s) que apresentou valor alto (20 a 30%). Para os caracteres de crescimento, o valor de CV para DAP foi baixo (inferior a 10%) e médio para ALT e VOL (Tabela 3).

Além disto, Resende e Duarte (2007) apresentaram uma classificação para utilizar a acurácia seletiva para verificar a qualidade de um experimento. A acurácia

para os caracteres de crescimento, foi muito alta ($Acgen > 0,90$), para DAP e VOL, e alta ($0,70 < Acgen < 0,90$) para ALT. Para os caracteres fisiológicos foi alta para condutância estomática, baixa ($Acgen < 0,50$) para o potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}), moderada ($0,50 < Acgen < 0,70$) para o potencial hídrico foliar ao meio dia (Ψ_{md}), e muito alta para transpiração e taxa líquida de assimilação (Tabela 3).

A relação CV_{gi}/CV foi inferior a 1,0 para os potenciais hídricos foliares antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio dia (Ψ_{md}) e altura total (ALT), isso indica que a variação ao acaso é maior que a genética. Podendo ser devido ao método de amostragem ou das medições. E superior a 1,0 para os demais caracteres. Quando essa relação é superior a 1,0, indica que a variação genética supera a ambiental (Vencovsky, 1987), logo, podemos selecionar algum clone para essas características nessas condições de estresse (Tabela 3).

As estimativas da herdabilidade de parcela individual (ou dos efeitos genotípicos totais) dos potenciais hídricos foliares antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio dia (Ψ_{md}) indicam que não há variabilidade genética para essas características nessas condições. Isso indica que o estresse não foi suficiente para os genótipos expressarem característica de tolerância ao estresse. Conti et. al, (2020) mostra que apenas os clones mais contrastantes no local de maior déficit hídrico e mesmo nada conclusivo devido a poucas diferenças entre eles.

Conforme Resende (2015), as estimativas da herdabilidade média (h^2_{mg}) do Ψ_{pd} foi baixa ($h^2_{mg} < 0,15$) e moderada ($0,15 < h^2_{mg} < 0,50$) para o Ψ_{md} x. Para os demais caracteres fisiológicos e caracteres de crescimento, as estimativas foram altas ($h^2_{mg} > 0,5$) (Tabela 3). Estimativas altas de herdabilidade indicam possibilidade de ganhos genéticos. É importante destacar que esse estudo foi realizado em apenas um ambiente em duas condições de disponibilidade hídrica o que pode levar as estimativas de herdabilidade superestimadas devido ao número reduzido de ambientes ou condições (Hernández et al., 2019).

Tabela 3 - Estimativas de parâmetros genético-estatísticos obtidos via REML individual, para taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida (A), potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio dia (Ψ_{md}), diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (ALT) e volume de madeira por árvore (VOL), em clones de *Eucalyptus* sp. sob duas condições hídricas em campo.

Compo- nentes de Variância	E	g_s	A_{max}	Ψ_{pd}	Ψ_{md}	DAP	ALT	VOL
Vg	0,4879	0,0064	3,5491	0,0001	0,0094	2,2265	1,1045	0,000326
Vperm	0,0056	0,0002	0,0555	0,0001	0,0018	-	-	-
Vparc	-	-	-	-	-	0,0301	2,5589	0,000013
Vint	0,0067	0,0015	0,1255	0,0011	0,0004	0,0041	0,0192	0,000001
Ve	0,9329	0,0264	9,6055	0,0037	0,1904	2,5181	2,9431	0,000466
Vf	1,4331	0,0346	13,336	0,0049	0,2021	4,7788	6,6258	0,000795
h^2g	0,340 $\pm$ 0,106	0,186 $\pm$ 0,079	0,266 $\pm$ 0,094	0,012 $\pm$ 0,028	0,047 $\pm$ 0,056	0,466 $\pm$ 0,142	0,167 $\pm$ 0,085	0,397 $\pm$ 0,130
R	0,3490	0,2354	0,2797	0,2452	0,0576	-	-	-
c^2_{perm}	0,0039	0,0053	0,0042	0,0023	0,0089	-	-	-
c^2_{parc}	-	-	-	-	-	0,0063	0,3862	0,0164
c^2_{int}	0,0047	0,0437	0,0094	0,2314	0,0021	0,0008	0,0029	0,0008
h^2mg	0,9195	0,7747	0,8836	0,0603	0,36537	0,9426	0,5810	0,9217
Acgen	0,9589	0,8802	0,9400	0,2455	0,6044	0,9709	0,7622	0,9600
$\hat{r}_{gloc}$	0,9865	0,8098	0,9659	0,0473	0,9576	0,9982	0,9829	0,9980
CVgi%	24,91	36,99	25,24	3,05	6,38	13,79	7,57	30,67
CV%	10,20	22,52	12,40	10,17	12,03	6,75	12,77	17,77
CVgi/CV	2,42	1,64	2,043	0,30	0,53	2,04	0,59	1,73
Média	2,804	0,217	7,464	-0,246	-1,522	10,82	13,89	0,0580

Vg: variância genotípica; Vperm: variância de ambiente permanente; Vparc: variância ambiental entre parcelas; Vint: variância da interação genótipos x condição hídrica; Ve: variância residual; Vf: variância fenotípica individual; h^2g : herdabilidade de parcela individual (ou dos efeitos genotípicos totais); r: repetibilidade; c^2_{perm} : coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente; c^2_{parc} : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; c^2_{int} : coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x condição hídrica; h^2mg : herdabilidade da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa; Acgen: acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa; $\hat{r}_{gloc}$: correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes; CV%: coeficiente de variação residual; CVgi%: coeficiente de variação genotípica.

A correlação genotípica média da performance dos clones, através dos ambientes ($\hat{r}_{gloc}$), fornece a confiabilidade de quão constante é o ordenamento dos clones e, indiretamente, indica a participação da parte complexa na interação (SILVA *et al*, 2019). As estimativas de $\hat{r}_{gloc}$ foram muito altas ($\hat{r}_{gloc} > 80\%$) para todas os caracteres, exceto para Ψ_{pd} sendo este também o único caráter que apresentou interação significativa entre clone x condições hídricas (Tabela 2), o que corrobora com os valores do coeficiente de determinação da interação (c^2_{int}) que mede quanto a interação influenciou na variância fenotípica (Tabela 3).

A adaptabilidade, estabilidade e produtividade dos clones nas duas condições hídricas foram avaliadas tanto para os caracteres de crescimento, como usual nos

programas de melhoramento e na literatura, como para os caracteres fisiológicos. Esse estudo deu-se pela aplicação do método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), em que em uma única inferência estatística, é agrupada a estabilidade, a adaptabilidade e a produtividade (desempenho) dos genótipos, o que facilita a seleção de indivíduos (Resende, 2002). Esse método apresenta, também, facilidade de interpretação pois os resultados são apresentados como uma variação dos genótipos em torno da média do experimento, de forma que genótipos com valores de MHPRVG superiores a 1,0 são os mais indicados para as condições estudadas por superarem a média.

Por superarem a média dos valores genotípicos, os clones de destaque para os caracteres fisiológicos (E , g_s e A_{max}) foram K2, P7, A1 e O6. Os clones que se destacaram para os caracteres de crescimento, principalmente DAP e VOL, foram C3, B2, A1, D4 e Q8 (Tabela 4).

O clone A1 destacou-se como o mais promissor para cultivo nessas condições, pois respondeu acima da média para DAP, ALT, VOL, E , g_s e A_{max} . Os clones C3 e B2 mesmo não se destacando quanto aos caracteres fisiológicos (E , g_s e A_{max}), destacaram-se nos caracteres de crescimento, isso mostra que mesmo com baixa atividade fotossintética, podem ter um bom desenvolvimento vegetativo (Tabela 4).

O clone A1 tem comportamento plástico e possui conjuntos de genes e alelos adaptados às regiões tropicais do Brasil (Alvares *et al.*, 2013), o que pode ter favorecido seu desempenho nas condições do estudo. Além de ser um híbrido de *E. urophylla* $\times$ *E. grandis*, o clone B2 apresenta bom desempenho de crescimento no território brasileiro (Gonçalves *et al.*, 2013; Assis *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2019), e o seu bom desempenho pode ter relação com sua origem climática que é a mesma da região do experimento.

O clone C3, apesar de possuir menor atividade fotossintética, teve o maior crescimento. Esse clone é um híbrido entre *E. grandis* da seção Latoangulata, onde se estão as espécies de maior produtividade e o *E. camaldulensis* pertencente da seção Exsertaria onde são encontradas as espécies mais adaptadas à seca. Este fato pode estar relacionado aos híbridos dessas duas seções apresentarem maior crescimento e serem mais tolerantes ao déficit hídrico que seus genitores (Assis e Máfia, 2007)

Tabela 4 – Estabilidade, adaptabilidade e produtividade de valores genotípicos (MHPRVG) para taxa de transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida (A), potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio dia (Ψ_{md}), diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (ALT) e volume de madeira por árvore (VOL), em clones de *Eucalyptus* sp. sob duas condições hídricas.

Clone	E	g_s	A_{max}	Ψ_{pd}	Ψ_{md}	DAP	ALT	VOL
Q8	0,87	0,95	0,81	0,94	0,91	1,00	1,08	1,07
K2	1,39	1,79	1,43	0,96	1,00	1,02	0,99	0,98
C3	1,09	0,98	0,98	0,92	1,02	1,17	1,08	1,48
A1	1,17	1,14	1,15	0,98	1,05	1,10	1,01	1,19
F6	0,55	0,54	0,63	1,11	1,01	0,80	0,93	0,63
O6	1,03	1,13	1,26	1,08	0,99	0,99	1,01	1,00
D4	0,95	0,83	0,89	0,87	1,02	1,08	0,98	1,07
P7	1,24	1,23	1,15	1,08	1,04	0,81	0,90	0,53
G7	0,77	0,59	0,80	0,95	0,97	0,87	0,96	0,72
B2	0,94	0,80	0,91	1,06	0,98	1,15	1,04	1,31

5. CONCLUSÕES

Há variabilidade genética entre os clones de eucalipto quanto os caracteres fisiológicos e de crescimento.

Os clones C3, B2 e A1 são mais promissores visando à seleção de genótipos de eucalipto tolerantes ao estresse hídrico por apresentarem altas estabilidade, adaptabilidade e produtividade. O clone A1, também apresenta altas estabilidade, adaptabilidade e performance quanto aos caracteres fisiológicos.

6. REFERÊNCIAS

Abraf – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (Brasília). **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. 140p.

Disponível em: < <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuarioABRAF-2010-BR.pdf> >.

Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology and Management** 259:660-684, 2010.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLD, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22:711-728.

Alves MEB, Mantovani EC, Neves JCL, Sedyama GC, Lourenço HM (2018). Simulação da produtividade do eucalipto sob diferentes condições de disponibilidade hídrica na região Centro-Leste de Minas Gerais. **Agrometeoros**. 26:327-336.

Andrade EM, (1961) **O eucalipto**. Jundiaí, SP: Companhia Paulista de Estradas de Ferro. p. 667.

Andrioli I, Centurion JF (1999) Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-4.

Araújo MJ (2018) **Desempenho de clones de Eucalyptus sob diferentes condições no campo e em casa de vegetação**. 128 f. Tese (Doutorado Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas)) – Universidade Estadual Paulista (Unesp).

Araújo MJ, Paula RC, Campoe OC, Carneiro RL (2019) Adaptability and stability of eucalypt clones at different ages across environmental gradients in Brazil. **Forest Ecology and Management** 454:117631.

Artaxo P, (2020) As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas **ESTUDOS AVANÇADOS** 34 (100), 2020.

Assis TF, Abad JIM, Aguiar A (2015) Melhoramento Genético do Eucalipto In.: Schumacher MV, Vieira M (eds.) **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFMS, p. 217–244.

Assis TF, Abad JIM, Aguiar AM (2015) Melhoramento genético do eucalipto. In.: Schumacher MV, Vieira M. **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Editoraufsm, Santa Maria.

Assis TF, Mafía RG (2007) Hibridação e clonagem. In.: Borem A (eds.) **Biotecnologia Florestal**. Viçosa: Editora UFV, p. 93-121.

Binkley D, Campoe OC, Alvares CA, Carneiro RL, Cegatta Í, Stape JL (2017) The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management** 405:271-283.

Binkley D, Campoe OC, Alvares CA, Carneiro RL, Stape JL (2020) Variation in whole-rotation yield among *Eucalyptus* genotypes in response to water and heat stresses: The TECHS project. **Forest Ecology and Management**, 462:1-12.

Bison O, Ramalho MAP, Rezende GSP, Aguiar AM, Van Der Resende MD (2007) Combining ability of elite clones of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* with *Eucalyptus globulus*. **Genetics and Molecular Biology** 30:417–422.

Blackman CJ, Aspinwall MJ, Tissue DT, Rymer PD (2017) Genetic adaptation and phenotypic plasticity contribute to greater leaf hydraulic tolerance in response to drought in warmer climates. **Tree Physiol** 37:83-592

Campinhos E, La Torraca SM, Laranjeiro AJ, Penchel RM, (1992) The **Use/Place of Clonal Multiplication in Tree Breeding and Propagation Programs – Prerequisite for Success and Reason for Failures**. Aracruz Celulose, Rio de Janeiro.

Castro CAO, Resende RT, Bhering LL, Cruz CD (2016) Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, 46:1585–1593.

Castro CEC, Silva PHM, Araújo MJ, Miranda AC, Moraes MLT, Paula RC (2018) Adaptabilidade, estabilidade e produtividade de progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden **Scientia Forestalis** 46:157-166.

Chaín JM, Tubert E, Graciano C, Castagno LN, Recchi M, Pieckenstain FL, Estrella MJ, Gudesblat G, Amodeo G, Baroli I (2020) Growth promotion and protection from drought in *Eucalyptus grandis* seedlings inoculated with beneficial bacteria embedded in a superabsorbent polymer. **Nature research** 10-18221.

Correia B, Pintó-Marijuan M, Neves L, et al., (2014) Water stress and recovery in the performance of two *Eucalyptus globulus* clones: physiological and biochemical profiles. **Physiologia Plantarum** 150:580-592.

Ferreira M, Santos PET (1997) Melhoramento genético florestal dos Eucaliptos no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO. **CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS**, Salvador, 1997. Proceedings. Colombo: Embrapa/CNPQ, 1997. v.1, p.14-34.

Garcia CH, Nogueira MCS (2005) Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis** 68:107-112.

Han SK, Wagner D (2013) Role of chromatin in water stress responses in plants. **Journal of Experimental Botany** 1:1-15.

Hernández MA, López JA, Cappa EP (2019) Improving Genetic Analysis of *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* with Single-and Multiple-Trait Spatial-Competition Models. **Forest Science** 65:570-580.

Ibá (2017): **Relatório anual**. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores. 80 p. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>

Ibá (2018): **Sumário Executivo**. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores. 6 p. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>

Ibá (2020): **Relatório anual**. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores. 6 p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.IPCC: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (2014) Working Group II contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 34p.

IPCC SR 1.5. Global Warming of 1.5 °C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>.

Lehto T, Ruuhola T, Del LBN (2010) Boron in forest trees and forest ecosystems. **Forest Ecology and Management** 260:2053–2069.

L'Héritier CL (1788). **Sertum Anglicum, seu, Plantae rariores quae in hortis juxta Londinum: imprimis in horto regio Kewensi excoluntur, ab anno 1786 ad annum 1787 observatae (in Latin)**. Paris: Petri Francisci Didot. p. 11.

Martins GSM, Freitas NC, Máximo WPF, Paiva LV (2018) gene expression in two contrasting hybrid clones of eucalyptus camaldulensis x eucalyptus urophylla grown under water deficit conditions. **journal of plant physiology** 229:122-131.

Miranda AC, Da Silva PH, Moraes ML, Lee DJ, Sebbenn AM (2019) Investigating the origin and genetic diversity of improved *Eucalyptus grandis* populations in Brazil. **Forest Ecology and Management** 448:130-138.

Müller C, Hodecker BER, Merchant A, Barros NF (2017) Nutritional Efficiency of Eucalyptus Clones Under Water Stress. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 41:1-17

Navarrete-Campos D, Bravo LA, Rubilar RA, Emhart V, Sanhueza R (2013) Drought effects on water use efficiency freezing tolerance and survival of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus globulus* × nitens cuttings. **New Forests** 44:119–134.

Nogueira RJMC, Moraes JAPV, Burity HÁ (2000) Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 35:1331-1342.

Nóia Júnior RS, Amaral GC, Macedo P, Fonseca MDS, Silva APC, Xavier TMT (2019) Ecophysiological acclimatization to cyclic water stress in Eucalyptus. **Journal of Forestry Research** 31:797–806.

Oliveira TWG, Paula RC, Moraes MLT, Alvares CA, Miranda AC, Silva PHM (2018) Stability and adaptability for wood volume in the selection of Eucalyptus saligna in three environments, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 53:611-619.

Paula RC, Paula NF, Marino CL (2011) Melhoramento de espécies perenes para condições de estresses abióticos. In.: Fritsche-Neto R, Borem A. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p.227-250.

Pinheiro C, Chaves MM (2011) Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany** 62:869-882.

Porto MCM (1987) Mecanismos de resistência à seca em plantas. I **Reunião de Fisiologia Vegetal**. Londrina, PR. 29p.

Resende MDV (2016) Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 16:330-339.

Resende MDV (Eds.) (2002) **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 975p.

Resende MDV (Eds.) (2007) **Selegen-Reml/Blup: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, Colombo, 359p.

Resende MDV (Eds.) (2015) **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa: Suprema. 463p.

Resende MDV, Duarte JB (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 37:182-194.

Resende MDV, Thompson R (2004) Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. **Brazilian Journal of Mathematics and Statistics** 22:31-52.

Rezende GDSP (2001) Melhoramento genético do eucalipto. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, **Anais...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão. 2001. CD-ROM.

Rosado AM, Rosado T.B, Alves, AA, Laviola, BG, Bhering LL (2012) Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 47:964-97.

Santiago LS, Mulkey SS (2003) A test of gas exchange measurements on excised canopy branches of ten tropical tree species. **Photosynthetica** 41:343-347.

Scholander PF, Hammel HT, Bradstreet ED, Hemmingsen EA (1965) Sap pressure in vascular plants. **Science** 148:339-346.

Scolforo HF, Scolforo JRS, Stape JL, Mctague JP, Burkhart, McCarter J, Castro Neto F, Loos RA, Sartorio RC (2017) Incorporating rainfall data to better plan Eucalyptus clones deployment in eastern Brazil. **Forest Ecology and Management** 391:145-153.

Shvaleyeva LA, Silva FC, Breia E, Jouve J, Hausman JF, Almeida MH, Maroco JP, Rodrigues ML, Pereira JS, Chaves MM (2006) Metabolic responses to water deficit in two Eucalyptus globulus clones with contrasting drought sensitivity. **Tree Physiology** 26:239–248.

Silva EM, Nunes EWLP, Costa JM, Ricarte AO, Nunes GHS, Aragao FAS (2019) Genotype x environment interaction, adaptability and stability of 'Piel de Sapo' melon hybrids through mixed models. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 19:402-411.

Silva FC, Shvaleyeva A, Maroco JP, Almeida MH, Chaves MM, Pereira JS (2004) Responses to water stress in two Eucalyptus globulus clones differing in drought tolerance. **Tree Physiology** 24:1165–1172.

Silva MA, Santos CM, Labate CA, Guidetti-Gonzalez S, Borges JS, Ferreira LC, DeLima RO, Fritsche-Neto R, (2011) Melhoramento para eficiência no uso da água. In.: Fritsche-Neto R, Borem A. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p.227-250.

Silva PHM, Barrichelo LEG, (2006) Progressos recentes na área florestal. In.: Paterniani E. **Ciência, Agricultura e Sociedade**. Embrapa, Brasília. p.439-456. 2006.

Silva PHM, Brune A, Alvares CA, AmaraL WD, Moraes MLTD, Grattapaglia D, Paula RC (2019) Selecting for stable and productive families of *Eucalyptus urophylla* across a country-wide range of climates in Brazil. **Canadian Journal of Forest Research** 49:87-95.

Silva PHM, Miranda AC, Mario LTM, Furtado EL, Stape JL, Alvares CA, Sentelhas PC, Mori ES, Sebbenn AM (2013) Selecting for rust (*Puccinia psidii*) resistance in Eucalyptus grandis in São Paulo State, Brazil. **Forest Ecology and Management** 303:91–97.

Stape JL, Binkley D. et al., (2010) The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management** 259:1686–1694.

Trevisan R (2010) **Efeito do desbaste nos parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden**. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria.

Umezawa T, Nakashima K, Miyakawa T, Kuromori T, Tanokura M, Shinozaki K, Yamaguchi-Shinozaki K (2010) Molecular basis of the core regulatory network in ABA responses: sensing, signaling and transport. **Plant Cell Physiology** 51:1821-1839.

Valadares J, Paula NF, Paula RC (2014) Physiological changes in eucalyptus hybrids under different irrigation regimes. **Ciência Agronômica** 45:1-10.

Vencovsky R (1987) Herança quantitativa. In.: Paterniani E. (Eds.). **Melhoramento e a produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, p.137-214.

Vencovsky R, Ramalho MAP (2000) Contribuições do melhoramento genético de plantas no Brasil. In.: Paterniani E. (Eds.). Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 57-89.

Viana AP, Resende MDV (2014) **Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 282.

Villar E, Klopp C, Noirot C, Novaes E, Kirst M, Plomion C, Gion JM (2011) RNA-Seq revela respostas moleculares genótipo-específicas ao déficit de água em eucalipto. **BMC Genomics** 12:538.

Warren CR, Aranda I, Cano FJ (2012) Metabolomics demonstrates divergent responses of two Eucalyptus species to water stress. **Metabolomics** 8:186–200.

Zhou S, Medlyn B, Sabaté S, Sperlich D, Prentice IC, Whitehead D (2014) Short-term water stress impacts on stomatal, mesophyll and biochemical limitations to photosynthesis differ consistently among tree species from contrasting climates. **Tree Physiology** 34:1035–1046