**Universidade de São Paulo**
**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

# Dinâmica do crescimento e eficiência do uso da água de clones de *Eucalyptus* spp. submetidos a omissão de potássio

**Gustavo Martins Soares**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba**
**2020**

**Gustavo Martins Soares**
**Engenheiro Florestal**

# Dinâmica do crescimento e eficiência do uso da água de clones de *Eucalyptus* spp. submetidos a omissão de potássio

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Profa. Dra. **LUCIANA DUQUE SILVA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba**
**2020**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Soares, Gustavo Martins

Dinâmica do crescimento e eficiência do uso da água de clones de *Eucalyptus* spp. submetidos a omissão de potássio / Gustavo Martins Soares. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

138 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Crescimento 2. Fluxo de seiva 3. Transpiração 4. Calibração I. Título

## DEDICATÓRIA

À minha família

Pelo exemplo de vida, confiança e amizade.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças, sabedoria e estar ao meu lado em todos os momentos dessa caminhada;

À Profª. Dra. Luciana Duque Silva, por ter me recebido de braços abertos desde meus primeiros passos na pós-graduação. Pela confiança e valiosa orientação, pelo incentivo para superar todos os desafios, por ter propiciado as condições para a execução e elaboração deste trabalho;

Aos meus pais, Gustavo e Carmem, pelas valiosas lições que me ajudaram a tomar decisões importantes, pelo companheirismo, confiança, amizade, ajuda nos momentos difíceis, pelo total apoio nessa e em todas as fases da minha vida. Por todos os sacrifícios ao longo da vida, que não foram poucos. Sem vocês eu não chegaria até aqui;

Ao meu irmão e melhor amigo Gabriel, pela amizade, confiança, pelos momentos de distração e por ser o melhor irmão que alguém poderia ter;

A minha esposa Carla, por todo o apoio nesse período, pois ninguém mais do que ela sabe como foi difícil, pelos momentos de distração e por ter me dado forças todos os dias para que esse dia chegasse;

Ao meu tio Camilo, por toda a ajuda que me possibilitou avançar nos meus estudos e por ter servido de inspiração para entrar na Universidade;

Aos meus avós Juca e Terezinha (*"in memoriam"*) e Mário e Aparecida (*"in memoriam"*), por me ensinarem valores muito importantes e por terem participações grandiosas em minha formação como pessoa;

Aos meus sogros Claudinei e Lúcia por todo suporte, apoio, paciência e confiança desde o primeiro dia que nos conhecemos e por todos os momentos de distração;

Ao Dr. Juan Sinforiano Delgado Rojas por toda a experiência partilhada, pelos ensinamentos e por toda ajuda para a execução e finalização desse trabalho;

Aos funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em especial, Rildo, Lourival e Elaine, pela amizade, suporte e apoio para que todas as coletas de campo pudessem ser realizadas;

A todos amigos do laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura (LEFS), da ESALQ e os que compartilharam momentos na Estação de Ciências Florestais de Itatinga;

Ao programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), pela possibilidade de cursar o doutorado;

A CAPES pelo auxílio que possibilitou a conclusão da pesquisa;

A todos vocês, meu sincero, MUITO OBRIGADO!

## EPÍGRAFE

“Nunca se esqueça de quem é, porque é certo que o mundo não se esquecerá.

Faça disso sua força.

Assim não poderá ser nunca sua fraqueza.

Arme-se com esta lembrança, e ela nunca poderá ser usada para magoa-lo”.

Tyrion Lannister (As Crônicas de Gelo e Fogo - A guerra dos tronos)

# SUMÁRIO

RESUMO ..... 7
ABSTRACT ..... 8
1. INTRODUÇÃO ..... 9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 13
2.1. EFEITO ESTUFA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS ..... 13
2.2. AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O EUCALIPTO ..... 14
2.3. BIOMASSA FLORESTAL E A ESTRUTURA DE COPA ..... 16
2.4. POTÁSSIO NA PLANTA ..... 18
2.5. RELAÇÕES HÍDRICAS ..... 20
2.6. FLUXO DE SEIVA ..... 22
3. MATERIAIS E MÉTODOS ..... 25
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ..... 25
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL ..... 27
3.3. AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO ..... 28
3.4. BIOMASSA ..... 29
3.5. AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) ..... 30
3.6. SENESCÊNCIA FOLIAR ..... 31
3.7. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO ..... 32
3.8. CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE GRANIER (1985) ..... 33
3.8.1. Determinação do Fluxo de Seiva – Transpiração das árvores ..... 36
3.8.2. Determinação e estimativa da área do alburno ($A_a$) ..... 37
3.9. EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (EUA) ..... 39
3.10. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS ..... 39
3.11. FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS ..... 39
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES ..... 41
4.1. DINÂMICA DO CRESCIMENTO ..... 41
4.2. EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (EUA) ..... 73
4.2.1. Calibração do Método de Granier (1985) ..... 73
4.2.2. Estimativa de Biomassa ..... 81
4.2.3. Área do Alburno ..... 84
4.2.4. Transpiração ..... 85
4.2.5. Transpiração noturna ..... 96
5. CONCLUSÃO ..... 101
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 103
REFERÊNCIAS ..... 105
APÊNDICE ..... 137

## RESUMO


**Dinâmica do crescimento e eficiência do uso da água de clones de *Eucalyptus* Spp. submetidos a omissão de potássio**

Estudos que avaliam o desempenho dos materiais genéticos resistentes e/ou tolerantes ao estresse hídrico, a dinâmica e a eficiência do uso da água (EUA) e como o manejo da fertilização atua nesse processo são importantes para alcançar a sustentabilidade da produção florestal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da omissão de potássio no desenvolvimento e na eficiência do uso da água de diferentes genótipos de eucalipto O experimento foi implantado em dezembro de 2011 na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, em delineamento experimental em blocos casualizados, com seis repetições, cada uma composta por doze tratamentos em um arranjo fatorial 6x2, sendo seis clones de eucalipto e duas doses de adubação potássica. As avaliações de crescimento do experimento foram realizadas em todos os tratamentos e repetições para as variáveis: altura total, diâmetro a altura do peito, porcentagem de copa e volume. Para a determinação do volume individual das árvores e a quantificação da biomassa de madeira foram realizadas 3 amostras destrutivas ao longo do ciclo. Além disso avaliou-se o índice de área foliar, com auxílio do equipamento LAI-2200; a deposição mensal do folhedo e a umidade do solo, com o equipamento Diviner 2000. Na determinação do fluxo de seiva utilizou-se o método de sondas de Granier, permitindo também o ajuste de modelos de regressão para estimar a área de alburno. A análise do fluxo de seiva foi realizada nos materiais genéticos COP 1404 e AEC 144, na presença e ausência de potássio, de abril de 2017 a dezembro de 2018. Com os dados de volume de água transpirada e o incremento de biomassa de madeira no período avaliado, foi calculada a eficiência do uso da água. Ao longo de todas as avaliações, os clones COP 1404 e COP 1407 foram os menos produtivos, apresentando aos 84 meses de idade 72,7% e 86,5%, respectivamente, da produtividade alcançada pelo AEC 144, o clone mais produtivo, o qual foi o único a não apresentar respostas a adubação potássica. Observou-se a necessidade da calibração do método de Granier para estimar o fluxo de seiva, a nível do clone e que apenas um processo de calibração, não é suficiente para descrever o fluxo de seiva ao longo de toda a rotação. Os maiores valores de transpiração foram encontrados para o COP 1404, sendo superiores no tratamento sem adubação potássica; o AEC 144, com menores taxas de transpiração, apresentou transpiração superior quando adubado com potássio. De forma geral o clone AEC 144 apresentou maiores valores para a EUA e considerando todo o período avaliado o AEC 144 K- demonstrou um valor de 2,4 g/L e o AEC 144 K+ de 1,60 g/L, enquanto que o COP 1404 K+ apresentou um valor de 1,20 g/L e o COP 1404 K- um valor de 1,02 g/L. A transpiração noturna influenciou negativamente o crescimento das plantas, podendo ser a resposta a diferentes fatores ambientais. A presença do potássio no solo para o clone AEC 144, pode ter estimulado o aumento da abertura estomática ao longo do período avaliado, provocando a perda de água por transpiração e diminuição de sua eficiência. A resposta adubação potássica entre diferentes materiais genéticos não pode ser generalizada.


Palavras-chave: Crescimento, Fluxo de seiva, Transpiração, Calibração

## ABSTRACT

### Growth dynamics and water use efficiency of *Eucalyptus* spp submitted to potassium omission

Studies that evaluate the performance of genetic materials resistant and/or tolerant to water stress, the dynamics and water use efficiciency (WUE) and how fertilization management acts in this process are important to achieve the sustainability of forest production. The objective of this study was to evaluate the effect of potassium omission on the development and water use efficiency of different eucalyptus genotypes. The experiment was implemented in December 2011 at the Itatinga Experimental Forest Science Station, which belongs to the Department of Forest Sciences of ESALQ/USP. In a randomized block design with six replications, each consisting of twelve treatments in a 6x2 factorial arrangement, being six eucalyptus clones and two doses of potassium fertilization. The growth evaluations of the experiment were performed in all treatments and repetitions for the variables: total height, diameter at breast height, crown percentage and volume. For the determination of the individual volume of the trees and the quantification of the wood biomass, 3 destructive samples were made along the whole rotation. In addition, the leaf area index was evaluated with the aid of LAI-2200 equipment; monthly litter deposition and soil moisture with Diviner 2000 equipment. In determining the sap flow, the Granier probe method was used, also allowing the adjustment of regression models to estimate the sapwood área. The sap flow analysis was performed on the genetic materials COP 1404 and AEC 144, in the presence and absence of potassium, from april 2017 to december 2018. With the transpirated water volume data and the wood biomass increment in the evaluated period, WUE was calculated. Throughout all evaluations, COP 1404 and COP 1407 clones were the least productive, presenting at 72 months of age 72.7% and 86.5%, respectively, of the productivity achieved by AEC 144, the most productive clone, the which was the only one not to present responses to potassium fertilization. It was observed the need to calibrate the Granier method to estimate the sap flow at the clone level and that only one calibration process is not enough to describe the sap flow throughout the entire rotation. The highest transpiration values were found for COP 1404, being higher in the treatment without potassium fertilization; AEC 144, with lower transpiration rates, showed superior transpiration when fertilized with potassium. In general, the AEC 144 clone showed higher values for the WUE and considering the entire period evaluated, the AEC 144 K- showed a value of 2.4 g / L and the AEC 144 K + of 1.60 g / L, while the COP 1404 K + showed a value of 1.20 g / L and COP 1404 K- a value of 1.02 g / L. Nocturnal transpiration negatively influenced plant growth, which may be a response to different environmental factors. The presence of potassium in the soil for clone AEC 144, may have stimulated an increase in stomatal opening over the evaluated period, causing water loss through transpiration and a decrease in its efficiency. The response to potassium fertilization between different genetic materials cannot be generalized.


Keywords: Growth, Sap flow, Transpiration, Calibration

# 1. INTRODUÇÃO

Os povoamentos florestais possuem grande importância econômica no cenário mundial, pois seu plantio e beneficiamento tem participação no desenvolvimento de vários setores da economia nas regiões as quais são encontrados. E por isso, a busca por produtividades cada vez maiores podem ocasionar conflitos relacionados ao balanço hidrológico, pois, a alta produtividade está diretamente relacionada a maior disponibilidade hídrica. Além disso, as atividades silviculturais, tais como a colheita, o preparo do solo e a construção de estradas tendem a alterar a qualidade e a quantidade de água ao longo do ciclo de plantio.

O gênero *Eucalyptus* possui elevada plasticidade e adaptação a diversas condições de solo e clima, apesar disso, a migração dos plantios florestais para locais caracterizados por apresentarem déficit hídrico, distribuição irregular das chuvas, altas temperaturas e muitas vezes solos pobres, tem levantado questões importantes acerca das perdas de produtividade e diminuição das taxas de sobrevivência das florestas plantadas.

De acordo com o atual cenário das mudanças climáticas previsto pelo Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2014), essa situação tende a se agravar, pois, mesmo no cenário mais otimista, o qual seriam adotadas medidas de mitigação rigorosas relacionadas aos gases de efeito estufa (GEE), a temperatura média global sofreria um aumento de até 1,7ºC. Em relação ao regime hídrico, os pesquisadores não entraram em consenso, contudo, possivelmente, ocorrerá a manutenção da precipitação média anual com maior incidência de eventos extremos de precipitação e a concentração das chuvas em poucos períodos do ano.

Em locais com índices pluviométricos baixos e/ou mal distribuídos, os plantios de eucalipto ficarão cada vez mais sujeitos aos danos causados pelo estresse hídrico. Contudo, algumas espécies de eucalipto possuem mecanismos de adaptação mais eficientes para sobreviverem a essas condições, quando comparadas a outras. Esses mecanismos são complexos pois são influenciados pelo genótipo, pelas condições ambientais e pela interação entre esses fatores. As respostas nas plantas que mais explicam esse fato são: o decréscimo da área foliar, o fechamento estomático, que está intimamente relacionado as perdas de água para

a atmosfera via transpiração, e a diminuição da copa através da senescência e abscisão foliar.

O fechamento estomático leva a uma diminuição do transporte, por fluxo em massa, de água e nutrientes, absorvidos na raiz para o resto da planta, ocasionando diminuição das taxas de fotossíntese e do transporte de água no xilema. Assim, a baixa disponibilidade de água é um dos principais fatores ambientais que limita o crescimento da planta e o seu rendimento.

Devido a esses fatores, a demanda por estudos que avaliam o desempenho dos materiais genéticos resistentes e/ou tolerantes ao estresse hídrico, a dinâmica e a eficiência do uso da água (EUA) através do incremento de biomassa por unidade de água transpirada em um período de tempo; e como o manejo da fertilização pode influenciar nesse processo, tem aumentado, pois é preciso encontrar um equilíbrio, visando alcançar benefícios econômicos, sociais e ambientais na produção madeireira.

Quando os estudos de fertilização estão relacionados com a eficiência no uso da água, o potássio (K+) é o elemento mais importante nessa relação, pois é reconhecido pelo controle osmótico que exerce nas plantas, por atuar nesse controle e consequentemente na transpiração. É esperado que, quando o nível deste nutriente está abaixo do crítico a planta perderá água mais facilmente para o meio através da transpiração, o que afetará seu crescimento, produtividade e capacidade de tolerar déficits hídricos.

Dessa forma as seguintes hipóteses foram formuladas:

I. A adubação potássica atua na eficiência do uso da água e influencia positivamente no crescimento dos diferentes materiais genéticos testados;
II. A alteração do regime hídrico ao longo do ano interfere na eficiência do uso água (EUA) pelos materiais genéticos;
III. A transpiração noturna influencia no crescimento dos materiais genéticos.

Com base nas hipóteses tem-se:

Objetivo geral: Avaliar o efeito da omissão de potássio no desenvolvimento e na eficiência do uso da água (EUA) de diferentes genótipos de eucalipto.

Objetivos específicos:

- Avaliar os clones de eucalipto em resposta à omissão de potássio sob a ótica do crescimento, do uso da luz solar e da água, bem como as respostas desses

materiais genéticos as variações ocasionadas pelas diferentes estações do ano;

- Analisar a razão entre o consumo hídrico de diferentes materiais genéticos na presença e ausência de adubação de potássio com a produção de madeira.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1. Efeito estufa e as mudanças climáticas

A atmosfera terrestre é constituída principalmente de nitrogênio (78,1%), oxigênio (20,9%) e argônio (0,93%), e esses gases possuem uma interação limitada com a radiação incidente, e não interagem com a radiação infravermelha (MACHADO, 2005). Contudo a atividade e fluxo de outros gases de baixa concentração na atmosfera absorvem a radiação luminosa, sobretudo a ultravioleta (UV) e a infravermelha (IV), afetando a temperatura da Terra (PIMENTEL, 2011). Estes gases, considerados os “Gases de Efeito Estufa – GEE”, são o vapor d’água, dióxido de carbono ($CO_2$), metano ($CH_4$), óxido nitroso ($N_2O$) e os clorofluorcarbonos (CFC’s), que são produzidos sinteticamente pelo homem (BRASIL, 2010; NASA, 2017).

O efeito estufa corresponde a uma camada desses gases que cobre a superfície da Terra, sendo um fenômeno natural fundamental para a manutenção da vida na Terra (WWF, 2017), contudo, desde a Revolução Industrial (1870), vem ocorrendo um aumento na quantidade da emissão de GEE na atmosfera, que já ultrapassam os níveis alcançados em mais de 650 mil anos (SIEGENTHALER et al., 2005).

Esse aumento na concentração dos GEE bloqueiam o calor de voltar para a atmosfera, aumentando a temperatura média global da Terra e dos oceanos, levando ao derretimento calotas polares com retração do gelo, aumentando o nível dos oceanos e a ocorrência de eventos estremos de precipitação e acidificação dos oceanos (NASA, 2017).

De acordo com os pesquisadores do IPCC (2014) existe 95% de chance de que o aquecimento global seja resultado de atividades antrópicas desde meados do século 20 e isso pode prosseguir durante décadas e até milênios. Os mesmos pesquisadores concluíram que a temperatura global pode aquecer em até 4,8ºC entre 2010 e 2100, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX. Na Tabela 1 temos os cenários de mudanças climáticas propostos pelo IPCC (2014).

**Tabela 1.** Cenários propostos pelo IPCC. Fonte: IPCC (2014)

| Cenários IPCC – 2014 | | |
|---|---|---|
| RCP 2.6 | Cenário de Mitigação Rigorosa | Aumento de 0,3ºC – 1,7ºC |
| RCP 4.5 | Cenário Intermediário | Aumento de 1,1ºC – 2,6ºC |
| RCP 6.0 | | Aumento de 1,4ºC – 3,1ºC |
| RCP 8.5 | Altas Emissões de GEE | Aumento de 2,6ºC – 4,8ºC |

Essas previsões impulsionaram a comunidade internacional a adotar o Protocolo de Paris, estabelecido pela 21ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP21), visando substituir o Protocolo de Quioto, ratificado em 16 de fevereiro de 2005 (RODRIGUES, 2017).

Esse novo acordo foi aprovado pelos 195 países parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) para reduzir emissões de GEE. Esses países assumiram o compromisso de manter o aumento da temperatura média global em menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de enviar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (MMA, 2017). Além disso, foi assumido o compromisso das nações desenvolvidas em direcionar US$ 100 bilhões anuais, a partir de 2020, para financiar ações de mitigação e adaptação nos países em desenvolvimento (UNFCCC, 2015).

## 2.2. As mudanças climáticas e o eucalipto

O aumento crescente da demanda de madeira, a elevação dos custos das terras próximas das fontes consumidoras e a necessidade de extensas áreas continuas, promoveram o deslocamento das atividades de reflorestamento, no Brasil, para áreas de cerrado, onde o clima é mais restritivo ao desenvolvimento do eucalipto, pois o déficit hídrico é pronunciado e os solos são pobres e muitas vezes arenosos (GOMES; PAIVA, 2004). Essas condições serão potencializadas ao longo do tempo segundo os cenários propostos pelo IPCC (2014) e de acordo com Higa e Higa (2011) o aquecimento deverá ser variável entre as diferentes regiões do país e serão acompanhados por quedas e aumentos nas taxas de precipitação.

Segundo Nobre et al. (2008) a região Centro-Oeste do Brasil demonstra um grave problema na disponibilidade hídrica e alguns estudos como Nobre et al. (2004)

e Nobre (2005) demonstram que a resposta dos biomas brasileiros as mudanças climáticas locais será uma desertificação do semi-árido nordestino e uma savanização da Amazônia.

Marengo (2007) e Evangelista (2006) mostraram, a partir de simulações, previsões preocupantes para a região Sudeste, sul da Bahia e norte do Espirito Santo, pois devido a intensificação da seca, nos cenários proposto, houve uma redução de 40% na produtividade do eucalipto. Segundo Almeida et al. (2010) a seca pode diminuir o rendimento de plantios de eucalipto em até um terço em rotações de sete anos no Brasil.

Dentre os principais estresses ambientais que afetam negativamente os plantios de eucalipto, dois merecem destaque por estarem presentes nas novas fronteiras florestais: estresse hídrico e estresse térmico, além disso deve-se considerar os efeitos das variações de regime hídrico e térmico intra e inter-anual nas atuais áreas de plantio (STAPE et al., 2014).

O uso eficiente da água pelas plantas é afetado diretamente pela temperatura do ambiente no qual ela está inserida, sendo que, quanto maior for o balanço de radiação da folha, mais água a planta deverá absorver do solo para se arrefecer e manter a temperatura das folhas em níveis ótimos (PILLAR, 1995), o que demanda uma maior necessidade de água disponível no solo quando a planta estiver em um local de alta radiação e temperatura elevada.

Contudo, é importante ressaltar que a fotossíntese não aumenta infinitamente com a temperatura, pois quando ela atinge níveis acima do ótimo, leva a aumentos de fotorrespiração, o que acarreta numa redução da fotossíntese, devido à perda de função das enzimas e membranas envolvidas no processo fotossintético (LONG, 1991; LLOYD et al., 1995; SAXE et al., 2001; PHILLIPS et al., 2008).

Essas alterações climáticas, são atribuídas ao aumento da concentração dos GEE na atmosfera, principalmente o $CO_2$ (SOLOMON, 2007); podendo afetar o crescimento das árvores não somente pelas mudanças de temperatura e precipitação, mas também pelo aumento das taxas fotossintéticas e da deficiência hídrica (BOOTH, 2013).

Se as plantas forem bem hidratadas e altamente fertilizadas, a maioria das plantas C3, como o eucalipto, crescem cerca de 30% mais rápida quando a concentração de $CO_2$ alcança níveis em torno de 600 a 750 ppm; acima disso a taxa

de crescimento torna-se mais limitada, principalmente pela disponibilidade de nutrientes para as plantas, contudo, como a elevação do $CO_2$ atmosférico está ligado a ocorrência de condições mais quentes e mais secas, bem como no aumento da limitação de nutrientes, esses níveis aumentados de $CO_2$ afetarão muitos processos vegetais, como o aumento do fechamento estomático, reduzindo a transpiração e a fotossíntese (TAIZ, et al. 2017).

A importância dos plantios eucalipto é muito grande, pois tem participação no desenvolvimento de grande parte dos setores da economia nas regiões onde é cultivado, por isso é necessário conhecer os fatos, monitorar as mudanças e traçar estratégias que possibilitem maior conhecimento e garantam a sustentabilidade dos plantios florestais (BAESSO; RIBEIRO; SILVA; 2010).

## 2.3. Biomassa florestal e a estrutura de copa

Biomassa é a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. E biomassa florestal é toda a biomassa que existe na floresta, ou apenas na sua fração arbórea (SANQUETA, 2002).

Os estudos de biomassa florestal são realizados com objetivos variados, como para quantificar a ciclagem de nutrientes, a fixação de carbono e propriamente para avaliar o desenvolvimento da floresta; em qualquer uma dessas situações, esses estudos são de grande importância para a tomada de decisões de gestão de recursos florestais (SANTANA et al., 2008; BEHLING, 2014).

Segundo Kramer e Kozlowski (1972), o acumulo de biomassa é afetado pelos fatores que afetam a fotossíntese e a respiração, como a disponibilidade de luz, temperatura, concentração de $CO_2$, umidade e fertilidade do solo e doenças, além de fatores internos, incluindo a idade das folhas, forma da copa das árvores (fenologia e arquitetura), o comportamento estomático, o teor de clorofila e o acumulo de hidratos de carbono. De acordo com Roy e Ravan (1996) a distribuição da biomassa em ecossistemas florestais deriva da condição da vegetação, do tipo, da sua estrutura e localização; para Vieira et al. (2008) ela deriva da arquitetura da floresta, da densidade e do volume da madeira.

De acordo com Lieth, Schultz (1976) a fenologia da copa é definida como o estudo de eventos vegetativos e reprodutivos da planta ao longo do ano, e suas relações com os fatores ambientais e bióticos, sendo assim, a expressão de um

equilíbrio entre os processos endógenos, relativos ao crescimento, e a processos exógenos, as condições impostas pelo meio (BARTHÉLÉMY; CARAGLIO, 2007).

A fenologia da copa é relacionada a dois processos, segundo Nambiar; Brown (1997), o primeiro é o tamanho da copa, o qual é influenciado pelas mudanças no ambiente físico, respondendo a essas alterações com episódios de expansão ou queda de folhas, o segundo refere-se ao desenvolvimento da copa, que é consequência do aumento no comprimento da copa e do seu fechamento, sendo acompanhado por mudanças na disposição dos galhos e folhas.

A distribuição da copa está também relacionada à produtividade de determinada cultura, pois está ligada a quantidade de radiação interceptada pelo dossel da floresta, por isso o índice de área foliar (IAF), é uma medida importante, pois expressa o tamanho do aparato fotossintético e relaciona-se com a capacidade do dossel em interceptar e absorver radiação (MATTOS, 2015). Além disso, a estrutura da copa de árvores individuais também possui um importante papel na produtividade, através de seus efeitos na penetração e absorção de luz (KELLOMÄKI et al. 1985).

Para Ishii, Asano (2010) a arquitetura da copa representa uma estratégia espacial para a interceptação de luz, estando condicionada as condições climáticas que influenciam a produtividade. Dessa forma, segundo Ahl et al. (2006), a fenologia refere-se à relação entre o clima e a produção de biomassa, e seu entendimento é muito importante para quantificar as trocas de carbono e água entre as florestas e a atmosfera.

A senescência foliar é um dos fatores que afeta a arquitetura da copa, e para Wolfe et al. (1988) é um fator que influencia diretamente na produção final das culturas, pois está intimamente relacionada com a área fotossinteticamente ativa das plantas. E segundo Fernández et al. (1996) a área foliar é um importante fator de produção e é determinante na quantidade de água utilizada pela planta, estando diretamente relacionada com a produtividade e com a evapotranspiração de ecossistemas florestais (LANG; MACMURTRIE, 1992).

Segundo Munné-Bosch; Alegre (2004) a senescência foliar é uma forma de morte celular programada, sendo essencial para a sobrevivências das plantas, diferindo dos outros tipos por ocorrer de forma mais devagar e por estar relacionada com a ciclagem de nutrientes, que são translocados de células senescentes para outras partes da planta, tais como folhas jovens, flores e frutos.

Fatores ambientais e endógenos interagem no começo e na progressão da senescência foliar, os estímulos ambientais podem acelerar a queda das folhas, afetando o envelhecimento fisiológico, desenvolvimento reprodutivo e níveis hormonais, enquanto os fatores endógenos podem afetar a capacidade das plantas em induzir a abscisão foliar sobre estresse (MUNNÉ-BOSCH; ALEGRE, 2004).

Dentre os estímulos ambientais, a limitação da disponibilidade de água e nutrientes são os principais fatores que afetam negativamente a vida das plantas (DI CASTRI, 1981). As plantas desenvolveram mecanismos nos quais a queda das folhas pode ser induzida pelo estresse para realocar nutrientes para órgãos reprodutivos e eliminar o consumo de água pelas folhas mais velhas e menos produtivas. Essa regulação permite então que as plantas completem seu ciclo de vida mesmo em condições estressantes (GAN; AMANSINO, 1977; ONO et al., 2001).

## 2.4. Potássio na planta

O potássio é um dos elementos mais limitantes a produtividade do eucalipto no Brasil (SILVEIRA et al., 1995, 1998, 1999) e menos abundantes na maioria dos solos do país onde os plantios estão estabelecidos. Segundo Silveira et al. (1995) nas florestas plantadas com eucaliptos, predominam os Latossolos (64%), depois os Argissolos (16%), os Cambissolos/Neossolos Litólicos (10%) e os Neossolos Quartzarênicos (5%). Esses locais são, de modo geral, de baixa fertilidade, com deficiência de potássio e outros minerais e sujeitos a períodos de déficit hídrico (GAVA, 1997; GONÇALVES, et al., 2004). Nesses tipos de solos a eficiência da adubação potássica é baixa por apresentarem significativa lixiviação, em razão de serem altamente intemperizados e por apresentarem textura arenosa, com baixa capacidade de troca catiônica (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Por ser um elemento muito móvel na planta, tanto dentro da célula individual, como dentro de tecidos, e não fazer parte de nenhum composto orgânico, o potássio não apresenta função estrutural na planta (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000), estando presente, principalmente, no citoplasma das células e nos vacúolos (LEIGH; WYN JOHNS, 1984), atuando sobre a elasticidade das paredes celulares e como osmorregulador iônico de turgescência das células guarda, responsável pela expansão celular e pelos movimentos estomáticos (MENGEL; ARNEKE, 1982;

MARSCHNER, 1985; FISCHER, 2004), participando no controle osmótico das células (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000; MARSCHNER, 1985).

O uso mais eficiente da água está relacionado com o tempo de abertura estomática, pois, quando a planta absorve o dióxido de Carbono ($CO_2$) para a fotossíntese, a água é perdida para o ambiente via transpiração, seguindo uma corrente de potenciais hídricos (PEREIRA-NETTO et al., 2002), e de acordo com Taiz et al. (2017) o gradiente motor da perda de água pelas folhas é muito maior que o da absorção de $CO_2$, sendo perdidas cerca de 400 moléculas de água para cada molécula de $CO_2$ obtida.

De acordo com Silveira; Malavolta (2000) plantas bem supridas de potássio são mais resistentes a secas e geadas, em razão da maior retenção de água, apresentam menor decréscimo da fotossíntese em condições de estresse hídrico (MARSCHNER, 1995), devido ao fato do potássio por participar da produção de clorofila e de adenosina trifosfato (ATP) (ZHAO; OOSTERHUIS; BEDNARZ, 2001; ONANUGA; JIANG; ADL, 2012), além disso apresentam redução na incidência, severidade e danos causados por insetos e fungos, devido ao favorecimento da síntese de compostos fenólicos, os quais atuam como inibidores destes (HUBER; ARNY, 1985; PERRENOUD, 1990).

Quando as plantas se encontram sob condições de estresse hídrico, ocorre um aumento na concentração de solutos, resultando em maior potencial osmótico (mais negativo), assim, esse controle osmótico exercido pelo potássio é importante para a manutenção de processo que dependem da manutenção do turgor em condições de déficit hídrico (MOMENTEL, 2016).

Plantas deficientes em potássio apresentam menor turgor, pequena expansão celular, maior potencial osmótico (mais negativo) e fechamento dos estômatos de forma irregular, podendo ocorrer menor assimilação de $CO_2$ nos cloroplastos (MENGEL; KIRKBY, 1978; MALAVOLTA et al.; 1997), menor taxa fotossintética e maiores taxas de respiração por unidade de área foliar, e a combinação desses dois fatores, segundo Pretty (1982) pode diminuir as reservas de carboidratos da planta, consequentemente uma redução na produção de massa seca e do crescimento da parte aérea e raiz. Diversos estudos como Barros et al. (1981, 1992), Gava (1997), Scatolini et al. (1996) e Stape; Benedetti (1997) observaram incrementos no volume de madeira em resposta a aplicação de potássio.

## 2.5. Relações Hídricas

Em bacias hidrográficas cobertas por florestas os serviços de provisão da água se devem a alguns processos hidrológicos. Durante um evento de precipitação sobre uma floresta, o dossel intercepta parte da água da chuva, reduzindo o volume que chega diretamente ao solo (DAVID; VALENTE; GASH, 2005; BRAUMAN et al., 2007). A água interceptada pode tanto retornar a atmosfera por evaporação como atingir o solo mais lentamente pelo escoamento do tronco (EDWARD; WILLIARD; SCHOONOVER, 2015). Parte da água armazenada nos solos é utilizada pela floresta, retornando para a atmosfera por meio da transpiração, e parte é liberada aos poucos para os rios (BRUIJNZEEL, 2004).

O consumo de água em florestas plantadas de rápido crescimento está relacionado a disponibilidade hídrica da região e tende a ser maior durante seu crescimento inicial, entre o terceiro e quinto ano ao considerar um ciclo de 17 anos de um plantio de *Eucalyptus saligna* (FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013), os mesmos autores encontraram que em um ciclo de 6 anos, o maior consumo ocorre aos 5 anos de idade.

A planta perde água por transpiração, através da abertura estomática, sendo necessária a reposição contínua de água para manutenção apropriada da hidratação dos tecidos (MARENCO; LOPES, 2005). O transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera ocorre de acordo com o potencial hídrico, sempre do maior para o menor. A taxa de transpiração é controlada pela demanda evaporativa do ar, quantidade de água no solo e a capacidade do solo de fornecer água as raízes. (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo Xavier (2010) os plantios de eucalipto no Brasil quando realizados em locais com índices de precipitação anual reduzidos e irregulares, compromete a produtividade dos mesmos, estando mais sujeitos aos efeitos causados pelo estresse hídrico, e segundo Chaves (1991) a extensão desses efeitos nas espécies vegetais depende da sua intensidade, da duração e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente.

O déficit hídrico pode então gerar impactos negativos no crescimento e desenvolvimento de plantas (LECOEUR; SINCLAIR, 1996), e a necessidade de sobreviver leva a planta a desenvolver mecanismos morfológicos, que resultam em economia de água para uso futuro (McCREE; FERNÁNDEZ, 1989), comprometendo

a produção de biomassa. Dessa forma, as plantas tendem a equilibrar o rendimento e a sobrevivência, otimizando sua morfologia, fisiologia e metabolismo dos órgãos celulares (LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; LANDSBERG; SANDS, 2012).

Para Nogueira et al. (2005), as plantas possuem vários processos adaptativos à escassez de água, devido a capacidade de reduzir o potencial hídrico, em conjunto com as adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas, e por isso, para uma melhor compreensão do crescimento, do desenvolvimento e da fisiologia de uma planta, é necessário conhecer os fatores que controlam o uso da água (TONELLO, 2007).

Entre as estratégias utilizadas pelas plantas para sobreviver ao déficit hídrico, as mais comumente observadas são, o incremento da absorção de água, através do aumento em profundidade das raízes, e a redução das perdas por transpiração, com a redução da área foliar, da radiação absorvida e com uma aceleração da senescência e abscisão das folhas (LEVITT, 1980; BRADFORD, HSIAO, 1982; McCREE; FERNÁNDEZ, 1989; TAIZ; ZEIGER, 1991). Segundo Turner (1986) existem dois mecanismos associados a resistência a seca, o destinado à manutenção da turgescência celular (ajuste osmótico e elástico) e os que permitem tolerância a desidratação (tolerância protoplasmática).

Caso a seca persista, a magnitude dos efeitos é acentuada, afetando outros processos fisiológicos, destacando-se o fechamento estomático, que leva a um decréscimo das taxas de fotossíntese e a uma diminuição do transporte de água no xilema, implicando em uma diminuição da distribuição de água e dos elementos absorvidos pela raiz, para as demais partes da planta (SHANER; BOYER, 1976).

As espécies que são tolerantes ao déficit hídrico possuem mecanismos de controle da abertura/fechamento estomático, tendendo a agir no sentido de minimizar as perdas de água por transpiração, permitindo assim, a fixação do carbono e melhorando a eficiência de uso da água, desse modo, a resistência estomática sob déficit hídrico pode indicar a eficiência da espécie em conservar água (LISAR et al., 2012; FRANÇA et al., 2000; CHAVES et al., 2003).

O déficit hídrico leva a expressão de um conjunto de genes envolvidos na aclimatação e adaptação ao estresse, com isso, as plantas respondem diferentemente dependendo da intensidade e duração do déficit hídrico, bem como a idade, grau de adaptação e da atividade sazonal ou mesmo diária (LARCHER, 2006; TAIZ. ZEIGER, 2009; LANDSBERG; SANDS, 2012).

Alguns estudos já forneceram informações importantes sobre a relação entre essas florestas plantadas e a água em escala de microbacia hidrográfica (CÃMARA; LIMA, 1999; VITAL; LIMA; CAMARGO, 1999; ALMEIDA; SOARES, 2003; ALMEIDA et al., 2007; FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013; SALEMI et al., 2013), porém é necessário expandir o conhecimento a fim de nortear as alternativas de manejo, devido a importância das florestas plantadas de eucalipto e sua relação com a água em tempos de mudanças climáticas.

## 2.6. Fluxo de Seiva

Determinar com precisão a quantidade de água transpirada pelas árvores e florestas está se tornando cada vez mais importante, no entanto, o tamanho e a complexidade das árvores, torna a medição direta difícil e onerosa (PEREIRA-NETTO et al., 2002). Por esse motivo, pesquisadores tem desenvolvido métodos auxiliares que permitem estimar a transpiração por árvore (GENTIL, 2010), como é o caso dos métodos térmicos (dissipação de calor) que relacionam a temperatura e o fluxo de seiva que passa pelo tronco (GRANIER, 1985, 1987; GRANIER et al., 1996).

Medições de fluxo de seiva fornecem estimativas da velocidade da água em movimento no tronco por unidade de tempo (GHARUN et al., 2013). Além da estimativa de transpiração de grandes áreas vegetadas, com base em várias técnicas de integração, também tem sido utilizada na investigação de efeitos ambientais como, na variação da transpiração em condições de campo, em fisiologia do estresse e fitossanidade (PAMPONET et al., 2012).

O método mais apropriado para medir transpiração no que se refere a indivíduo, podendo ser combinado com medidas de condutância estomática em nível foliar, é a utilização de sensores que medem o fluxo de seiva pelo xilema (Granier et al., 1996; Smith e Allen 1996). Esse método foi desenvolvido originalmente para medida de fluxo de seiva em espécies florestais por Granier (1985), relacionando a velocidade de dissipação do calor, aplicado a um ponto no tronco, com o fluxo de seiva; em outras palavras, consiste na relação entre a densidade de transporte convectivo de massa (seiva) através da secção transversal do tronco ou ramo e a velocidade de dissipação de calor ocasionado pelo transporte; por isso, o método exige fornecimento de uma pequena quantidade de calor de forma constante através

de uma sonda de dissipação térmica, e a variação temporal da diferença de temperatura entre esse ponto e um ponto abaixo do mesmo (aproximadamente 10 cm) é ocasionada pelo transporte convectivo de calor pela seiva (DELGADO ROJAS, 2003).

Em condições hídricas normais da planta, essa relação acompanha a demanda atmosférica do meio ambiente em função da radiação solar, temperatura, vento, umidade do ar, área foliar, déficit de água no solo, potencial de água na folha etc. Em um dia, a máxima diferença de temperatura entre os dois pontos de medida significa que o fluxo de seiva é mínimo ou nulo, normalmente ocorre ao amanhecer, enquanto que a mínima diferença significa uma taxa máxima de fluxo de seiva através dessa área de transporte, ocorrendo próximo as 16 horas (DELGADO ROJAS, 2003).

Segundo Delgado Rojas (2003) para que se possa determinar a densidade de fluxo de seiva na secção transversal do caule e sua transformação em fluxo de água é necessário que se determine da forma mais exata o possível a área condutiva de seiva no lenho (“xilema efetivo”), sendo isso uma importante fonte de erro do método.

Granier (1985, 1987) ao calibrar o método, primeiramente com três espécies de plantas lenhosas, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus nigra* e *Quercus pendulata* e posteriormente com cinco espécies, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus nigra*, *Quercus robur*, *Castanea sativa* e *Prunus malus* e em uma coluna de serragem (KÖSTNER; GRANIER; CERMÁK, 1998), verificou que apenas uma única equação de calibração pode ser utilizada para todas essas espécies, por isso, propôs que essa equação poderia ser utilizada para qualquer planta lenhosa com diâmetro de caule superior a 4 cm (SMITH; ALLEN, 1996).

Medições diretas do fluxo xilemático para árvores individuais têm sido comumente usados para espécies de *Eucalyptus* no cenário mundial (VERTESSY, et al., 2003; DELGADO ROJAS, at al., 2006; HUBBARD et al., 2010; RUBILAR at al., 2017). Estas mensurações promovem estimativas de taxas de transpiração através de cálculos que incorporam variação do fluxo xilemático com o tamanho do alburno da árvore (WHITEHEAD; BEADLE, 2004).

# 3. MATERIAIS E MÉTODOS

## 3.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi instalado em dezembro de 2011 na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, localizada no município de Itatinga-SP (Figura 1), seguindo-se dos princípios de cultivo mínimo segundo Gonçalves et al. (2000), e pelo fato da área já ter sido anteriormente manejada, a subsolagem foi feita nas entrelinhas do ciclo anterior.

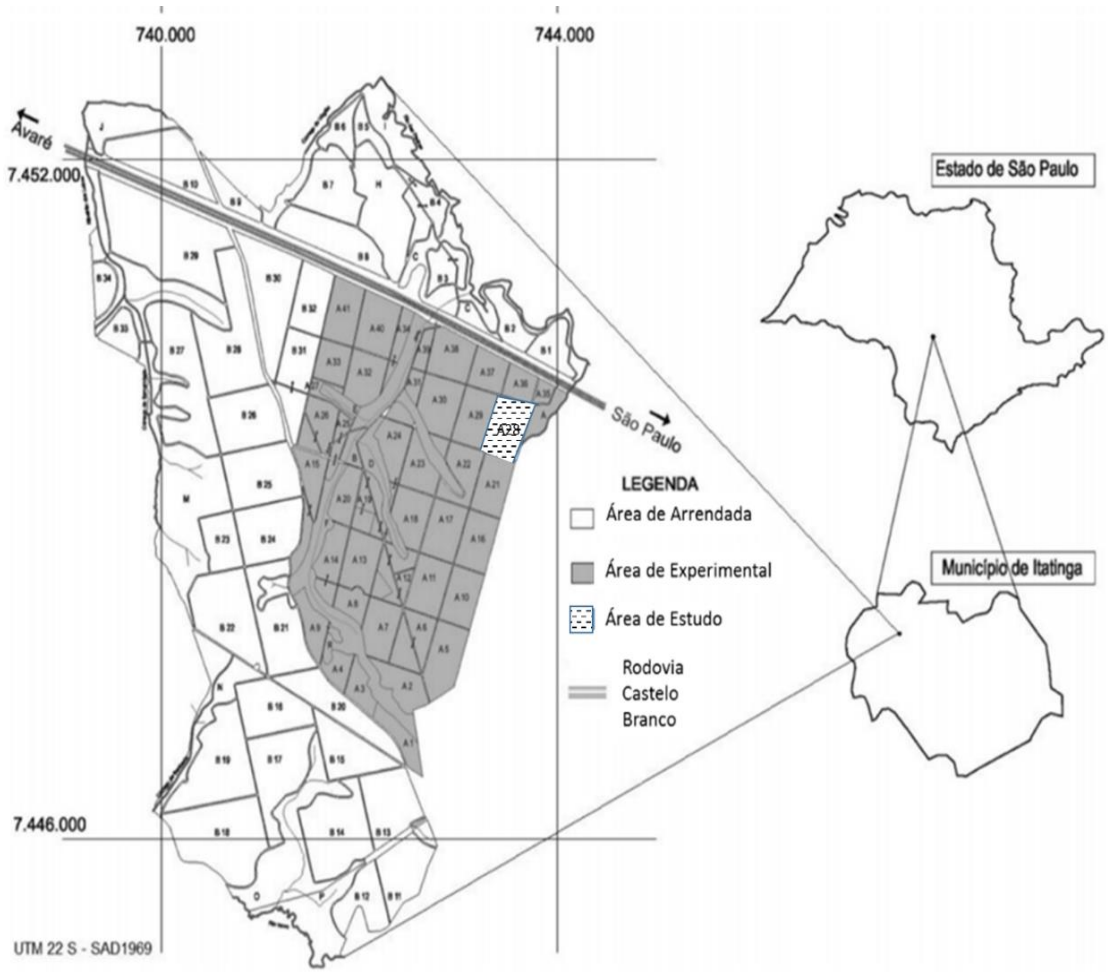


**Figura 1.** Mapa de localização e de divisão territorial da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga. Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2012)

O solo onde o experimento foi instalado é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média (LVAd) (GONÇALVES

et al., 2012), caracterizado pela sua baixa fertilidade (EMBRAPA, 2006) e drenagem acentuada. Previamente a instalação do experimento fez-se a caracterização química do solo para fins de avaliação da fertilidade, conforme descrito por MUIANGA (2013).

A análise química do solo mostrou que, de forma geral, com base na classificação de fertilidade do solo (GONÇALVES, 2011), que os teores de nutrientes encontrados são considerados baixos, com exceção da CTC que se encontra em níveis considerados altos. Os estoques de cálcio ($Ca^{2+}$) e potássio ($K^{+}$) estavam muito baixos e mantiveram-se constantes em todas as profundidades (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos do solo da área experimental até 90 cm de profundidade

| Prof. | pH | P | K | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cm | | mg dm$^{-3}$ | ---------- | ---------- | mmolc dm$^{-3}$ | ---------- | ---------- | ---------- | % |
| 0 – 20 | 3,83 | 5,00 | 0,77 | < 3 | 1,50 | 73,83 | 3,25 | 77,4 | 4,33 |
| 20 – 40 | 3,87 | 2,00 | < 0,70 | < 3 | 1,33 | 71,83 | 2,97 | 75,07 | 4,17 |
| 40 – 60 | 3,90 | 2,66 | < 0,70 | < 3 | 1,00 | 51,33 | 2,77 | 54,27 | 5,17 |
| 60 – 90 | 3,97 | 1,58 | < 0,70 | < 3 | < 1,00 | 44,17 | 2,73 | 46,93 | 6,00 |

SB: Soma de Bases Trocáveis; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; V: Saturação da CTC por bases; P, K, Ca e Mg extraídos pela resida trocadora de íons; H+Al (acidez potencial) extraído com tampão SMP.
Fonte: MUIANGA (2013).

A curva de retenção de água no solo (Figura 2) foi determinada conforme a EMBRAPA (1997), onde Pm é o potencial matricial lido no tensiômetro (cm c a).

$$\mathrm{Ua} = 0{,}109 + \frac{(0{,}477 - 0{,}109)}{[1 + (\mathrm{Pm} * 0{,}0574)^{1{,}7651}]^{0{,}4335}}$$

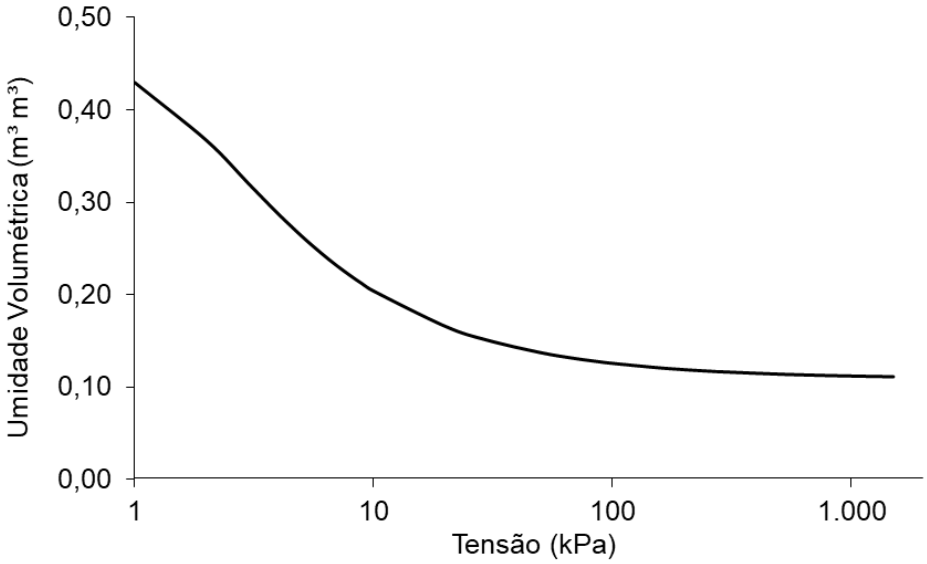


**Figura 2.** Curva de retenção de água do solo

O clima de acordo de acordo com a classificação Köpen é definido como Cwa: clima temperado úmido com inverno seco e verão quente com chuvas, sendo a temperatura média anual de 20ºC, com temperaturas média das mínimas do mês mais frio de 3ºC e máxima do mês mais quente de 32ºC, e a precipitação média anual de 1350 mm.

Podemos observar na Figura 3 que durante o período de avaliação do experimento, dezembro de 2011 a dezembro de 2018, não houve um padrão de distribuição da precipitação e da temperatura entre os anos. A maior precipitação ocorreu em janeiro de 2017, com 484,12 mm, e a menor em julho de 2017, com 0 mm. A temperatura máxima foi de 36,4 ºC em outubro de 2014 e a mínima foi de 3,41 ºC em abril de 2013. A temperatura média nesse período foi de 20,06 ºC.

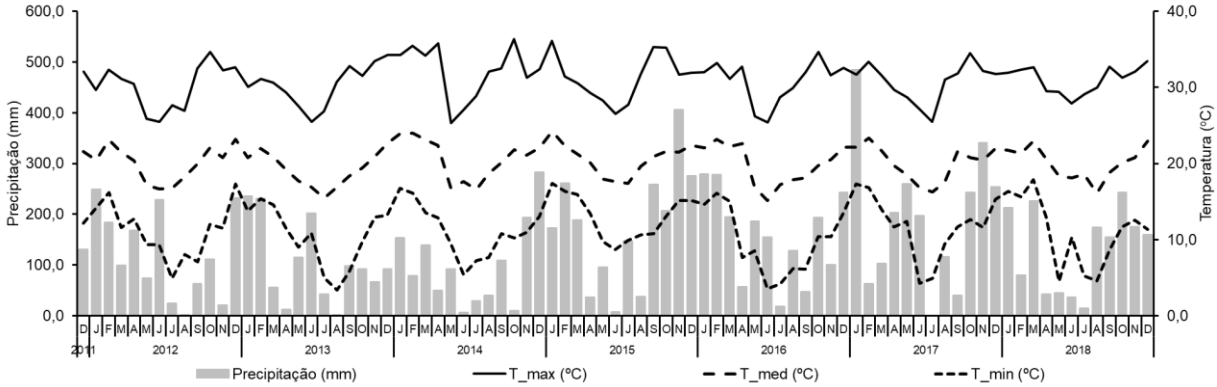


**Figura 3**. Precipitação em milímetros (mm), Temperaturas Média em ºC (T_med), Máxima em ºC (T_max) e Mínima em ºC (T_min) para o período de Janeiro de 2016 a Setembro de 2017, conforme a estação meteorológica automática da EECFI.

### 3.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado em um delineamento experimental em blocos casualizados, com seis repetições, cada uma composta por doze tratamentos em um arranjo fatorial 6x2, sendo seis clones de eucalipto, COP 1404, COP 1407, AEC 042, AEC 224, AEC 144 e AEC 1528, onde os 5 primeiros clones representam o *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e o último representa o *Eucalyptus* sp. (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA e ABASTECIMENTO - MAPA, 2017) e duas doses de adubação potássica, 0 kg $ha^{-1}$ e 140 kg $ha^{-1}$. Os indivíduos foram plantados no espaçamento de 3m x 2m em parcelas retangulares, formadas por 25 árvores (5 linhas de 5 plantas) e cada uma contém 9 árvores na área útil e uma bordadura interna simples, além de bordadura externa dupla à área experimental.

Os clones COP 1404 e COP 1407 foram desenvolvidos pela empresa Copener Florestal LTDA. na região de Alagoinhas - BA, sendo que o primeiro, de acordo com a própria empresa, apresenta média tolerância ao déficit hídrico e o segundo baixa tolerância (RODRIGUES, 2017). Os materiais AEC 042, AEC 224, AEC 144 e AEC 1528 foram desenvolvidos pela empresa Aperam Bioenergia LTDA. no norte do estado de Minas Gerais, na região do Vale do Jequitinhonha, e segundo a própria empresa todos são considerados tolerantes ao déficit hídrico.

Uma semana após o plantio, as mudas receberam a adubação de base uniforme em todo experimento constituída em 200 kg $ha^{-1}$ de N-P-K 06-30-06, 17 kg $ha^{-1}$ de FTE Br 12 (substancia composta de micronutrientes de lenta solubilidade) e 2 t $ha^{-1}$ de calcário dolomítico. O potássio aplicado nessa adubação teve como objetivo favorecer o estabelecimento das mudas em campo, sendo aplicado em todas as repetições do experimento. Aos 3 meses de idade, realizou-se a primeira adubação de cobertura, na qual aplicou-se 68 kg $ha^{-1}$ de sulfato de amônio e 5 kg $ha^{-1}$ de borogran em todas as parcelas, e 50 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio nas parcelas sem omissão de potássio; aos 8 meses de idade realizou-se uma adubação complementar nas parcelas sem omissão de potássio, nas quais foi aplicado 78 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio. Ao longo do experimento foi aplicado um total de 91,26 kg $ha^{-1}$ de $K_2O$, equivalente a 140 kg $ha^{-1}$ de adubação potássica.

### 3.3. Avaliação de crescimento

As avaliações de crescimento do experimento foram realizadas em todos os tratamentos e repetições para as variáveis: atura total, em metros (m), desde os 4 meses de idade, possuindo mensurações aos 4, 9, 12, 15, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 57, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 81 e 84 meses de idade; comprimento da base da copa (considerando que a copa começa a partir do ponto que se observam galhos com folhas verdes de forma contínua), em metros (m), a partir do 27º mês de idade do experimento, seguindo a mesma frequência da variável altura total, ambas variáveis foram obtidas com o auxílio do hipsômetro Vertéx com precisão de 0,1m, a partir dessas duas variáveis foi possível obter a porcentagem de copa (%), que corresponde ao quanto da altura total da árvore é preenchida pela copa; diâmetro a altura do peito – DAP, em centímetros (cm), avaliado desde o 12º mês, seguindo a

mesma frequência da variável altura total, com o uso da suta de 40cm, com precisão de 1cm.

Para a determinação do volume individual das árvores, foram cubadas em: 1) fevereiro de 2015 e agostos de 2016 pelo método de Smalian, em parcelas para amostragens destrutivas plantadas em área adjacente com os mesmos materiais genéticos, 36 árvores, sendo 6 indivíduos de cada clone no tratamento com adubação potássica, em cada avaliação; 2) em janeiro de 2018 pelo mesmo método, também em parcelas da área adjacente, 162 árvores, com 27 indivíduos para cada um dos clones do tratamento com adubação de potássio; 3) e em janeiro de 2019 foram cubadas, na área experimental, 108 árvores, sendo 9 árvores em cada um dos tratamentos, considerando a combinação entre os 6 clones e as 2 doses de potássio. É importante ressaltar que em todas as avaliações os clones foram classificados em três classes diamétricas para a amostragem dos indivíduos em igualdade no número de árvores por classe.

### 3.4. Biomassa

Juntamente com as cubagens foram realizadas as coletas para a quantificação da biomassa de folhas, em quilogramas (kg), em três terços da copa, de galhos (kg), de madeira (kg) e a biomassa total acima do solo (kg) (Figura 4). No presente estudo foram considerados para análise os dados de biomassa de madeira (kg)

Para a biomassa de madeira, foram retirados discos de 2,5 cm de espessura no DAP das árvores, e de cada um deles foram extraídos dois corpos de prova, de aproximadamente 2,5 cm de espessura, para a determinação em laboratório, da densidade básica média da madeira de cada árvore amostrada, segundo a Norma analítica NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Dessa forma, a biomassa da madeira foi calculada com a seguinte expressão (VITAL et al., 1985; FINKE HERRERA, 1989; SOUZA, 1989):

$$\mathrm{PS(c)} = \mathrm{Vol} * \mathrm{DBMT}$$

sendo:
PS(c) = biomassa de madeira, em Toneladas (t);
Vol = volume de madeira, em metros cúbicos ($m^3$);
DBMT = densidade básica média da madeira, em quilogramas por metros cúbicos ($t/m^3$).

Visando estimar a biomassa de madeira para cada árvore de todas as parcelas, foram testados os modelos de regressão abaixo.

$$\text{Modelo_1: Biomassa} = \beta_0 * (\text{DAP}^2 * \text{H})^{\beta_1}$$

$$\text{Modelo_2: Biomassa} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Vol}$$

em que:
Biomassa = Biomassa de madeira, em toneladas por árvore (t/árvore);
DAP = diâmetro a altura do peito, em centímetros (cm);
H = altura total da árvore, em metros (m);
Vol = volume da árvore, em metros cúbicos ($m^3$);
$\beta_i$ = parâmetros da regressão.

O modelo foi selecionado com base na correlação entre a biomassa de madeira observada e a biomassa de madeira estimada ($R_{\hat{y}y}$), o VIÉS (enviezamento das estimativas), a raiz quadrada do erro médio (RQEM) e o histograma de frequência dos erros percentuais.

**Figura 4**. Realização da biomassa total acima do solo. Fonte: Acervo do autor.

### 3.5. Avaliação do índice de Área Foliar (IAF)

Com auxílio do equipamento LAI-2200 o IAF foi avaliado em todos os tratamentos e repetições desde o 27º mês, essas avaliações sempre ocorreram em conjunto com as avaliações de crescimento.

As coletas de dados foram realizadas utilizando-se duas hastes (LI-COR; 2013), e as medições foram executadas sob luz difusa (no começo da manhã ou no

final da tarde), com os equipamentos posicionados sempre na direção oposta ao sol, para garantir condições de iluminação similares. A haste que funcionava remotamente coletando dados de radiação solar total que chegava ao sistema, foi programada para registrar dados a cada 15 segundos, e na que registrava os dados da quantidade de luz interceptada pelo povoamento, foram realizadas 24 leituras por parcela, sempre distribuídas de forma sistemática (Figura 5), e em ambas hastes foram utilizados o ângulo de abertura de 10º.

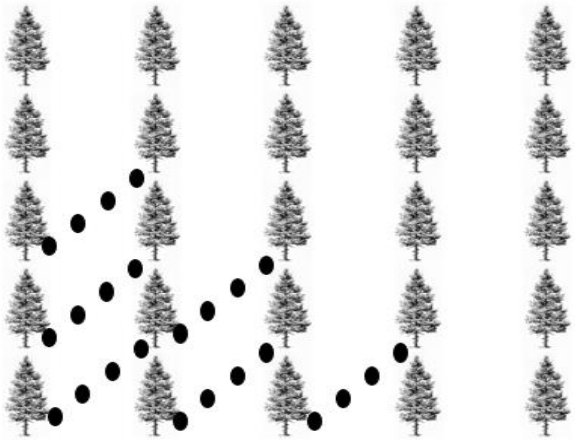

**Figura 5.** Amostragem sistemática dos pontos de coleta dos dados de IAF com o equipamento LAI-2200.

### 3.6. Senescência foliar

Visando analisar a senescência foliar, foram instalados, sistematicamente, coletores para a amostragem da deposição de folhedo no centro de todas as parcelas e repetições do experimento (Figura 6). A coleta do material foi realizada mensalmente entre janeiro de 2014 a junho de 2015 e de abril de 2017 a dezembro de 2018. Os coletores foram confeccionados com moldura de madeira com fundo em tela de nylon, sendo considerados coletores tipo bandeja. Possuem dimensões de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²) e foram dispostos a 0,5 metro em relação à superfície do solo.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura (LEFS) da ESALQ/USP, onde foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 60ºC até atingirem peso constante e, por último, foram pesadas em balança com precisão de 0,01g para determinação do peso seco.

**Figura 6.** Coletores de folhedo. Fonte: Acervo do autor.

### 3.7. Determinação da Umidade do Solo

A determinação da umidade do solo foi estimada com base na amostragem realizada em três tubos de acesso, em todas as parcelas do bloco 1 e nas parcelas que contém os clones COP 1404, AEC 042 e AEC 144 nos tratamentos com (K+) e sem (K-) adubação potássica do bloco 2. Os tubos foram instalados entre duas plantas na linha de plantio, entre duas plantas na entrelinha de plantio e no centro geográfico de 4 árvores (Figura 7), com o objetivo de estimar a disponibilidade de água para as plantas ao longo do experimento em três posições diferentes na parcela, e a resposta de crescimento das árvores às diferentes disponibilidades de água no solo em diferentes profundidades (variando de 10 a 160 cm de profundidade em um intervalo de 10 cm).

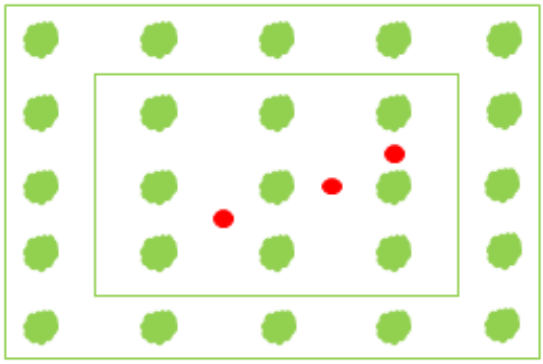

**Figura 7.** Croqui da distribuição dos tubos de acesso na parcela

As medidas foram realizadas quinzenalmente de junho de 2014 a julho de 2015 e entre outubro de 2016 a dezembro de 2018 com o equipamento **Diviner** 2000® (Figura 8).

**Figura 8.** Medição da umidade do solo com o equipamento Diviner 2000®. Fonte: Acervo do autor.

### 3.8. Calibração do Método de Granier (1985)

Para a determinação do fluxo de seiva adotou-se o método de sondas de Granier (GRANIER, 1985), e para a realização das estimativas de transpiração foram realizadas duas calibrações.

A primeira calibração do método foi executada entre os meses de fevereiro e março de 2015 (39 meses) em 6 indivíduos de cada um dos clones no tratamento com adubação potássica, previamente classificados em 3 classes diamétricas. Através da análise dos dados, foram encontradas diferenças nas calibrações entre os clones e o surgimento da hipótese de que essas curvas também fossem diferentes quando comparadas com uma idade posterior. Dessa forma, foi realizado entre os meses de julho e agosto de 2016 (56 meses) uma nova calibração, utilizando a mesma metodologia e amostragem.

Em ambas calibrações, foi necessário realizar o abate das árvores e retirar seções de 0,36 m de comprimento, posteriormente conectadas a um sistema hidráulico pressurizado (DELGADO ROJAS; FOLEGATTI; ANGELOCCI, 2006)

(Figura 9), essas amostragens, conforme destacadas no item 3.3, foram realizadas em parcelas destinadas para ensaios destrutivos, plantadas em área adjacente ao experimento. Para forçar a passagem de água pelo xilema (Figura 10), o sistema possui um tanque de nitrogênio líquido com capacidade de fornecimento de pressão de até 100 bar.

**Figura 9.** Sistema Hidráulico Pressurizado. Fonte: Acervo do autor.

As medições da vazão de água foram realizadas por uma balança, com precisão de 0,1 g, instalada no final do segmento do caule. Com a instalação de sensores de fluxo xilemático nos segmentos de caule, foram realizadas leituras instantâneas da temperatura dos sensores, da quantidade de água que passa pelo xilema, e para a obtenção da diferença máxima de temperatura entre os dois sensores ($\Delta T_{max}$) o sistema é despressurizado e se espera o tempo necessário para a estabilização da temperatura das sondas.

**Figura 10.** Passagem forçada da água pelo xilema. Fonte: Acervo do autor.

Dessa forma, em posse dos dados de vazão do fluxo de água e das mensurações dos sensores, foi possível obter uma curva de variação da densidade do fluxo de seiva (“u”) pelo coeficiente K, e assim estimou-se os parâmetros “α” e “β” da equação empírica proposta por Granier (1985) para cada clone aos 39 e 56 meses de idade. Assim, as curvas obtidas nos processos de calibração em anos distintos foram comparadas, verificando a necessidade, ou não, da realização de mais de um processo de calibração ao longo do desenvolvimento das árvores.

A densidade de fluxo de seiva “u” (g $cm^{-2}$ $s^{-1}$) foi calculada baseando-se em uma relação empírica determinada para várias espécies descrita por Granier (1985):

$$\mathrm{u} = \alpha \mathrm{K}^{\beta} \therefore \mathrm{u} = 0{,}0119\mathrm{K}^{1{,}23}$$

Onde “α” e “β” são os parâmetros da equação, “u” é a densidade do fluxo de seiva, em $g.cm^{-2}.s^{-1}$, “K” é a constante que relaciona as temperaturas medidas pelos sensores, obtida pela equação:

$$\mathrm{K} = \frac{\Delta \mathrm{T}_{\mathrm{max}}}{\Delta \mathrm{T}} - 1$$

Em que, $\Delta \mathrm{T}_{\mathrm{max}}$ é a diferença máxima de temperatura entre os dois sensores, quando o fluxo é nulo, e que normalmente ocorre durante a madrugada, e $\Delta \mathrm{T}$ é a diferença de temperatura obtida em cada instante, ou seja, quando o fluxo é maior que zero.

### 3.8.1. Determinação do Fluxo de Seiva – Transpiração das árvores

A análise do fluxo de seiva foi realizada nos materiais genéticos COP 1404 e AEC 144, pois estes demonstraram em avaliações de crescimento previas, os comportamentos mais contrastantes entre clones. A instalação dos sensores de fluxo foi executada em abril de 2017 em 8 árvores de cada um dos clones, sendo 4 na presença de potássio (140 kg $ha^{-1}$) e 4 na ausência (0 kg $ha^{-1}$). Para as estimativas de transpiração noturna, adotou-se o período em que a radiação fotossinteticamente ativa é menor que 1 µmol/m² s, que corresponde ao horário entre as 18 horas da tarde e as 7 horas da manhã, segundo Phillips et al. (2010).

O sensor consiste de duas sondas de 2 mm de diâmetro e 2 cm de comprimento, que foram inseridas no lenho das árvores a 1,30 m da superfície do solo, separados por uma distância vertical de 10 cm (Figura 11). As sondas possuem um termopar de cobre-constantan no centro de uma agulha hipodérmica. Além do termopar, a sonda superior possui uma resistência elétrica, alimentada por uma bateria de 12 volts, provocando um aumento de temperatura no local de inserção da sonda. Desta maneira, estabelece-se uma diferença de temperatura entre a sonda superior e a inferior, que é função do fluxo de seiva pelos vasos intactos. Não havendo fluxo, a diferença de temperatura entre as sondas é máxima, e se houver fluxo, o calor da sonda é dissipado por convecção e a diferença de temperatura entre as sondas diminui.

**Figura 11.** em I, os sensores de fluxo de seiva instalados em campo, em A, a sonda alimentada pela bateria de 12 volts e em B a sonda que mede a temperatura ambiente da água que passa pelos vasos, em II tem-se a manutenção dos sensores de fluxo de seiva em campo. Fonte: Acervo do autor.

Desde a instalação dos sensores, as medidas das diferenças de temperaturas entre eles foram realizadas a cada minuto e a média desses dados é registrada a cada 30 minutos, e foram armazenadas automaticamente em um datalogger (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA). Essas informações foram obtidas até dezembro de 2018.

Para o cálculo do fluxo (F) ($m^3\ s^{-1}$), multiplicou-se a densidade de fluxo de seiva (u), estimada pela curva de calibração ajustada aos 56 meses de idade, pela área do alburno ($A_a$), a qual foi aferida para cada árvore, mensalmente, a partir de medições do DAP (cm) na altura da sonda superior.

$$F = u * A_a$$

Em que F é o fluxo de seiva na árvore em $m^3\ s^{-1}$, u é a densidade do fluxo de seiva ($g\ cm^{-2}\ s^{-1}$) e $A_a$ é a área do alburno ($cm^2$).

### 3.8.2. Determinação e estimativa da área do alburno ($A_a$)

Na água que passou forçadamente pelo xilema durante os processos de calibração foi inserido o corante vermelho de safranina, dessa forma após o processo o alburno ficou corado de vermelho, possibilitando assim que fossem medidos a largura da casca (mm), o diâmetro total com casca (mm) e o diâmetro do

cerne (mm) (Figura 12), possibilitando a determinação da área de alburno de cada uma das toras utilizadas nos processos de calibração, aos 39 e 56 meses de idade.

**Figura 12.** Medidas realizadas na secção do tronco com auxílio do corante vermelho de safranina, em A tem-se a largura da casca (mm), em B o diâmetro total com casca (mm) e em C o diâmetro do cerne (mm).

Para a realização dos cálculos de transpiração foi necessário estimar, para todos os meses de avaliação, a área do alburno das árvores onde os sensores de fluxo de seiva foram instalados, pois não era possível abater essas árvores. Para esta estimativa foram testados os seguintes modelos de regressão:

$$\text{Modelo_3: } \mathrm{Aa} = \beta_0 * e^{\beta_1 * \mathrm{DAP}}$$

$$\text{Modelo_4: } \mathrm{LnAa} = \beta_0 + \beta_1 * \mathrm{LnDAP}$$

$$\text{Modelo_5: } \mathrm{Aa} = \beta_0 + \beta_1 * \mathrm{DAP}$$

em que:
Aa = área de alburno, em metros quadrados (m²);
DAP = diâmetro a altura do peito, em centímetros (cm);
βi = parâmetros da regressão;
Ln = logaritmo neperiano;
e = base dos logaritmos neperianos.

O modelo foi selecionado com base na correlação entre a área de alburno observada e a área de alburno estimada ($R_{\hat{y}y}$), o VIÉS (enviezamento das

estimativas), a raiz quadrada do erro médio (RQEM) e o histograma de frequência dos erros percentuais.

### 3.9. Eficiência do uso da água (EUA)

Com as estimativas de volume de água transpirada no período avaliado e do incremento de biomassa de madeira nesse mesmo período, foi estimada a eficiência do uso da água de acordo com a expressão:

$$\mathrm{EUA} = \frac{\Delta\mathrm{Biomassa\ estimada\ de\ madeira}}{\mathrm{Transp}}$$

sendo:
EUA: Eficiência do uso da água, em gramas por litro (g/L);
Δ Biomassa estimada de madeira: Biomassa estimada final de madeira – Biomassa estimada inicial de madeira, em gramas por hectare (g/ha);
Transp: Transpiração, em litros por hectare (L/ha).

### 3.10. Variáveis Climáticas

O monitoramento das variáveis climatológicas, tais como umidade relativa do ar (%); temperaturas média, máxima e mínima (ºC); precipitação (mm); velocidade do vento (m/s), radiação global (MJ/m²), evapotranspiração (mm) e DPV (KPa) foi realizada na estação meteorológica automática da EECFI, próxima à área do experimento, possibilitando a obtenção de dados diários e mensais de cada variável.

### 3.11. Forma de Análise dos Resultados

As análises estatísticas foram realizadas com o software R-project. Para as variáveis altura total, porcentagem de copa, DAP, volume de madeira, IAF e deposição de folhedo; inicialmente, os testes de homogeneidade de variâncias de Levene's; e de normalidade dos erros de Shapiro – Wilk, foram aplicados às variáveis para a validação das pressuposições da análise da variância (ANOVA). Quando elas não foram aceitas, os dados foram transformados de acordo com a metodologia de Box-Cox (BOX; COX, 1964).

Quando todos os pressupostos foram aceitos, as variáveis foram submetidas a ANOVA em nível de significância de 5%, seguindo o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + b_i + c_j + a_k + (c * a)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Sendo, $Y_{ijk}$ o valor observado na parcela que recebeu o i-ésimo bloco, no j-ésimo clone, na k-ésima adubação, μ a constante inerente a toda população, $b_i$ o efeito devido ao i-ésimo bloco, $c_j$ o efeito do j-ésimo clone, $a_k$ o efeito devido a k-ésima adubação, e $\varepsilon_{ijk}$ o efeito dos fatores não controlados do i-ésimo bloco, no j-ésimo clone, na k-ésima adubação.

Quando o teste F da ANOVA mostrou que houveram diferenças significativas entre os clones, entre as adubações potássicas e/ou entre a interação entre esses fatores, as médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Para compararmos: as equações específicas de cada clone obtidas pelas calibrações do método de Granier (1985) com a equação proposta pelo autor e as curvas obtidas aos 39 e 56 meses de idade, entre si, foi realizado o teste de aderência de Kolmogorv-Sminorv.

Para compararmos as equações específicas de cada clone entre si nas duas idades de avaliação (39 e 56 meses de idade), além do teste de aderência, foi realizada a análise de variância (ANOVA) seguindo o seguinte modelo:

$$Y_i = \mu + C_i + \varepsilon_i$$

Onde, Yi é o valor observado de densidade de fluxo de seiva que recebeu a i-ésimo clone, μ a constante inerente a toda população, Ci o efeito devido ao i-ésimo clone e εi o efeito dos fatores não controlados do i-ésimo clone.

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 4.1. Dinâmica do Crescimento

Na Figura 13 e na Tabela 3 onde podemos observar o padrão de crescimento dos clones ao longo do período de avaliação em relação a produção por unidade de área (m³/ha), é possível notar uma diferença no crescimento volumétrico entre os clones. Ao longo de todas as avaliações, os clones COP 1404 e COP 1407 foram os menos produtivos, apresentando aos 84 meses de idade (dezembro de 2018) 72,7% e 86,5%, respectivamente, da produção alcançada pelo AEC144, o clone o mais produtivo.

Momentel (2016), ao avaliar o mesmo experimento até os 42 meses de idade (junho de 2015) observou que o clone AEC 224 demonstrou menor incremento diamétrico quando comparado aos demais clones, no entanto, foi possível analisar um grande incremento volumétrico desse material, dos 57 meses (setembro de 2016) aos 84 meses de idade (dezembro de 2018), de 109,39 m³/ha; valor esse superior ao incremento médio de todos os clones nesse mesmo período (100,24 m³/ha). A partir dos 57 meses de idade a produção por unidade de área (m³/ha) do AEC 224 foi estatisticamente igual aos clones AEC 144 e AEC 042, demonstrando que esse material apresenta um crescimento inicial lento, pois dos 12 meses (dezembro de 2012) aos 42 meses (junho de 2015), seu incremento (144,34 m³/ha) ficou abaixo da média (144,9 m³/ha), e depois alcança igual nível de crescimento que os clones mais produtivos.

Comportamento contrário pode ser observado para o clone AEC 1528, pois no período entre os 12 meses e 42 meses de idade este apresentou um incremento de 153,01 m³/ha, valor acima da média (144,88 m³/ha), e no período entre os 57 meses e 84 meses de idade apresentou um incremento de 76,31 m³/ha, consideravelmente abaixo da média (100,24 m³/ha). Apresentando então um bom arranque inicial que não foi acompanhado ao longo do crescimento (Figura 13 e Tabela 3). Também é possível verificar o crescimento abaixo da média do clone COP 1404 tanto entre os 12 meses e 42 meses de idade (118,14 m³/ha) quanto entre os 57 meses e 84 meses de idade (78,22 m³/ha).

A maior produção média encontrada para o clone AEC 144, independente do clone ter sido adubado ou não com potássio, se deve, provavelmente, a maior

capacidade desse material de se desenvolver em condições de estresse nutricional e hídrico. Foi observado maior produção no tratamento sem adubação de potássio (AEC 144 K-) (360,57 m³/ha – 84 meses – dezembro de 2018) (Figura 14 e Tabela 4), atingindo valor 15% superior ao segundo clone mais produtivo nessa situação (AEC 042 K-, 308,59 m³/ha – 84 meses – dezembro de 2018); esse valor chega a ser praticamente 55% maior que a produção do clone menos produtivo (COP1404 K-, 233,51 m³/ha – 84 meses – dezembro de 2018). Além disso, o AEC 144 no tratamento com adubação potássica (AEC 144 K+, 361,84 m³/ha – 84 meses – dezembro de 2018) não diferiu do clone AEC 042 K+ (408,17 m³/ha – 84 meses – dezembro de 2018), clone esse que apresentou os maiores valores de produção ao longo de praticamente todo o período de avaliação quando comparado com os demais tratamentos na presença da adubação potássica (Figura 15 e Tabela 5).

Os altos valores de produção observados para o AEC 042, independente da adubação (Figura 13), se devem ao seu maior crescimento em altura. Podemos observar na Figura 16 e na Tabela 6 uma diferença acentuada deste clone em relação aos demais materiais, alcançando o valor de 26,12 m, enquanto os materiais alcançaram em média 24,68 m aos 84 meses de idade (dezembro de 2018), o segundo maior valor para a variável altura (m) foi observado no clone AEC 144 (25,35 m).

Quando se compara os clones AEC 144, AEC 224, AEC 042 e AEC 1528, em relação ao DAP (m), não foram encontradas diferenças significativas em praticamente todo o período de avaliação, como pode ser observado na Figura 17 e na Tabela 7.

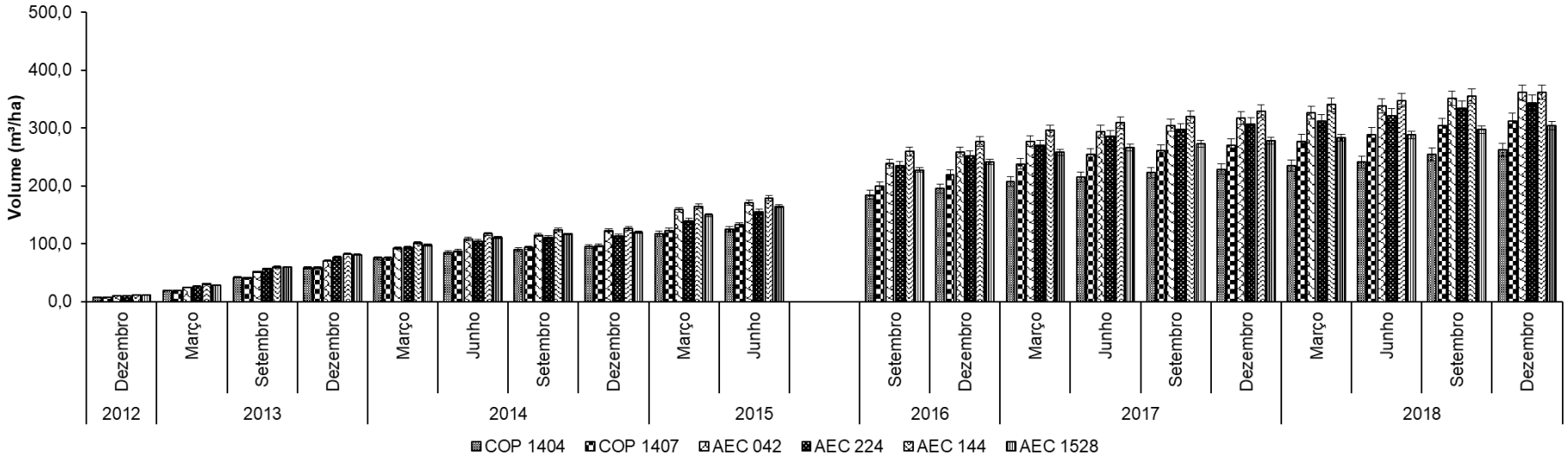


**Figura 13.** Crescimento médio dos clones para a variável volume de madeira (m³/ha) ao longo de todo o período de avaliação.

**Tabela 3.** Resultado do teste de Tukey para a variável volume de madeira (m³/ha). As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

| | dez/12 | mar/13 | set/13 | dez/13 | mar/14 | jun/14 | set/14 | dez/14 | mar/15 | jun/15 | - | set/16 | dez/16 | mar/17 | jun/17 | set/17 | dez/17 | mar/18 | jun/18 | set/18 | dez/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 meses | 15 meses | 21 meses | 24 meses | 27 meses | 30 meses | 33 meses | 36 meses | 39 meses | 42 meses | - | 57 meses | 60 meses | 63 meses | 66 meses | 69 meses | 72 meses | 75 meses | 78 meses | 81 meses | 84 meses |
| COP 1404 | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | - | C | D | D | C | C | C | C | C | C | C |
| COP 1407 | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | - | C | CD | CD | B | B | B | B | B | B | B |
| AEC 042 | B | B | B | B | B | AB | AB | AB | A | AB | - | AB | AB | AB | A | A | A | A | A | A | A |
| AEC 224 | AB | B | A | A | AB | B | B | B | B | B | - | AB | AB | AB | A | A | A | A | A | A | A |
| AEC 144 | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | - | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| AEC 1528 | A | A | A | A | AB | AB | AB | AB | AB | AB | - | B | BC | BC | B | B | B | B | B | B | B |

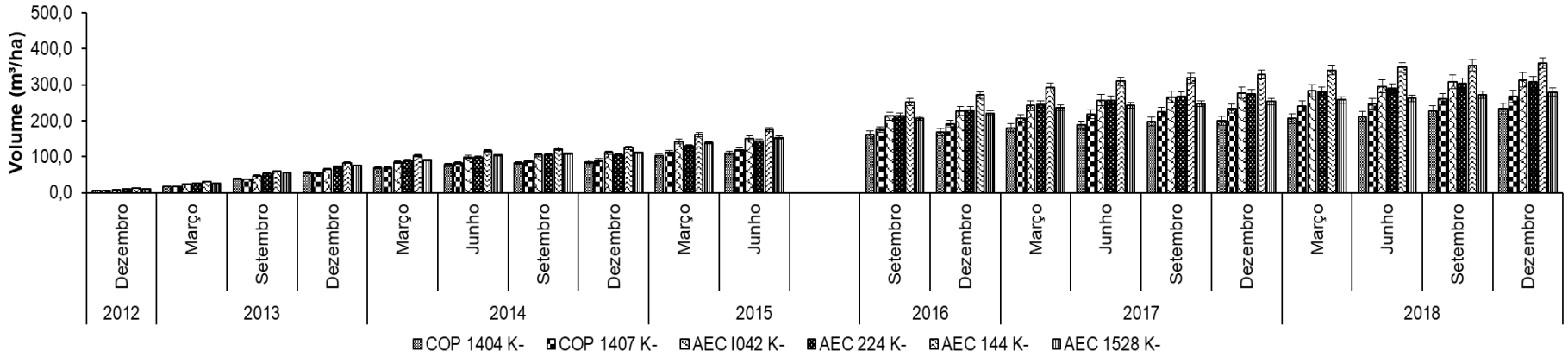


**Figura 14.** Crescimento médio dos clones para a variável volume de madeira (m³/ha) ao longo de todo o período de avaliação nos tratamentos sem adubação potássica (K-).

**Tabela 4.** Resultado do teste de Tukey para a variável volume de madeira (m³/ha) nos tratamentos sem adubação potássica (K-). Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

| | dez/12 | mar/13 | set/13 | dez/13 | mar/14 | jun/14 | set/14 | dez/14 | mar/15 | jun/15 | - | set/16 | dez/16 | mar/17 | jun/17 | set/17 | dez/17 | mar/18 | jun/18 | set/18 | dez/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 meses | 15 meses | 21 meses | 24 meses | 27 meses | 30 meses | 33 meses | 36 meses | 39 meses | 42 meses | - | 57 meses | 60 meses | 63 meses | 66 meses | 69 meses | 72 meses | 75 meses | 78 meses | 81 meses | 84 meses |
| COP 1404 | D | D | D | D | D | C | C | D | E | E | - | D | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| COP 1407 | D | D | D | D | D | C | C | C | D | D | - | C | BC | BC | BC | BC | C | BC | BC | BC | BC |
| AEC 042 | C | C | C | C | B | B | B | B | B | B | - | B | AB | B | B | B | B | B | B | B | B |
| AEC 224 | B | BC | B | B | B | B | B | B | C | C | - | B | AB | AB | B | AB | B | B | B | B | B |
| AEC 144 | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | - | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| AEC 1528 | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | - | BC | B | B | B | BC | B | BC | BC | BC | BC |

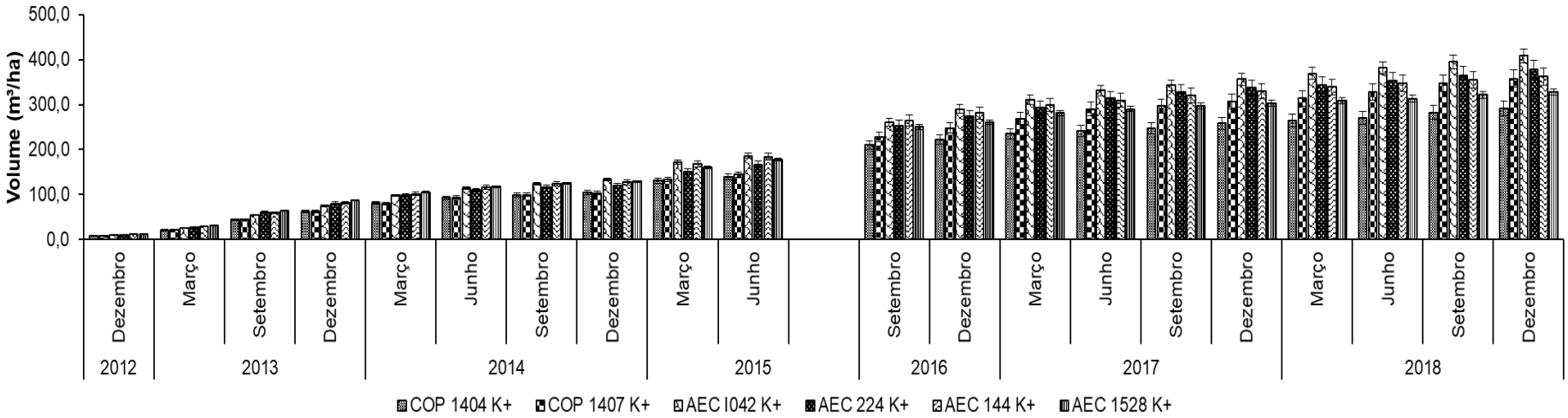


**Figura 15.** Crescimento médio dos clones para a variável volume de madeira (m³/ha) ao longo de todo o período de avaliação nos tratamentos com adubação potássica (K+).

**Tabela 5.** Resultado do teste de Tukey para a variável volume de madeira (m³/ha) nos tratamentos com adubação potássica (K+). Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

| | dez/12 | mar/13 | set/13 | dez/13 | mar/14 | jun/14 | set/14 | dez/14 | mar/15 | jun/15 | - | set/16 | dez/16 | mar/17 | jun/17 | set/17 | dez/17 | mar/18 | jun/18 | set/18 | dez/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 meses | 15 meses | 21 meses | 24 meses | 27 meses | 30 meses | 33 meses | 36 meses | 39 meses | 42 meses | - | 57 meses | 60 meses | 63 meses | 66 meses | 69 meses | 72 meses | 75 meses | 78 meses | 81 meses | 84 meses |
| COP 1404 | D | D | D | D | C | C | C | C | D | C | - | C | C | D | D | D | C | C | C | C | C |
| COP 1407 | D | D | D | D | C | C | C | C | D | C | - | BC | BC | CD | CD | CD | B | B | AB | AB | AB |
| AEC 042 | C | C | C | C | B | AB | A | A | A | A | - | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| AEC 224 | B | BC | B | B | B | B | B | B | C | B | - | AB | A | ABC | AB | AB | A | A | A | A | A |
| AEC 144 | B | B | B | B | AB | A | A | A | A | A | - | A | AB | AB | ABC | ABC | AB | AB | AB | AB | AB |
| AEC 1528 | A | A | A | A | A | A | A | A | B | B | - | ABC | ABC | BC | BC | BC | BC | BC | B | BC | BC |

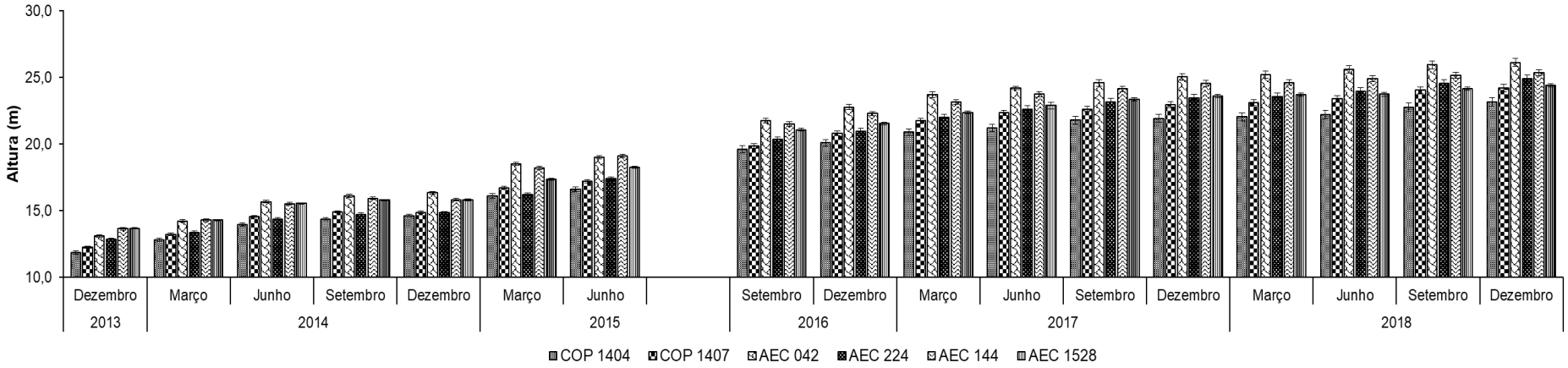


**Figura 16.** Crescimento médio dos clones para a variável Altura (m) ao longo de todo o período de avaliação.

**Tabela 6.** Resultado do teste de Tukey para a variável Altura (m). Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

| | dez/13 | mar/14 | jun/14 | set/14 | dez/14 | mar/15 | jun/15 | - | set/16 | dez/16 | mar/17 | jun/17 | set/17 | dez/17 | mar/18 | jun/18 | set/18 | dez/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 24 meses | 27 meses | 30 meses | 33 meses | 36 meses | 39 meses | 42 meses | - | 57 meses | 60 meses | 63 meses | 66 meses | 69 meses | 72 meses | 75 meses | 78 meses | 81 meses | 84 meses |
| COP 1404 | C | C | C | D | C | E | D | - | C | C | D | D | E | E | E | D | C | C |
| COP 1407 | C | BC | B | C | C | D | CD | - | C | BC | C | C | D | D | DE | CD | C | C |
| AEC 042 | B | A | A | A | A | A | A | - | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| AEC 224 | B | B | BC | CD | C | DE | C | - | B | B | B | C | CD | C | C | B | B | B |
| AEC 144 | A | A | A | AB | B | B | A | - | A | A | B | B | B | B | B | B | B | B |
| AEC 1528 | A | A | A | B | B | C | B | - | B | B | B | C | C | C | D | C | C | C |

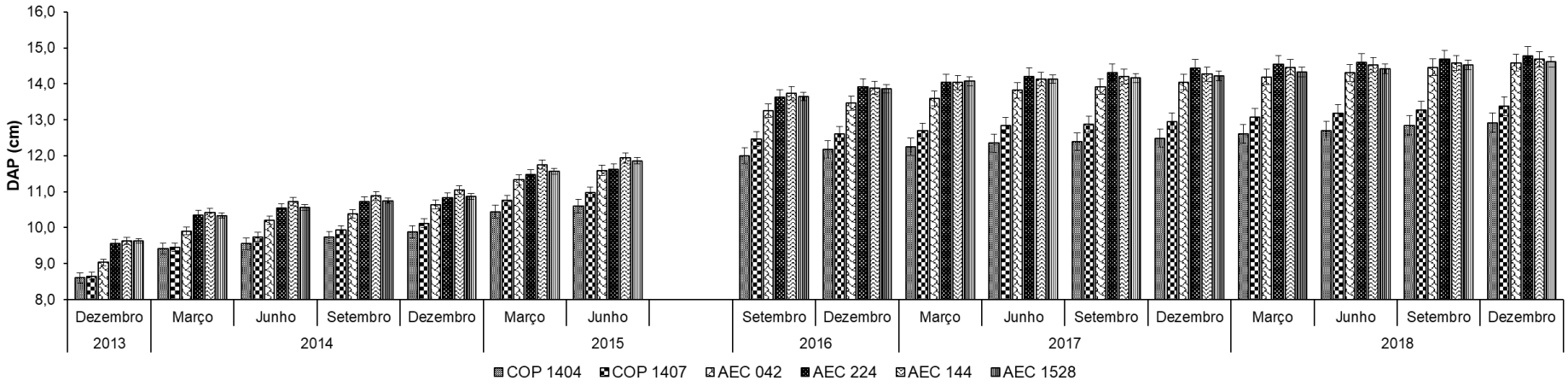


**Figura 17.** Crescimento médio dos clones para a variável DAP (cm) ao longo de todo o período de avaliação.

**Tabela 7.** Resultado do teste de Tukey para a variável DAP (cm). Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

| | dez/13 | mar/14 | jun/14 | set/14 | dez/14 | mar/15 | jun/15 | - | set/16 | dez/16 | mar/17 | jun/17 | set/17 | dez/17 | mar/18 | jun/18 | set/18 | dez/18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 24 meses | 27 meses | 30 meses | 33 meses | 36 meses | 39 meses | 42 meses | - | 57 meses | 60 meses | 63 meses | 66 meses | 69 meses | 72 meses | 75 meses | 78 meses | 81 meses | 84 meses |
| COP 1404 | B | C | D | D | C | B | B | - | B | B | B | B | C | C | B | B | B | B |
| COP 1407 | B | C | CD | CD | C | B | B | - | B | B | B | B | C | C | B | B | B | B |
| AEC 042 | B | BC | BC | BC | B | A | A | - | A | A | A | A | B | B | A | A | A | A |
| AEC 224 | A | A | AB | AB | AB | A | A | - | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| AEC 144 | A | A | A | A | A | A | A | - | A | A | A | A | AB | AB | A | A | A | A |
| AEC 1528 | A | AB | AB | AB | AB | A | A | - | A | A | A | A | AB | AB | A | A | A | A |

Na Figura 18 podemos observar o incremento médio em m³/ha entre as avaliações de crescimento dos diferentes clones apresentados e a precipitação acumulada (mm) nos mesmos períodos. Podemos constatar que o crescimento, de forma geral, foi menor nos períodos de baixa disponibilidade hídrica (mar-dez/2014, mar-jun/2015, mar-jun/2017, jun-set/2017 e mar- jun/18), ou seja, nos meses de outono e inverno, e maior nos meses de maior precipitação (mm), sendo possível então afirmar que, o crescimento está altamente relacionado a disponibilidade hídrica do sítio. Além disso, nota-se os baixos níveis de precipitação no ano de 2014, o que segundo Momentel (2016) demonstra que esse ano foi atipicamente seco, quando se compara com os dados históricos.

Nota-se que o clone AEC 1528 foi muito sensível aos períodos mais secos do ano, diminuindo consideravelmente seu incremento volumétrico entre os 21 meses (setembro de 2013) e 24 meses de idade (dezembro 2013) e entre os 63 meses (março de 2017) e 69 meses de idade (setembro de 2017). Os clones COP 1404 e COP 1407 também apresentaram considerável diminuição do incremento nos mesmos períodos.

Esse padrão de crescimento também foi observado por Castro et al. (2017) ao avaliar o efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio no crescimento de árvores de *Eucalyptus* grandis, até o final da rotação, na EECFI, onde o período de diminuição da taxa de crescimento do DAP corresponde ao período de menor precipitação e temperatura, o mesmo padrão foi encontrado por Laclau et al. (2005), Sette Júnior et al. (2012) e Battie-Laclau (2013). Tatagiba et al. (2009) ao estudarem seis clones de *Eucalyptus* spp., aos 8 meses de idade, em resposta a disponibilidade de água em Gerônimo Monteiro – ES, observou que a deficiência de água diminui o crescimento em altura e DAP das plantas estudadas.

Os resultados de incremento volumétrico do presente estudo podem ser explicados, em partes, pela dinâmica da copa. As relações de ganho e perda de copa são muito importantes, pois mesmo os clones que possuem boa estratégia para o crescimento em períodos de menor disponibilidade hídrica, gastam energia para realizarem a senescência e abscisão das folhas, e mais biomassa será convertida para recuperação da copa viva durante o período chuvoso posterior e menos energia será destinada para a produção de biomassa de madeira.

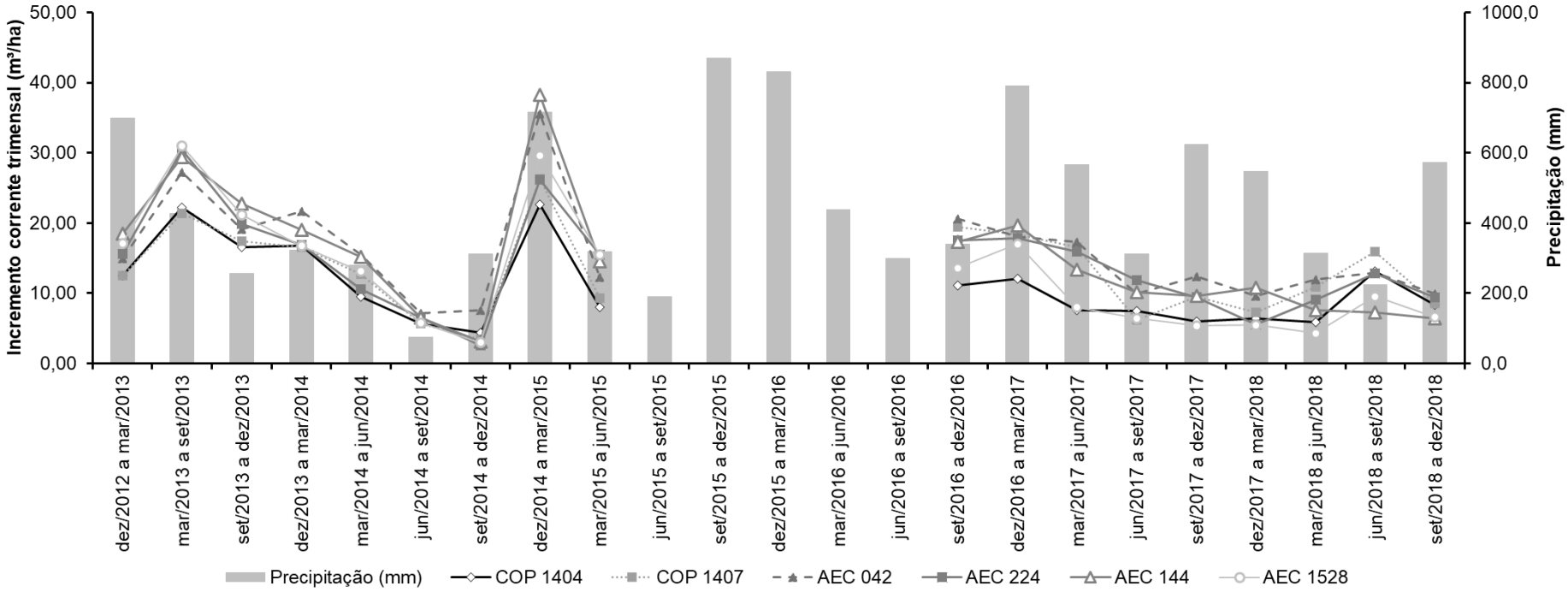


**Figura 18.** Incremento em volume de madeira (m³/ha) médio dos clones e precipitação (mm) acumulada no período.

Apesar de alguns autores, como Durlo; Denardi (1998) afirmarem que quanto maior a porcentagem de copa, mais vital e produtiva será a planta, no estudo corrente, esse padrão não pode ser generalizado, pois, como observa-se na Figura 19, os clones COP 1404 e COP 1407 ao longo de praticamente todo o período de avaliação do experimento apresentaram altos valores para a porcentagem de copa, sendo aos 84 meses de idade (dezembro de 2018) 15,9% e 18,9% respectivamente, e como foi observado anteriormente (Figura 13), foram os clones menos produtivos; por outro lado, o AEC144, que demonstrou maiores valores de produção madeireira (Figura 13), apresentou os menores valores para a porcentagem de copa (13,3% aos 84 meses de idade – dezembro de 2018).

Isso pode indicar a diferença na eficiência no uso da água, visando a produção de biomassa de madeira, desses materiais genéticos, enquanto o COP 1404 a converte para a produção de biomassa foliar, tanto nos períodos chuvosos (dezembro e março) quanto nos períodos secos (junho e setembro), o AEC 144 prioriza a produção de biomassa de madeira. Segundo Santos et al. (2006) as plantas possuem mecanismos de tolerância as variações climáticas, sobretudo em períodos de menor disponibilidade hídrica, podendo desenvolver uma série de adaptações, como a redução na área foliar, abscisão foliar, regulação do movimento estomático, entre outros.

As informações foram divididas em dois gráficos (Figura 19) devido a diferença de escala na porcentagem de copa com o crescimento do plantio, pois a medida que o povoamento se desenvolve, menor a quantidade de folhas e maior a produção de madeira ($m^3$/ha) acumulada (Figura 20).

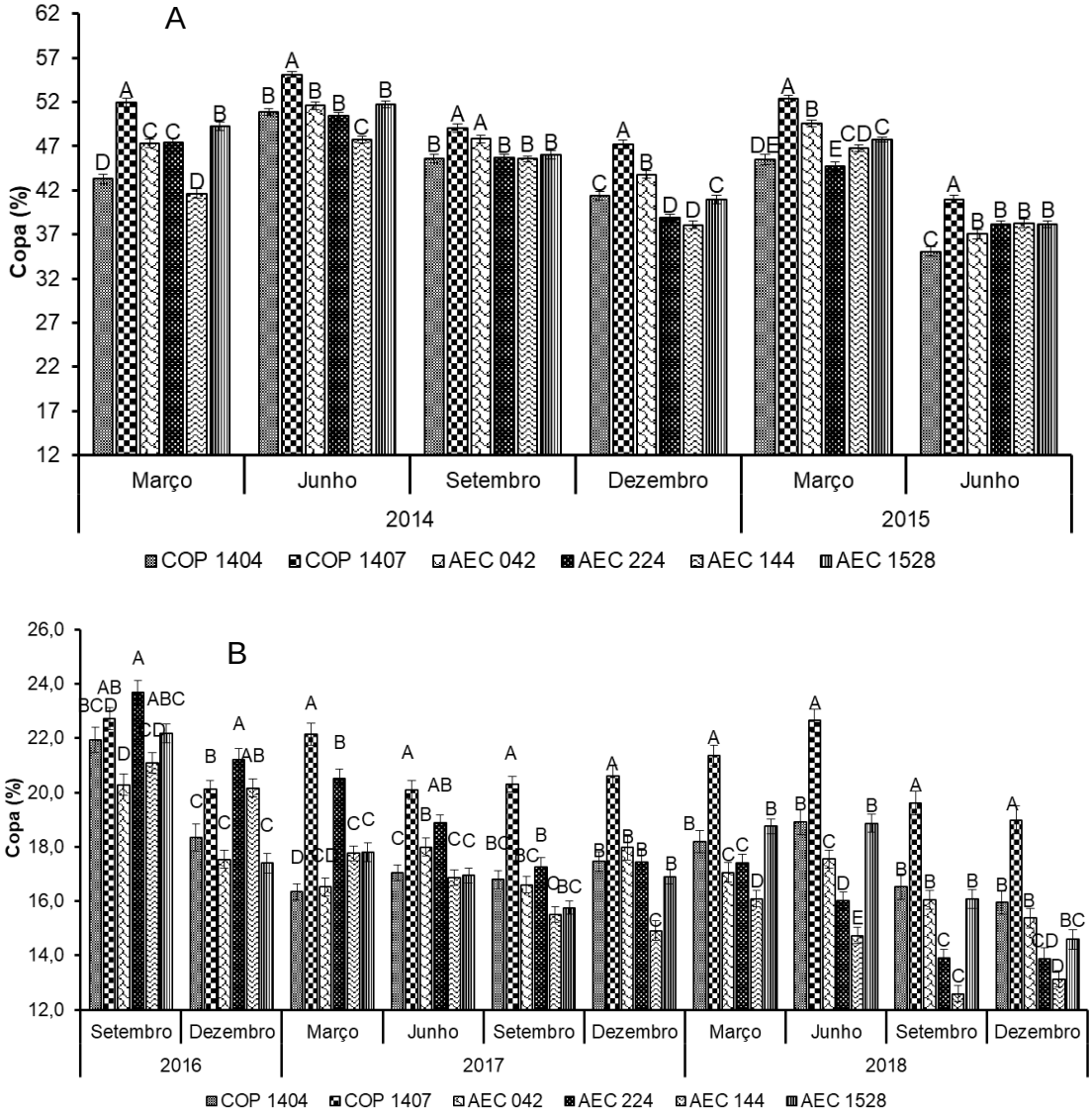


**Figura 19.** Crescimento médio dos clones para a variável porcentagem de copa (%), em A tem-se no período de março de 2014 a junho de 2015 e em B de setembro de 2016 a dezembro de 2018. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

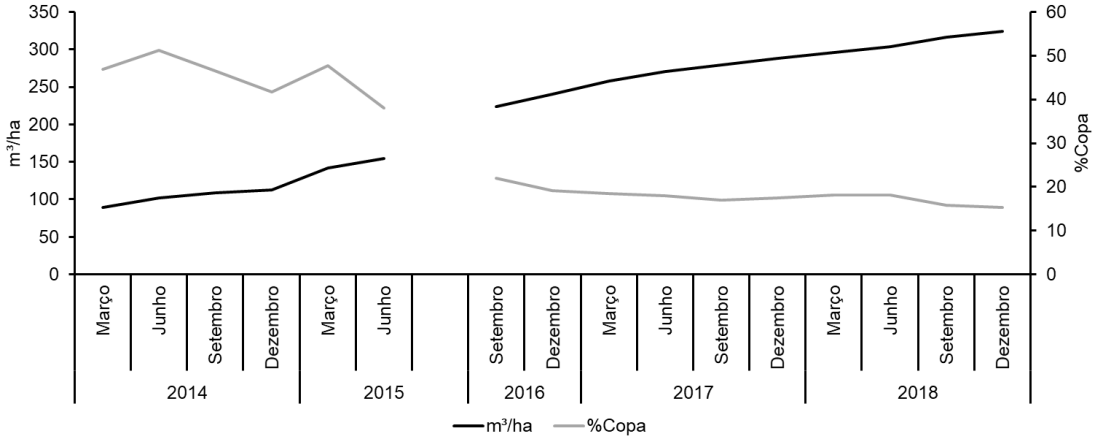


**Figura 20.** Comparação entre a produção de madeira (m³/ha) e a porcentagem de copa ao longo do ciclo de plantio.

Podemos também observar na Figura 19 que o clone AEC 224 e o AEC 144 foram os responsáveis por apresentarem maior diminuição em suas porcentagens de copa entre o final dos períodos chuvosos e o final dos períodos secos, ou seja, nas avaliações entre março e setembro (outono e inverno), principalmente a partir do ano de 2017, sendo um decréscimo de 19% para o AEC 224 e 15% para o AEC 144, enquanto os demais materiais demonstraram em média um decréscimo de 5%, no ano de 2017; e no ano de 2018 o decréscimo foi de 25% para o AEC 224 e 28% para o AEC 144, enquanto os demais reduziram em média 10% sua copa.

Porém, enquanto o AEC 224 apresentou altos valores para a variável em questão até junho de 2017 (Figura 19); o clone AEC 144 apresentou os menores valores em praticamente todo o crescimento do plantio, atingindo apenas 12,58% de copa aos 81 meses de idade (setembro de 2018), demonstrando possuir a vantagem de diminuir sua copa durante o período seco e conseguir altos níveis de produtividade volumétrica com pouca copa viva. Esse resultado encontrado para o clone AEC 224 é contrastante ao encontrado por Momentel (2016) que avaliou esse mesmo experimento em um outro período do ciclo, até os 42 meses de idade (junho de 2015), pois até então esse material havia apresentado a menor perda de folhas nos períodos mais secos.

Além disso, o clone AEC 144 apresentou os maiores valores de recuperação da copa após o período chuvoso, contudo, continuou com os menores valores para a variável quando comparado com os demais materiais genéticos. Isso pode ser observado, principalmente entre dezembro de 2014 e março de 2015 (acréscimo de 23% na copa), período esse de retorno das chuvas após o ano de 2014, que foi atipicamente seco; mas também foi possível observar nas avaliações entre dezembro de 2017 e março de 2018 (acréscimo de 8%) e setembro de 2018 e dezembro de 2018 (acréscimo de 4%, enquanto todos os demais materiais diminuíram sua porcentagem de copa).

Entre os períodos de aumento de precipitação esse comportamento só não foi observado no intervalo entre os 57 meses (setembro de 2016) e 60 meses de idade (dezembro de 2016), contudo todos os materiais apresentaram redução em sua porcentagem de copa. Os baixos valores de porcentagem de copa encontrados aos 63 meses de idade (março de 2017) (Figura 19), pode ser uma resposta dos clones aos valores, abaixo do comumente observados, de precipitação nos meses de fevereiro e março de 2017 (Figura 3).

Foi possível observar, entre as avaliações de junho e setembro de 2018, uma diminuição da porcentagem de copa (Figura 19) devido aos baixos valores de precipitação (Figura 18) nesse mesmo intervalo, contudo foi observado incremento da produção por unidade de área ($m^3$/ha) (Figura 18). Isso pode ser explicado pelo fato de 75% de toda precipitação do período ter ocorrido no mês de agosto (Figura 3), sendo então a resposta na produção de madeira mais imediata do que a dinâmica da copa.

Os clones COP 1404 e COP 1407 apresentaram um padrão de crescimento contrário dos clones AEC 224 e AEC 144, pois em alguns períodos de menor disponibilidade hídrica (outono e inverno), quando era esperada uma redução na porcentagem de copa, foi observado um aumento dessa variável, principalmente entre março e setembro de 2017 e março e junho de 2018. Indicando que esse material não possui boa estratégia para o uso da água, visando a produção de madeira, em períodos de menor disponibilidade hídrica, e como podemos verificar na Figura 13 foram os clones menos produtivos. No outono e inverno, quando a atmosfera geralmente está mais seca, quanto mais folha, mais água será perdida para a atmosfera, e menos será convertida em produção de biomassa de madeira.

O ano de 2014 foi atipicamente seco, como é possível verificar na Figura 3 e foi também o período de menor crescimento das árvores, alcançando um incremento volumétrico médio entre os tratamentos de 4,01 $m^3$/ha em dezembro de 2014 (intervalo entre setembro e dezembro de 2014) (Figura 18), valor esse inferior ao alcançado aos 84 meses de idade (7 anos), de 8,27 $m^3$/ha, período no qual é esperada uma diminuição no ritmo de crescimento.

Interessante notar o impacto acumulativo da falta de precipitação no incremento corrente anual dos materiais genéticos aos 36 meses (dezembro de 2014) de idade (Figura 21), bem como a resposta das plantas ao retorno das chuvas, pois foi exatamente entre dezembro de 2014 e março de 2015 que o maior incremento foi observado (Figura 18).

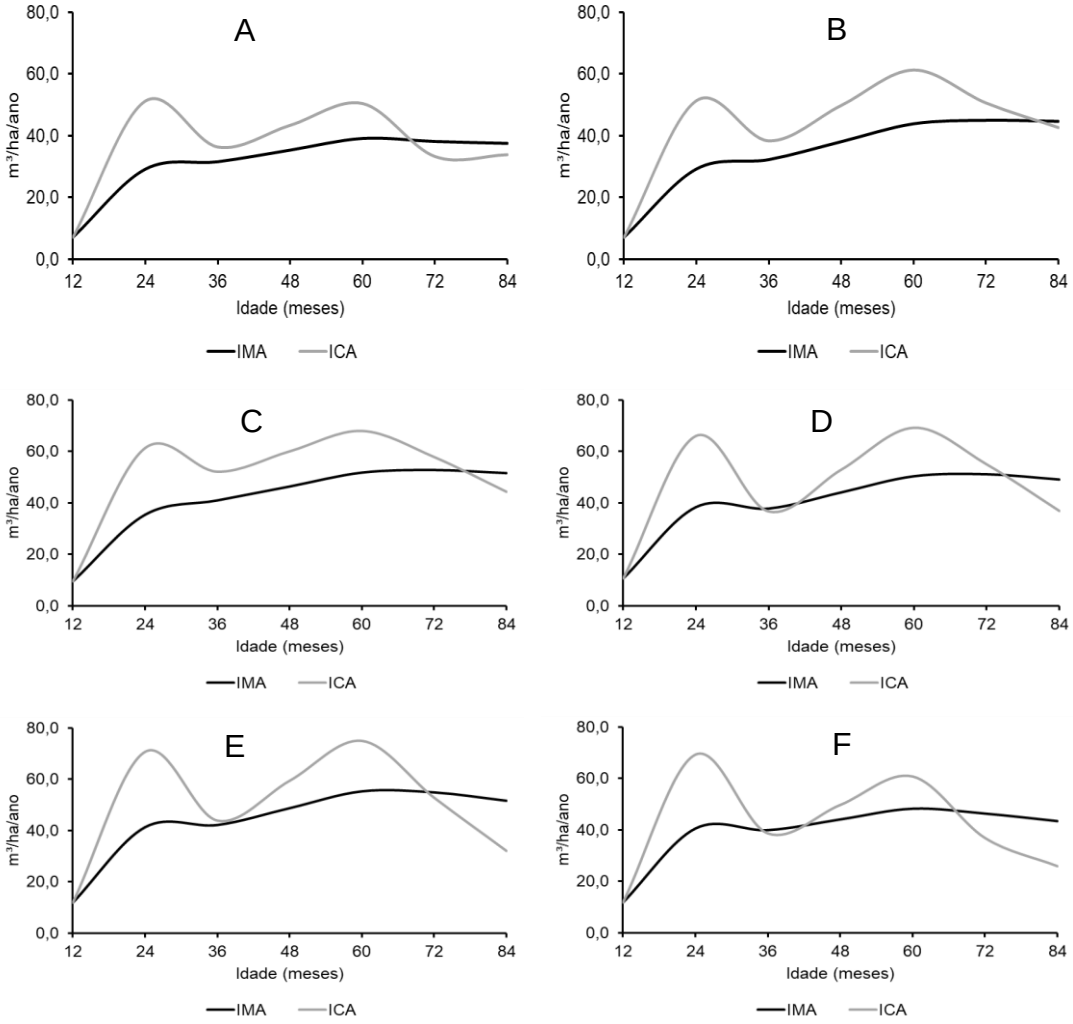


**Figura 21.** Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA), em A tem-se o clone COP1404, em B o COP1407, em C o AEC042, em D o AEC224 em E o AEC144 e em F o AEC1528.

Na Figura 21 também é possível observar como os materiais genéticos avaliados foram resilientes, pois com o retorno das chuvas no ano de 2015 (período entre os 36 e 48 meses de idade) os materiais responderam positivamente, retornando seu crescimento, como pode-se verificar na Figura 18, além disso, é possível verificar que os clones AEC 224 (Figura 21 - D) e AEC 144 (Figura 21 - E) apresentaram uma maior capacidade de resposta ao retorno das chuvas, apresentando os maiores valores de incremento corrente anual (ICA) entre os 36 meses e 48 meses de idade, 69,21 m³/ha e 74,95 m³/ha respectivamente, enquanto os demais apresentaram, em média, 60,09 m³/ha.

O índice de área foliar (IAF), entre as variáveis avaliadas, é a mais diretamente vinculada ao aparato fotossintético das plantas, ou seja, está relacionada a absorção de luz pelo dossel, contudo, maiores valores de IAF não

necessariamente estão relacionados com maiores valores de porcentagem de copa, pois, o tamanho das folhas (área foliar específica) possui grande relevância, sendo possível encontrar situações em que o IAF diminua, mas a porcentagem de copa aumente, e vice-versa; bem como circunstâncias em que todas variáveis aumentem ou diminuam em conjunto. Dessa forma, o IAF tem importante correlação com a fenologia e arquitetura das copas, bem como na eficiência no uso da luz e água.

Apesar de não terem sido verificadas grandes diferenças entre os materiais genéticos, nota-se a variação sazonal bem definida, como podemos observar na Figura 22, com os valores de IAF reduzindo nas épocas mais secas do ano (junho e setembro) e aumentando nos meses chuvosos (março e dezembro), esses resultados corroboram com o encontrado por Sivakumar; Shaw (1978), onde os autores afirmam que em condições limitantes de água no solo, reduz-se a expansão de folhas, acelera a senescência, diminui o IAF e aumenta a abscisão foliar. Esse mesmo padrão de crescimento foi encontrado por Paiva (2009) ao avaliar o IAF de 2 clones de *Eucalyptus* spp. no estado de Minas Gerais, encontrando os valores de 2,48 e 1,56 $m^2/m^2$ aos 32 meses de idade, valores esses próximos aos encontrados no presente estudo aos 33 meses de idade (setembro de 2014) de 2,02.

Além disso, é possível observar uma tendência de diminuição dos valores de IAF entre os anos de plantio indicando uma redução nos valores com o passar do tempo e a maior produção de biomassa de madeira ao invés da biomassa foliar. Esse resultado vai de acordo com o encontrado por Xavier et al. (2002) para três distintos clones de *Eucalyptus grandis* no estado do Espírito Santo e Paiva (2009), segundo os autores esse padrão de crescimento reflete o sensível decréscimo do incremento corrente anual após os 4 anos de idade.

Segundo Lang; McMurtrie (1992), o índice de área foliar (IAF), está diretamente relacionado com a produtividade e a evapotranspiração de ecossistemas florestais, sendo por isso uma variável de importante mensuração, podendo inclusive indicar perda de água, quando altos valores de IAF são encontrados em situações de limitação hídrica (MÜLLER et al.,2005). Como podemos observar na Figura 23, no presente estudo o IAF apresentou uma relação diretamente proporcional, contudo, uma relação fraca ($R^2$ = 0,2574), com o incremento em volume ($m^3$/ha) entre as avaliações.

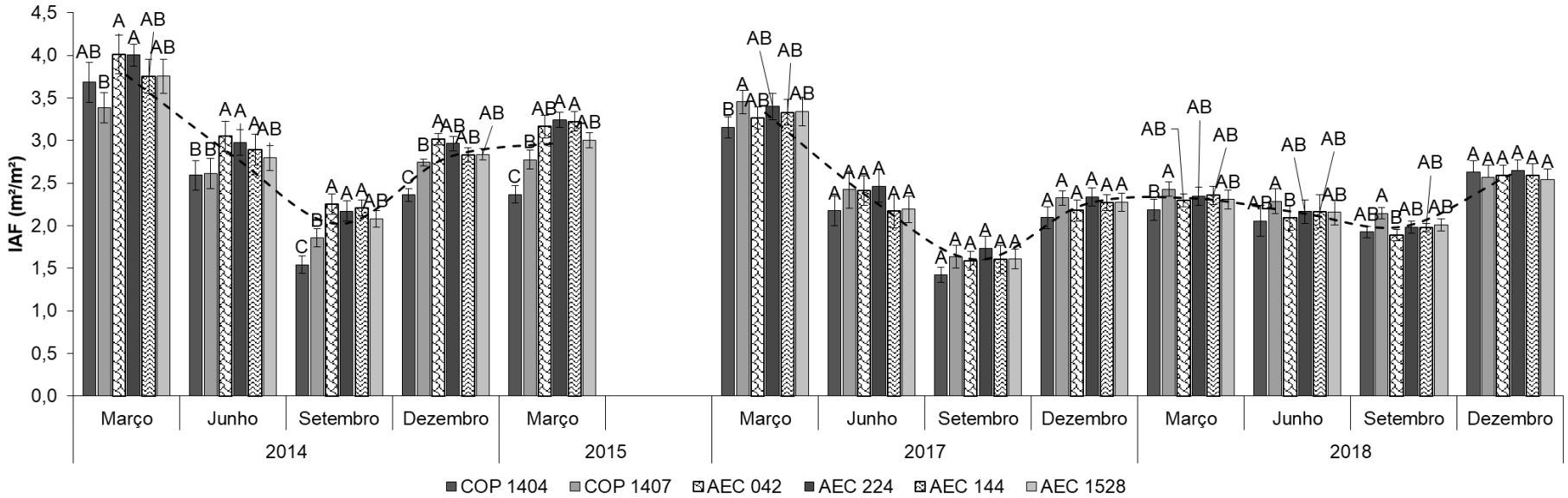


**Figura 22.** Desenvolvimento médio dos clones para a variável índice de área foliar (m²/m²) ao longo do período de avaliação. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

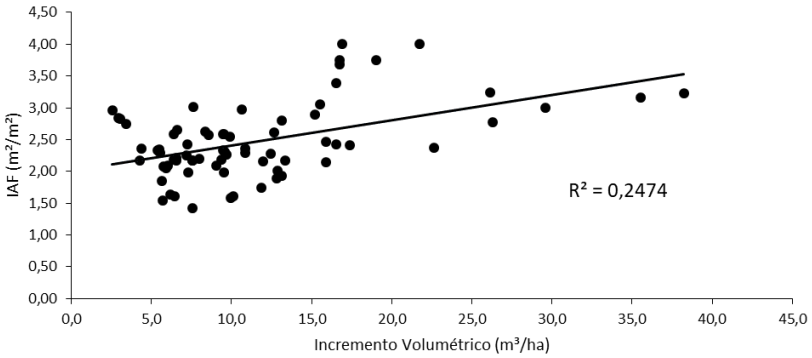


**Figura 23.** Correlação entre o IAF (m²/m²) e o incremento volumétrico por unidade de área (m³/ha)

Como visto anteriormente (Figura 13), os clones COP 1404 e COP 1407 foram os que apresentaram menor crescimento em volume ao longo de todo o período de avaliação, e esses foram os responsáveis por apresentarem os menores valores de IAF, em todo o ciclo para o COP 1404 e até os 39 meses de idade (março de 2015) para o COP 1407 (Figura 22).

Nos períodos mais secos do ano de cada ano, referentes as avaliações de junho e setembro é esperada uma redução nos valores do IAF, pois é uma das estratégias das plantas para sobreviverem a períodos com menor disponibilidade hídrica e como podemos observar essa diminuição é mais acentuada nas avaliações nos meses de setembro, que se refere ao final da estação seca, com baixas umidades relativas do ar e temperaturas; isso ocorre para diminuir a perda de água para a atmosfera, devido ao alto DPV. Após esses períodos o IAF volta a aumentar, em resposta ao aumento das chuvas e temperaturas, consequentemente elevando a interceptação de luz e fotossíntese.

O clone COP 1404 apresentou a maior redução do IAF entre os 27 meses (março de 2014) e 33 meses de idade (setembro de 2014) e entre os 63 meses (março de 2017) e 69 meses de idade (setembro de 2017), sendo 58,2% e 55%, respectivamente, seguido pelo COP 1407 (45,2 % e 52,7%), com a diferença que este último apresentou os maiores valores para a variável em questão a partir dos 63 meses de idade (junho de 2017), indicando que estes clones possuem como mecanismo primordial de defesa contra o estresse hídrico, a diminuição do tamanho das folhas, contudo, apresentaram valores altos para a variável porcentagem de copa (Figura 19), sobretudo nos períodos de menor disponibilidade hídrica (avaliações de junho e setembro), indicando que apesar do IAF estar diminuindo, o que pode ser um indicativo de que as folhas estão reduzindo de tamanho, elas ainda existem em grande quantidade nesse período, demonstrando que grande parte da água consumida está sendo destinada para a produção de folhas, demonstrando um uso não eficiente da água visando a produção de madeira.

Conforme visto, as variações na porcentagem de copa (%) e IAF, são consequência das variações ambientais encontradas nas diferentes estações do ano, contudo, como observamos, diferentes respostas podem ser encontradas, e podem ser melhor explicadas a partir da deposição do folhedo, o que reflete os processos de senescência e abscisão foliar.

Segundo Galston; Davies (1972) a deposição do folhedo é uma resposta a diversos processos metabólicos ligados a fisiologia de cada espécie e também a estímulos vindos do ambiente na qual a planta está inserida, como o fotoperíodo, temperatura, estresse hídrico e nutricional e etc; sendo o estresse hídrico, segundo Martins; Rodrigues (1999) uma causa da queda sazonal de material de árvores. Dessa forma a quantidade de folhedo depositada mensalmente deve ser analisada tendo em vista as variações das condições ambientais.

Como podemos notar na Figura 24 e Tabela 8 que houveram diferenças significativas entre os clones em praticamente todos os meses avaliados e que existe uma oscilação da deposição do folhedo ao longo do tempo. Além disso verifica-se que na maior parte das avaliações o clone AEC 1528 expressou os maiores valores para a deposição do folhedo enquanto que o clone AEC 042 apresentou os menores valores.

No geral, foi possível observar que os clones COP 1404, COP 1407 e AEC 1528 demonstraram estratégias não eficientes visando a produção de madeira (Figura 13), pois foram responsáveis por apresentar altos valores para a porcentagem e copa (Figura 19) ao mesmo tempo que demonstra altos valores para a deposição do folhedo (Figura 24 e Tabela 8), indicando que os clones gastam grande quantidade de energia para acelerar a senescência e abscisão das folhas, porém ao mesmo tempo convertem muita água para a produção de biomassa foliar, sobretudo em períodos de pouca disponibilidade hídrica.

Os clones AEC 042 e AEC 224 apresentaram baixos valores para a deposição do folhedo (Figura 24 e Tabela 8), contudo mantiveram elevado os valores para a porcentagem de copa (Figura 19) ao longo do crescimento do povoamento. O clone AEC 144 apresentou o comportamento esperado, com valores intermediários de deposição de folhedo (Figura 24), quando comparado aos demais clones, contudo, como observado anteriormente esse material genético apresenta uma elevada produção de madeira (Figura 13, Figura 14 e Figura 15), mantendo uma baixa porcentagem de copa viva (Figura 19), dessa forma não converte tanto recurso para a reposição da copa com a ocorrência das chuvas.

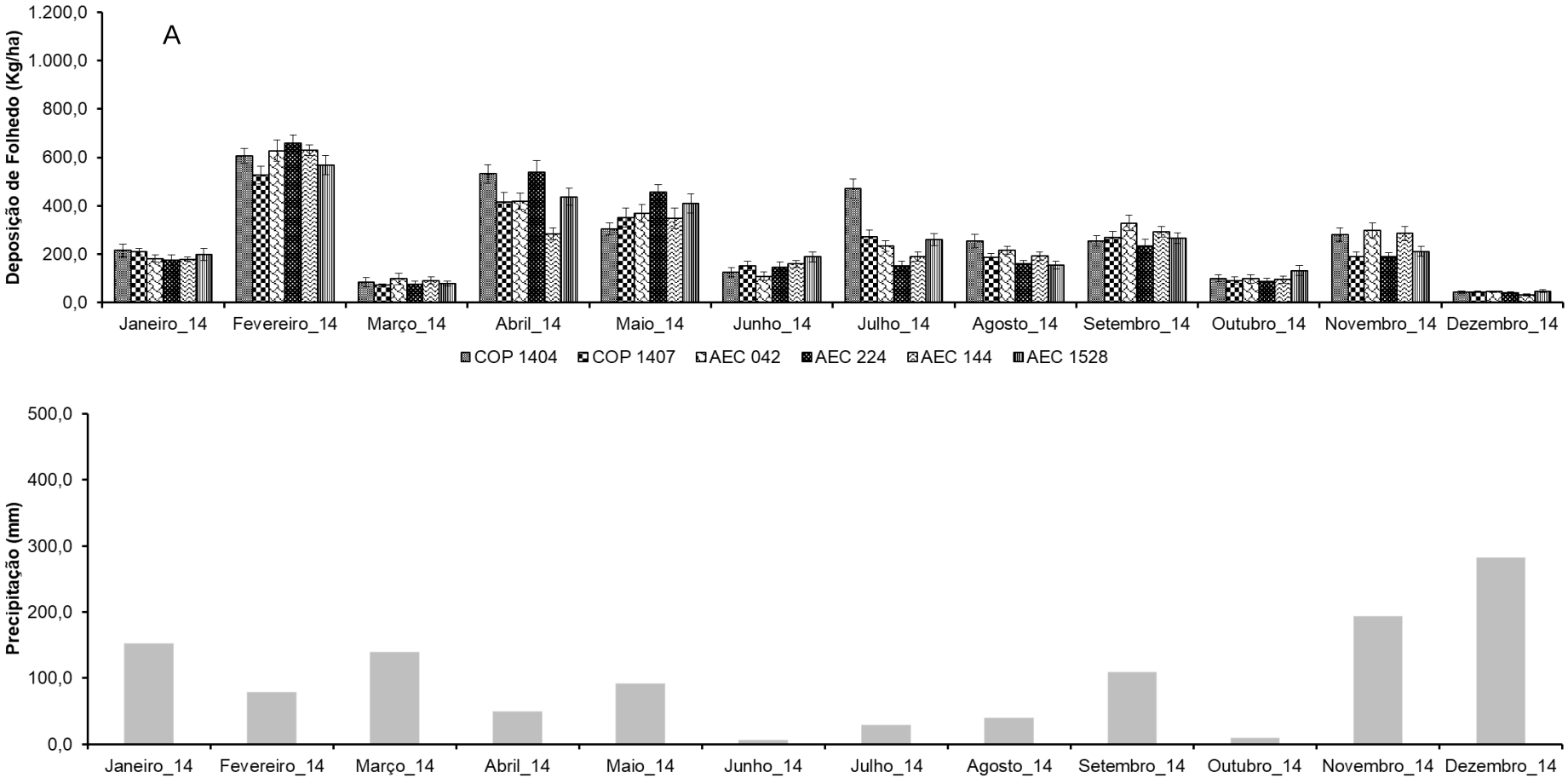


**Figura 24.** Desenvolvimento médio dos clones para a variável deposição de folhedo (kg/ha) de janeiro de 2014 a dezembro de 2018, e a precipitação total mensal no mesmo período. Sendo em A os resultados para os meses do ano de 2014, em B para 2015, em C para 2017 e em D para 2018. (Continua)

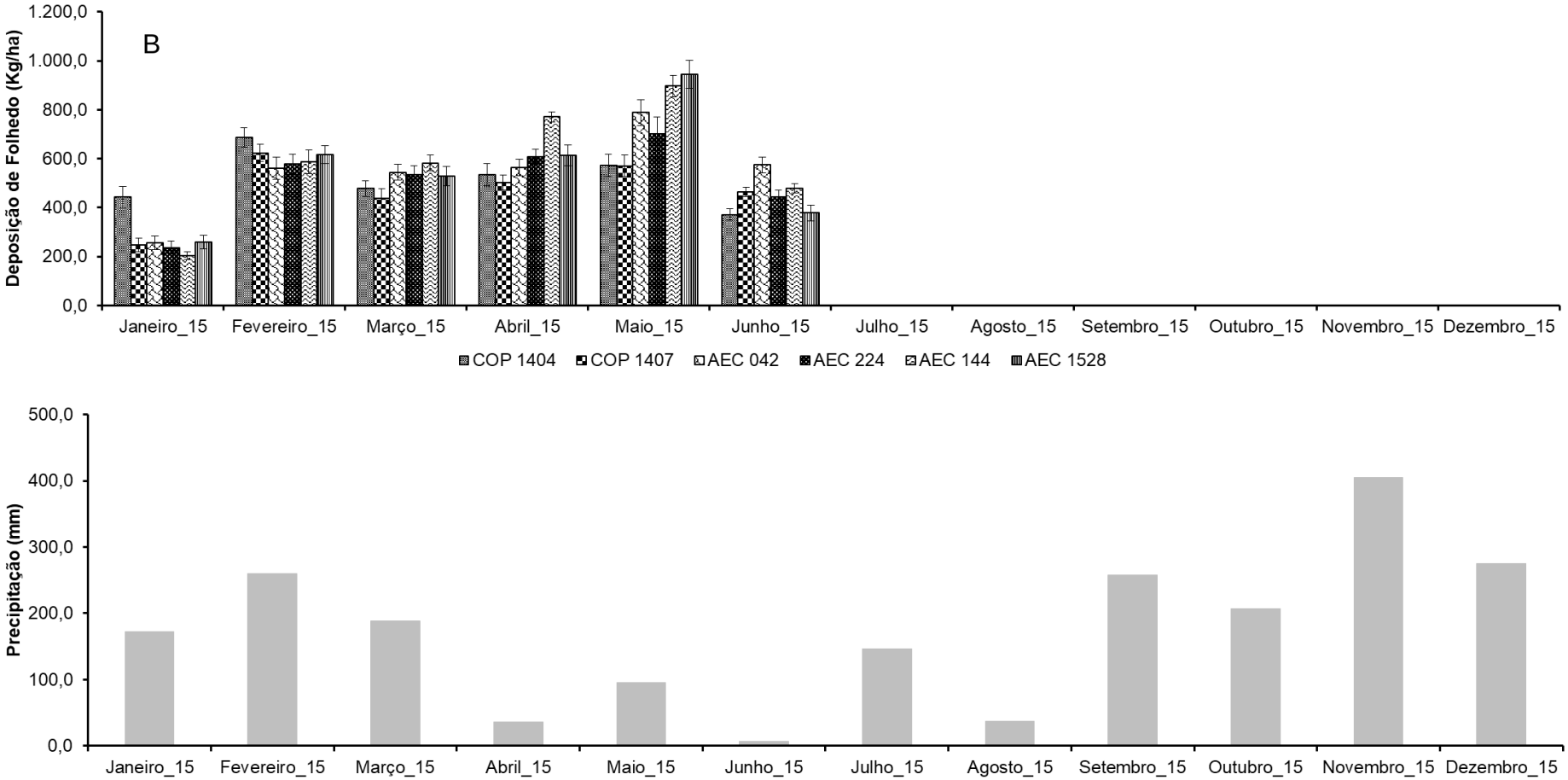


**Figura 24.** Desenvolvimento médio dos clones para a variável deposição de folhedo (kg/ha) de janeiro de 2014 a dezembro de 2018, e a precipitação total mensal no mesmo período. Sendo em A os resultados para os meses do ano de 2014, em B para 2015, em C para 2017 e em D para 2018 (Continua)

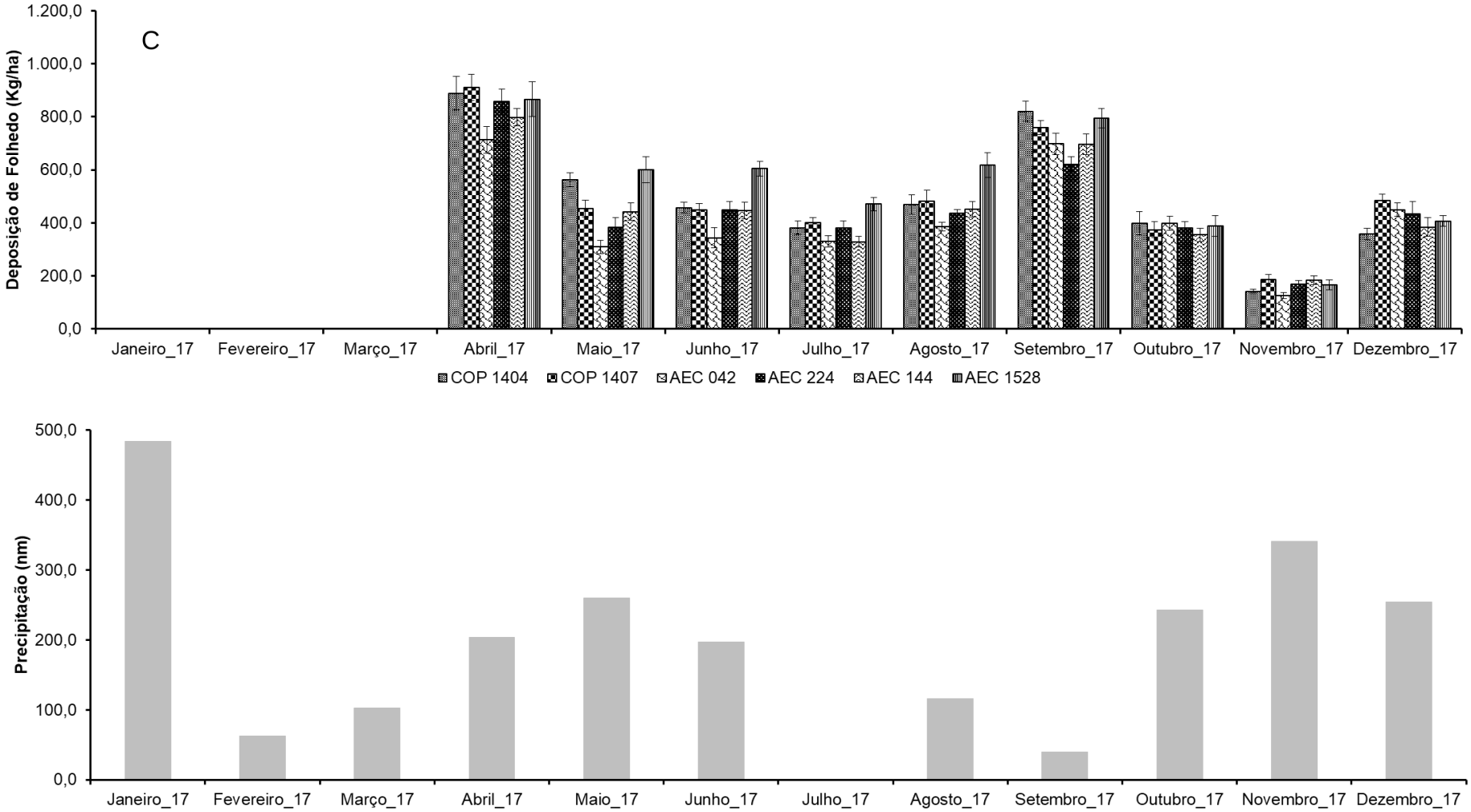


**Figura 24.** Desenvolvimento médio dos clones para a variável deposição de folhedo (kg/ha) de janeiro de 2014 a dezembro de 2018, e a precipitação total mensal no mesmo período. Sendo em A os resultados para os meses do ano de 2014, em B para 2015, em C para 2017 e em D para 2018 (Continua)

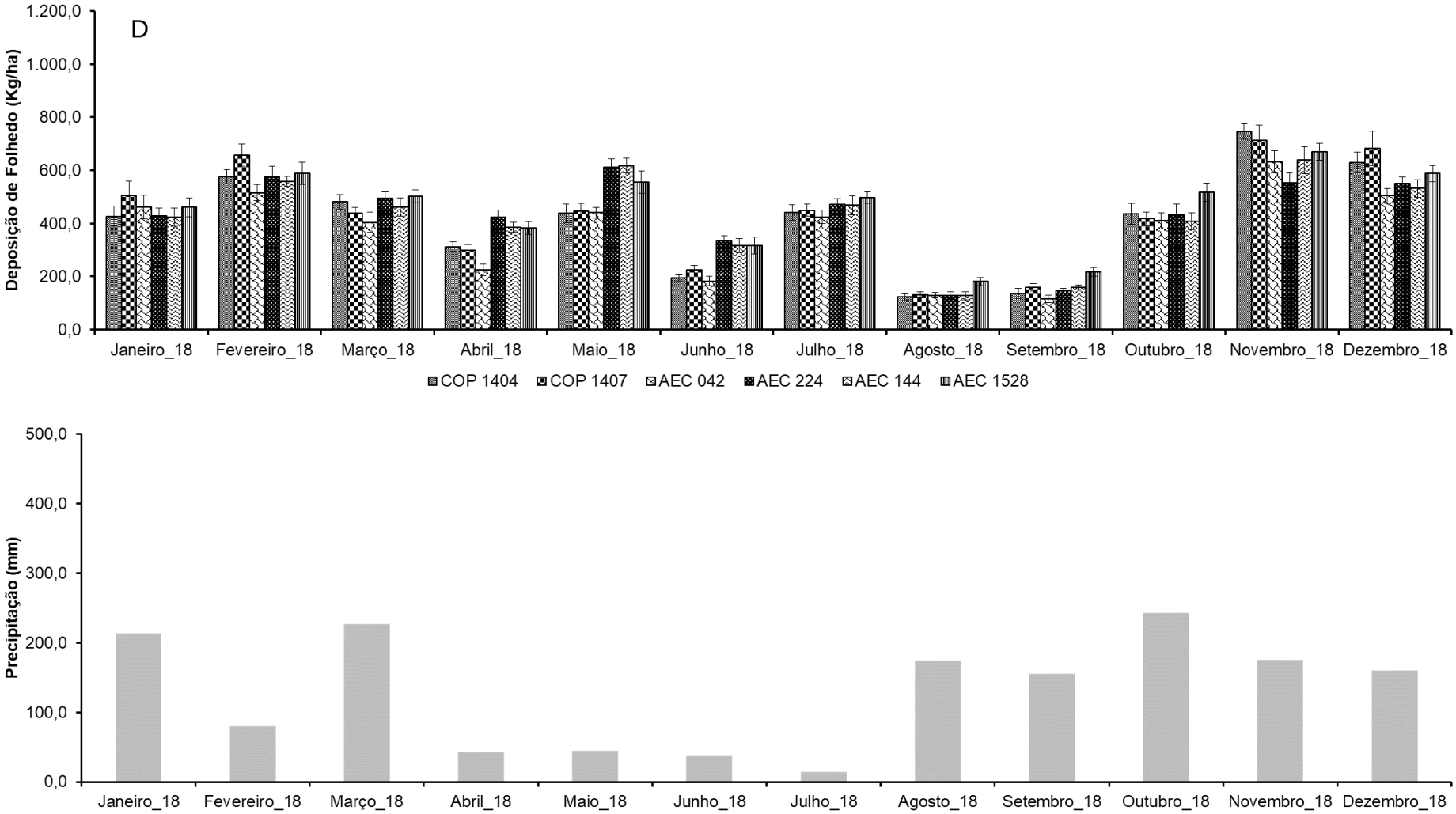


**Figura 24.** Desenvolvimento médio dos clones para a variável deposição de folhedo (Kg/ha) de janeiro de 2014 a dezembro de 2018, e a precipitação total mensal no mesmo período. Sendo em A os resultados para os meses do ano de 2014, em B para 2015, em C para 2017 e em D para 2018 (Conclusão)

**Tabela 8.** Resultado do Teste de Tukey para o desenvolvimento médio dos clones para a variável deposição de folhedo (kg/ha), sendo, as médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado. (Continua)

| Clone | Janeiro_14 | Fevereiro_14 | Março_14 | Abril_14 | Maio_14 | Junho_14 | Julho_14 | Agosto_14 | Setembro_14 | Outubro_14 | Novembro_14 | Dezembro_14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 25 meses | 26 meses | 27 meses | 28 meses | 29 meses | 30 meses | 31 meses | 32 meses | 33 meses | 34 meses | 35 meses | 36 meses |
| COP 1404 | A | A | A | A | A | AB | A | A | A | A | AB | A |
| COP 1407 | A | A | A | AB | A | AB | B | AB | A | A | B | A |
| AEC 042 | A | A | A | AB | A | B | B | AB | A | A | A | A |
| AEC 224 | A | A | A | A | A | AB | C | B | A | A | B | A |
| AEC 144 | A | A | A | B | A | AB | BC | AB | A | A | AB | A |
| AEC 1528 | A | A | A | A | A | A | B | B | A | A | AB | A |

| Clone | Janeiro_15 | Fevereiro_15 | Março_15 | Abril_15 | Maio_15 | Junho_15 | Julho_15 | Agosto_15 | Setembro_15 | Outubro_15 | Novembro_15 | Dezembro_15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 37 meses | 38 meses | 39 meses | 40 meses | 41 meses | 42 meses | 43 meses | 44 meses | 45 meses | 46 meses | 47 meses | 48 meses |
| COP 1404 | A | A | AB | B | C | C | - | - | - | - | - | - |
| COP 1407 | B | A | B | B | C | ABC | - | - | - | - | - | - |
| AEC 042 | B | A | AB | B | AB | A | - | - | - | - | - | - |
| AEC 224 | B | A | AB | B | BC | BC | - | - | - | - | - | - |
| AEC 144 | B | A | A | A | AB | AB | - | - | - | - | - | - |
| AEC 1528 | B | A | AB | B | A | C | - | - | - | - | - | - |

**Tabela 8.** Resultado do Teste de Tukey para o desenvolvimento médio dos clones para a variável deposição de folhedo (kg/ha), sendo, as médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado. (Conclusão)

| Clone | Janeiro_17 | Fevereiro_17 | Março_2017 | Abril_17 | Maio_17 | Junho_17 | Julho_17 | Agosto_17 | Setembro_17 | Outubro_17 | Novembro_17 | Dezembro_17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 61 meses | 62 meses | 63 meses | 64 meses | 65 meses | 66 meses | 67 meses | 68 meses | 69 meses | 70 meses | 71 meses | 72 meses |
| COP 1404 | - | - | - | A | AB | B | AB | B | A | A | AB | B |
| COP 1407 | - | - | - | A | BC | B | AB | B | AB | A | A | A |
| AEC 042 | - | - | - | A | D | B | B | B | AB | A | B | A |
| AEC 224 | - | - | - | A | CD | B | AB | B | B | A | AB | AB |
| AEC 144 | - | - | - | A | BCD | B | B | B | AB | A | AB | AB |
| AEC 1528 | - | - | - | A | A | A | A | A | A | A | AB | AB |

| Clone | Janeiro_18 | Fevereiro_18 | Março_18 | Abril_18 | Maio_18 | Junho_18 | Julho_18 | Agosto_18 | Setembro_18 | Outubro_18 | Novembro_18 | Dezembro_18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 73 meses | 74 meses | 75 meses | 76 meses | 77 meses | 78 meses | 79 meses | 80 meses | 81 meses | 82 meses | 83 meses | 84 meses |
| COP 1404 | AB | AB | AB | B | B | B | A | B | B | B | A | AB |
| COP 1407 | A | A | AB | BC | B | B | A | B | B | B | A | A |
| AEC 042 | AB | B | B | C | B | B | A | B | B | B | AB | B |
| AEC 224 | AB | AB | AB | A | A | A | A | B | B | B | B | B |
| AEC 144 | AB | AB | AB | AB | A | A | A | B | B | B | AB | B |
| AEC 1528 | AB | AB | A | AB | AB | A | A | A | A | A | AB | AB |

Viera et al. (2014) encontrou valores de deposição de folhedo em um povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus globulus* no estado do Rio Grande do Sul, variando de aproximadamente de 150 kg/ha a 350 kg/ha no mês de julho, quando o povoamento completou 72 meses de idade. No presente estudo, para o mesmo mês em questão, o povoamento completou 67 meses de idade (julho de 2017), e os valores de deposição de folhedo variaram entre 328,3 e 470,9 kg/ha.

Junior; Silva; Couto (2017) ao avaliar a deposição de folhedo em eucalipto geneticamente modificado em Paranapanema – SP, encontrou em dezembro, o mês de maior deposição, valores próximos a 700 kg/ha, valor esse próximo aos encontrados, no presente estudo, nos meses de maior deposição, variando de 735,3 a 937,7 kg/ha aos 64 meses de idade (abril de 2017) e 591,2 a 834,9 kg/ha aos 69 meses de idade (setembro de 2017).

Para Moreira; Silva (2004), Cunha et al. (2005), Larcher (2006), Mochiutti et al. (2006), Ferreira et al. (2007), Barlow et al. (2007), Viera; Shumacher (2010), Viera et al. (2014) e Junior; Silva; Couto (2017) as maiores deposições de folhedo podem estar relacionadas com períodos de menores precipitações, sendo então um mecanismo de defesa das plantas, visando evitar a perda de água através da alta intensidade respiratória.

No presente estudo essa relação com a transpiração pode ser verificada, contudo não é uma resposta instantânea, apresentando um período de defasagem entre a ocorrência da chuva e a resposta da planta, sendo observado, no geral, uma média de três meses, como podemos observar nas avaliações de junho de 2014, onde foi observada uma queda na deposição de folhedo em resposta ao aumento da precipitação em março de 2015. Nos demais meses de 2014 foi observado um aumento gradativo na deposição de folhedo em resposta aos baixos valores de precipitação no ano em questão, contudo, em dezembro de 2014 é possível já observar a resposta das plantas ao retorno das chuvas.

Em abril e setembro de 2017 foi possível observar o aumento na deposição do folhedo em resposta as baixas precipitações nos meses de fevereiro e julho de 2017, respectivamente. Essa mesma relação pode ser observada em outubro de 2018 em resposta as baixas precipitações de julho de 2018.

É importante ressaltar, que além de ser um mecanismo de proteção contra fatores ambientais adversos, a senescência foliar, também atua na realocação de nutrientes, direcionando-os para órgãos em crescimento (LIM; HYO; NAM, 2006),

todavia, juntamente com a senescência foliar, a planta pode emitir novas folhas na estação seca durante um possível estresse hídrico, desde que, a árvore tenha acesso a agua e o solo tenha acumulado água, suficientes para a expansão celular (MILANI, 2013). E segundo Bonato et al. (1998), secas prolongadas limitam a disponibilidade de água para as raízes, diminuindo a absorção e afetando o transporte de nutrientes para todas as partes do vegetal, comprometendo seu crescimento.

Segundo Pimentel; Rossielo (1995) um ligeiro ressecamento do solo, mesmo não afetando as relações hídricas da parte aérea, causa um aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema, levando ao fechamento estomático e à diminuição da expansão foliar, podendo influenciar as respostas da planta ao déficit hídrico por regular as características morfofisiológicas das plantas (TUBEROSA et al., 1994).

É importante ressaltar que a deposição de folhedo varia conforme a espécie/material genético, idade das árvores, da densidade de indivíduos, do tipo de floresta e outros fatores. Verifica-se que a deposição de folhedo aumenta à medida que o talhão se torna mais velho, até o ponto em que as árvores atingem sua maturidade, passando a ocorrer uma estabilização na deposição (BRAY; GORHAM, 1964). Dessa forma, as variações aqui encontradas também podem ser devido a diferença entre os clones e a idade.

Quando avaliamos o fator Potássio (Figura 25) para a produção por unidade de área ($m^3$/ha), podemos observar a influência positiva da adubação, pois em todos os meses avaliados os tratamentos que receberam adubação potássica (K+), apresentaram maiores valores do que os tratamentos sem adubação potássica (K-).

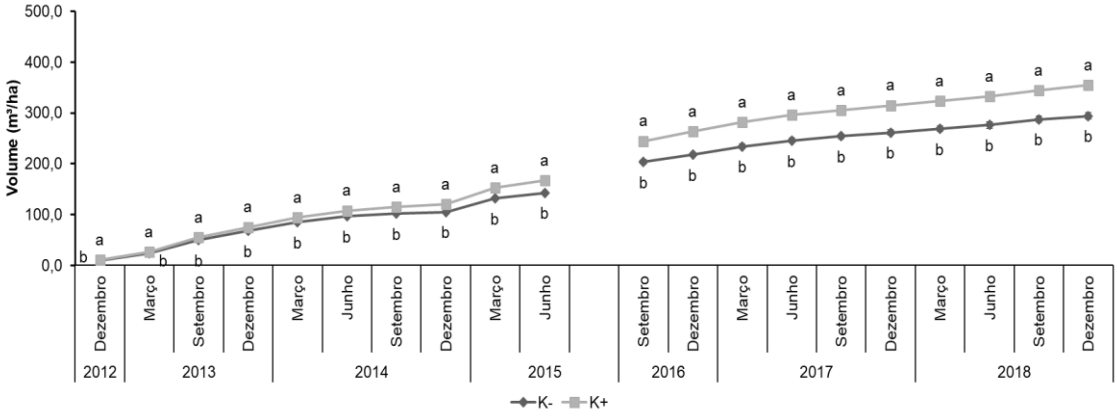


**Figura 25.** Crescimento médio em volume (m³/ha) para os tratamentos com e sem adubação potássica onde K- é o tratamento com 0 kg ha$^{-1}$ de potássio e K+ o tratamento com 140 kg ha$^{-1}$. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Tukey.

Resultado semelhante foi encontrado por Battie-Laclau (2013) em um estudo avaliando o efeito da adubação potássica sobre a adaptação do *Eucalyptus grandis* a seca, na EECFI, independente do regime hídrico testando no trabalho (100% das chuvas e 63% das chuvas), a aplicação de potássio aumentou em 52% a circunferência à altura do peito (CAP) das árvores aos 954 dias após o plantio (no presente estudo, equivalente aos 30 meses de idade – junho de 2014), o que está de acordo com o encontrado neste estudo, pois como nota-se na Figura 25, os tratamentos que receberam adubação potássica apresentaram resultados superiores.

Além disso, podemos observar na Figura 26 que a diferença entre os tratamentos tende a ser maior com o passar do tempo, esse mesmo padrão foi também encontrado por Battie-Laclau (2013) em avaliações dos 6 aos 32 meses de idade e Castro et al. (2017) dos 18 aos 43 meses de idade.

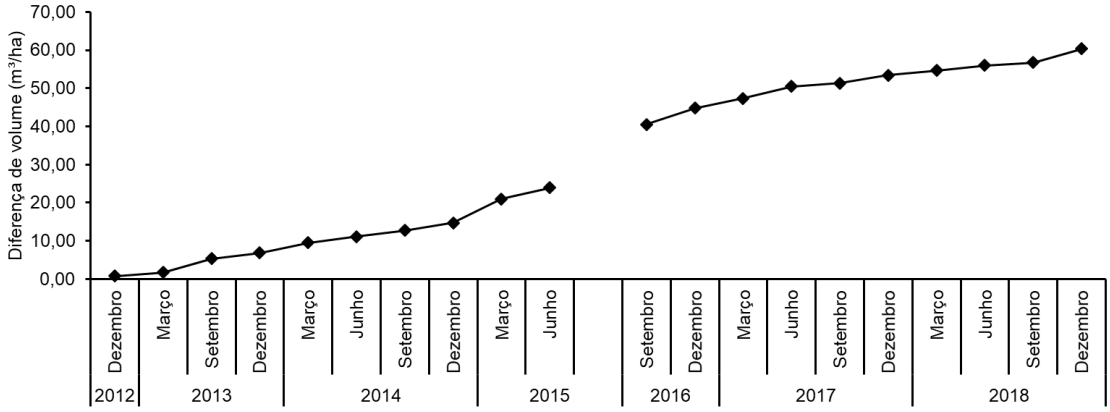


**Figura 26.** Diferença de produção por unidade de área (m³/ha) entre os tratamentos com e sem adubação potássica.

Esses resultados também vão de acordo com o encontrado por Sampaio et al. (2016), onde foram testadas diferentes doses de potássio (0, 30, 60 e 120 kg $ha^{-1}$ de $K_2O$) no crescimento de clones de eucalipto, ao 6, 9, 12 e 24 meses de idade, no município de Luís Eduardo Magalhães na Bahia, dentre eles os AEC 144, AEC 224 e AEC 1528, e os autores concluíram que a adubação potássica influencia positivamente o crescimento, em altura e diâmetro, e a produtividade dos clones, sobretudo nos períodos onde a disponibilidade hídrica é limitada.

Tatagiba et al. (2009) ao estudarem seis clones de *Eucalyptus* spp., aos 8 meses de idade, em resposta a disponibilidade de água em Gerônimo Monteiro – ES, observou que a deficiência de água diminui o crescimento em altura e DAP das plantas estudadas.

Em relação a interação entre os fatores Clone-Potássio, observa-se que ela é influenciada pela idade e pelo material genético (Figura 27). Resultados semelhantes foram encontrados por Castro et al. (2017) no mesmo local do estudo corrente, onde o padrão crescimento em todos os tratamentos no período inicial de avaliação foi similar, devido a água presente no lençol freático, mas nos meses subsequentes, verificaram uma maior taxa de incremento nos tratamentos adubados com potássio.

Com exceção ao clone AEC 144, os demais materiais genéticos avaliados responderam positivamente a adubação de potássio, a partir dos 36 meses de idade (dezembro de 2014), como pode-se notar na Figura 27. Observa-se que o COP 1407 e AEC 042 foram os que mais responderam a adubação potássica, apresentando valores nesse tratamento de 357,67 m³/ha e 408,17 m³/ha,

respectivamente, e no tratamento sem potássio, 267,26 m³/ha e 313,75 m³/ha; aos 84 meses de idade (dezembro de 2018).

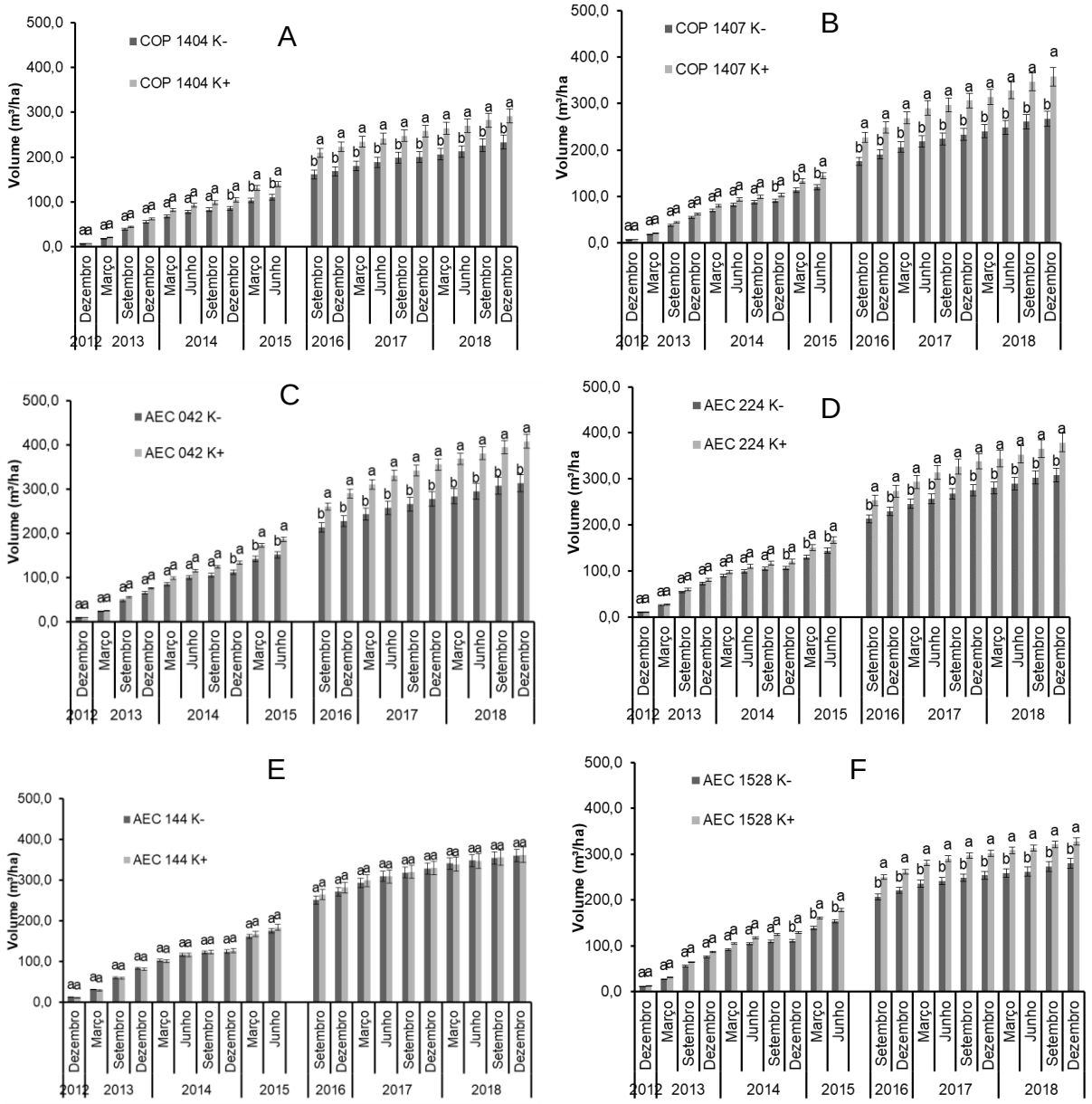


**Figura 27.** Crescimento médio do volume por unidade de área (m³/ha) para a interação Clone-Potássio ao longo de todo o período de avaliação, sendo K- o tratamento sem adubação potássica e K+ com adubação, em A tem-se as médias para o clone COP 1404, em B para o o COP 1407, em C o clone AEC 042, em D o clone AEC 224, em E o clone AEC 144 e em D o clone AEC 1528. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) no mesmo período avaliado.

Segundo Mengel; Kirkby (1982) a nutrição com potássio exerce importante papel na formação da copa, pois esse elemento é acumulado no xilema, reduzindo o potencial osmótico da seiva xilemática, e por isso aumenta a absorção de água e a pressão das raízes das plantas; e quando em altas concentrações nas células do mesofilo, o potássio também provoca redução no potencial osmótico.

Esses fatores resultam em benefício hídricos para as plantas, já que o baixo potencial osmótico melhora a retenção de água, sendo uma das razões pelas quais as plantas bem supridas de potássio necessitam de menor quantidade de água em relação a síntese de matéria orgânica e consequentemente sentem menos os períodos de restrição hídrica.

Em trabalho realizado por Fromm (2010) sobre a relação do potássio com a produção de madeira, o autor conclui que o potássio é um elemento primordial para várias espécies, tais como, *Eucalyptus grandis*, *Pinus radiata* e *Picea abies*.

As diferenças significativas encontradas para os clones entre os tratamentos com e sem adubação potássica ocorreram a partir de dezembro de 2014; período esse que representa o final da menor disponibilidade hídrica ao longo do ciclo de plantio e início das chuvas (Figura 18), além disso, podemos observar na Figura 26 que as diferenças entre os tratamentos com adubação (K+) e sem adubação (K-) de potássio aumentaram com a volta das chuvas ao final do ano de 2014, demonstrando, novamente, a importância da adubação potássica para o crescimento dos indivíduos, pois, plantas bem nutridas com potássio apresentam um uso mais eficiente da água devido ao seu importante papel no controle osmótico das células, atuando eficientemente nos processos de abertura e fechamento estomático.

Isso constata, que no estudo corrente, as diferenças significativas entre os tratamentos com (K+) e sem (K-) adubação potássica começaram a aparecer depois do período atipicamente seco de 2014, o que pode demonstrar que o potássio desempenhou um importante papel na manutenção do potencial produtivo dos materiais. O que pode indicar que se não houvesse ocorrido a seca do ano de 2014 as diferenças significativas entre os tratamentos poderiam não terem sido observadas.

O clone AEC144 durante todo o período de avaliação não apresentou respostas a adubação potássica, inclusive apresentando valores superiores para a variável em questão, nas avaliações de dezembro de 2012 a março de 2014 e em

março e junho de 2018, para o tratamento sem adubação potássica (AEC 144 K-) (Figura 27 - E). E essa ausência de interação entre os fatores Clone-Potássio pode ser explicada pelo fato de que o espessamento da parede celular é relacionado a fatores genéticos e ambientais, bem como a idade da árvore (SHIMOYAMA; BARRICHELLO, 1989), no caso em questão com os fatores genéticos influenciando mais no crescimento desse material, sendo então, mais resistente a situações de maior vulnerabilidade ao estresse hídrico.

Esse resultado demonstra que esse material genético possui uma maior capacidade de se desenvolver em condições de estresse hídrico, pois segundo Mendes (2011) a adubação potássica promove a diminuição dos efeitos da deficiência hídrica em genótipos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

O potássio é um nutriente muito importante para o balanço osmótico das células, onde vários processos são dependentes dele, como a pressão de turgor, produção de ATP e taxa de fotossíntese. Em condições de déficit hídrico esses processos podem parar ou diminuir consideravelmente prejudicando o crescimento das plantas (MALAVOLTA, 2006).

Carmo Pinto et al. (2011) estudando a eficiência nutricional e a produção de biomassa de diferentes clones de eucalipto ainda na fase de mudas, verificaram que dentre os materiais genéticos testados o clone AEC 144 foi o que apresentou a maior eficiência de absorção e utilização do potássio. Essa avaliação foi realizada a partir da relação entre o teor de potássio na planta e a quantidade de matéria seca da raiz, para a eficiência de absorção; e a relação entre a quantidade de matéria seca total da muda e o teor do nutriente na planta, para a eficiência de utilização. Isso pode indicar que o tratamento sem adubação de potássio (AEC 144 K-) foi capaz de absorver o potássio presente naturalmente no solo com maior eficiência quando comparado aos demais materiais genéticos avaliados no tratamento sem adubação potássica (K-).

Em estudo realizado por Gava (1997), para verificar o efeito da adubação potássica em plantios de *Eucalyptus grandis* aos 60 meses de idade conduzidos em segunda rotação, nas cidades de São Miguel Arcanjo e Angatuba no estado de São Paulo, o autor encontrou o valor de 168,40 m³/ha para a produção por unidade de área, aos 60 meses de idade, no tratamento com ausência de adubação potássica (K-), valor esse inferior aos aqui encontrados, sendo que no presente estudo, para os tratamentos sem adubação potássica (K-) esse valor variou de 168,30 a 271,27

m³/ha. E ainda segundo Gava (1997), a reposição da fertilização de potássio é imprescindível para a manutenção da produtividade em rotações sucessivas.

Sampaio et al. (2016) em um estudo de seleção de clones de eucalipto e de ajuste da dose de potássio em uma região de grande déficit hídrico na Bahia, concluiu que os materiais AEC 224, AEC 144, AEC 1528 e outros clones, são adaptados a se desenvolverem nessas condições, avaliando-os até os 24 meses de idade, resultado esse semelhante com os demonstrados no presente estudo como podemos verificar na Figura 27, pois até os 33 meses de idade (setembro de 2014) não foram observadas respostas a adubação potássica para todos os clones avaliados, contudo, com o desenvolver do ciclo isso não pode mais ser notado, pois como pode-se verificar apenas o clone AEC144 apresentou boas condições de crescimento na situação de estresse nutricional aqui imposta, pois sua produção em ambos tratamentos foram estatisticamente iguais. Além disso, os autores também não encontraram diferenças estatísticas para o crescimento do clone AEC 144 em situações de estresse sob diferentes doses de potássio (0, 30, 60 e 120 kg $ha^{-1}$ de $K_2O$).

Resultados superiores de crescimento nos tratamentos com adubação de potássio e em períodos chuvosos, demonstram como relatado por Battie-Laclau et al. (2013) uma maior vulnerabilidade ao estresse hídrico severo e de acordo com Castro et al. (2017) isso implica em situações de risco para as árvores de eucalipto das plantações de rápido crescimento quando se pensa nos cenários de mudanças climáticas com aumentos de eventos extremos, com a redução da intensidade de chuvas e secas prolongadas, exigindo manejo silvicultural adequado, como a diminuição da densidade de plantio e da dosagem de fertilizantes, e plantio de clones resistentes à seca e com maior eficiência no uso da água, visando a produção de madeira.

## 4.2. Eficiência do uso da água (EUA)

### 4.2.1. Calibração do Método de Granier (1985)

Para se estimar com maior precisão a transpiração e por consequência a EUA, dos clones avaliados no presente estudo, foram realizados dois processos de calibração do método de sondas de Granier (1985).

Na Tabela 9 tem-se as equações ajustadas de cada clone e as equações gerais, aos 39 e 56 meses de idade, bem como a equação proposta por Granier (1985). Os resultados encontrados demonstram que a utilização da equação padrão de Granier (1985) subestima as estimativas de densidade de fluxo de seiva, para os clones estudados, nas duas idades de avaliação, mesmo para o clone AEC 1528 aos 59 meses de idade, o qual sua equação específica não diferiu significativamente da equação de Granier (1985) (Figura 28).

**Tabela 9.** Equações ajustadas para cada clone e as equações gerais, aos 39 e 56 meses de idade, bem como a equação proposta por Granier (1985).

| 39 meses | 56 meses |
|---|---|
| $SF_{COP1404} = 1.630 * 10^{-6} * K^{1,231}$ | $SF_{COP1404} = 435 * 10^{-6} * K^{1,236}$ |
| $SF_{AEC224} = 906 * 10^{-6} * K^{1,231}$ | $SF_{AEC224} = 453 * 10^{-6} * K^{1,236}$ |
| $SF_{AEC1528} = 848 * 10^{-6} * K^{1,231}$ | $SF_{AEC1528} = 164 * 10^{-6} * K^{1,236}$ |
| $SF_{AEC144} = 1.052* 10^{-6} * K^{1,231}$ | $SF_{AEC144} = 248 * 10^{-6} * K^{1,236}$ |
| $SF_{COP1407} = 602* 10^{-6} * K^{1,231}$ | $SF_{COP1407} =303 * 10^{-6} * K^{1,236}$ |
| $SF_{AEC042} = 1.162 * 10^{-6} * K^{1,231}$ | $SF_{AEC042} = 269 * 10^{-6} * K^{1,236}$ |
| $SF_{Geral} = 926 * 10^{-6} * K^{1,231}$ | $SF_{Geral} = 266 * 10^{-6} * K^{1,236}$ |
| $SF_{Granier} = 119 * 10^{-6} * K^{1,231}$ | |

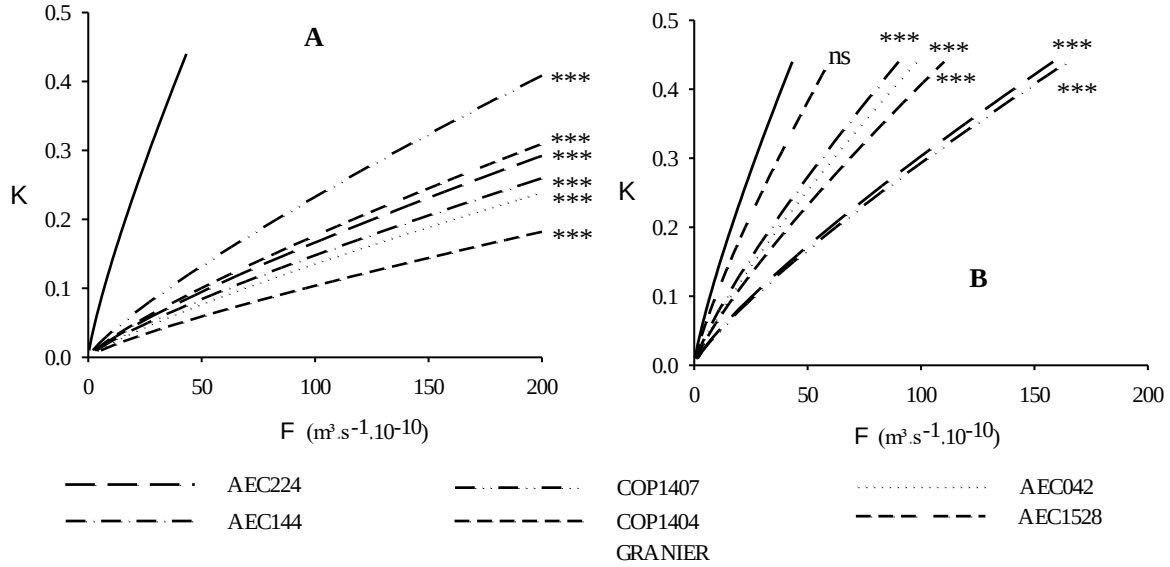


**Figura 28.** Curvas de calibração específicas de cada clone, comparadas com a curva proposta por Granier (1985), em A tem-se a calibração realizada aos 39 meses e em B aos 56 meses de idade. Onde " ns " indica que não houveram diferenças significativas entre a curva específica e a curva de Granier, " * " $p < 0,05$, " ** " $p < 0,01$ e " *** " $p < 0,001$.

Contudo, alguns autores como Braun; Schmid (1999), Clearwater et al. (1999), Granier (1985); Bush et al. (2010) demonstraram que a equação de Granier se ajusta bem a muitas espécies, porém outros estudos (CARIBEL; DO, 1991; TANEDA; SPERRY, 2008; REIS et al., 2006; LUNDBLAD et al., 2001; VELLAME et al., 2009; HULTINE et al., 2010; GENTIL, 2010; HUBBARD et al., 2010; SUN et al., 2012; RUBILAR et al., 2017) demonstraram resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo.

Como pode-se observar na Figura 28 quanto maior o valor da constante K, maior é a diferença entre o proposto pela equação padrão de Granier (1985) e as equações específicas ajustadas para cada clone, chegando a subestimar aos 39 meses de idade, para um K de 0,4, mais de 13 vezes o valor da densidade de fluxo de seiva para o clone COP 1404, e mais de 3 vezes para o clone COP 1407, aos 56 meses de idade.

A equação padrão de Granier subestimou aproximadamente 5 vezes a densidade de fluxo de seiva quando comparada a equação ajustada para um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* no Brasil aos 5 anos de idade (60 meses) (Hubbard et al.; 2010), encontrando um valor do coeficiente α da equação de

304,46 * $10^{-6}$, valor esse semelhante aos aqui encontrados aos 56 meses de idade (Tabela 9).

Em estudo proposto por Delgado Rojas et al. (1990) a equação proposta por Granier subestimou em 2,65 vezes a densidade de fluxo de seiva para o *Eucalyptus grandis*, quando comparada com a sua equação específica.

Sun et al. (2012) encontrou valores de α variando de 97 a 272 * $10^{-6}$, esses valores são menores que os encontrados no presente estudo, porém, se tratavam de espécies diferentes (*Liquidambar styraciflua*, *Populus deltoides*, *Quercus alba*, *Ulmus americana*, *Pinus echinata* e *Pinus taeda*), contudo todas elas diferiram da equação originalmente proposta por Granier.

O uso dos parâmetros originalmente descritos por Granier, subestimou consideravelmente a densidade de fluxo de seiva para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (Almeida et al.; 2007), o mesmo resultado foi demonstrado por Gentil (2010) ao analisar plantios clonais de eucalipto aos 4 anos de idade. Para a espécie *Fagus grandifiolia* foi encontrado que a equação de Granier subestimaria em 60% a densidade de fluxo de seiva quando comparada com a equação especificamente ajustada para a espécie (STEPPE et al., 2010).

É importante ressaltar que mesmo para o clone AEC 1528, que não foram encontradas diferenças significativas entre sua curva específica com a curva proposta por Granier, aos 56 meses de idade; a densidade de fluxo de seiva estimada pela equação de Granier (1985) foi praticamente 38% inferior ao valor estimado pela sua curva específica, ao se utilizar o valor da constante K igual a 0,4. Essa ausência de diferença pode ser explicada pela proximidade das curvas em valores da constante K inferiores a 0,20 (Figura 28- B).

Apesar da equação originalmente proposta por Granier ter seu uso empregado independentemente da espécie, o resultado aqui demonstrado vai de acordo com as evidencias obtidas por Smith; Allen's (1996); Lundblad et al. (2001); Lu et al. (2004); REIS et al. (2006); Taneda; Sperry (2008); Hubbard et al. (2010); Sun et al. (2012) e Rubilar et al. (2017); sugerindo que a calibração de equações para estimar a densidade de fluxo deve ser realizada individualmente para diferentes espécies.

No caso do eucalipto verificou-se no, presente estudo, a necessidade de se realizar o ajuste das calibrações no nível de clone (Figura 29) ou por grupo de clones (Tabela 10).

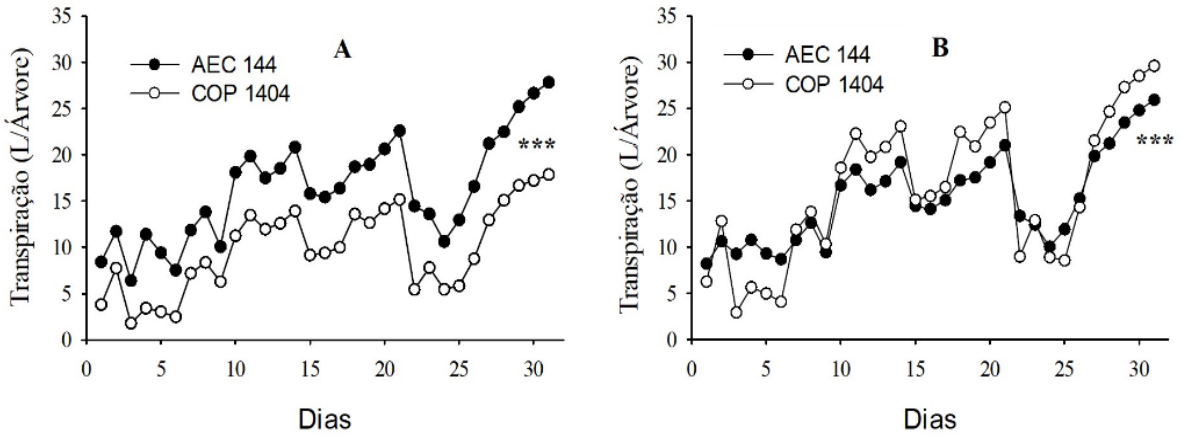


**Figura 29.** Transpiração média total diária por árvore em agosto de 2018 para os clones AEC144 e COP1404, em A usando a equação geral para 56 meses de idade e em B usando a equação específica de clone para 56 meses de idade. Onde "ns" indica que não houve diferenças significativas entre as curvas específicas do clone, "*" p <0,05, "**" p <0,01 e "***" p <0,001 de acordo com o teste de L&O (Leite; Oliveira, 2002).

Quando a equação geral foi utilizada (Figura 29 – A) o clone AEC 144 demonstrou uma transpiração média diária, no mês de agosto, 66% superior à do clone COP1404, contudo, quando utilizadas as equações específicas de cada clone, essa relação inverte, pois o clone COP 1404 demonstra um valor 6% superior (Figura 29 – B). Esses resultados de transpiração, bem como as discussões dos mesmos, serão explorados no tópico 4.2.4.

Pode-se notar na Tabela 10 que, para a maioria dos clones, foram encontradas diferenças significativas entre suas curvas específicas do clone, em ambas as idades.

**Tabela 10.** Comparações entre as curvas de cada clone, utilizando o teste de médias de Tukey e o teste de aderência de Kolmogorov-Sminorv, aos 39 e 56 meses de idade. Onde " ns " indica que não houveram diferenças significativas entre a curva específica e a curva de Granier, " * " p < 0,05, " ** " p < 0,01 e " *** " p < 0,001.

| 39 meses | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Teste de Tukey | | Teste de Kolmogorov-Smirnov | | | | | |
| Clone | | Clone | AEC224 | COP1407 | AEC1528 | AEC144 | COP1404 | AEC042 |
| COP1404 | a | AEC224 | - | - | - | - | - | - |
| AEC042 | b | COP1407 | * | - | - | - | - | - |
| AEC144 | b | AEC1528 | ns | ns | - | - | - | - |
| AEC224 | bc | AEC144 | ns | *** | ns | - | - | - |
| AEC1528 | bc | COP1404 | *** | *** | *** | * | - | - |
| COP1407 | c | AEC042 | ns | *** | ns | ns | ns | - |

| 56 meses | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Teste de Tukey | | Teste de Kolmogorov-Smirnov | | | | | | |
| Clone | | Clone | AEC224 | COP1407 | AEC1528 | AEC144 | COP1404 | AEC042 |
| COP1407 | a | AEC224 | - | - | - | - | - | - |
| AEC224 | ab | COP1407 | ns | - | - | - | - | - |
| COP1404 | bc | AEC1528 | *** | *** | - | - | - | - |
| AEC042 | cd | AEC144 | *** | *** | * | - | - | - |
| AEC144 | cd | COP1404 | ns | * | *** | ns | - | - |
| AEC1528 | d | AEC042 | * | *** | * | ns | ns | - |

De acordo com a Tabela 10, aos 39 meses de idade podemos agrupar as equações específicas ajustadas para cada clone em 4 grupos, uma equação para descrever a densidade de fluxo de seiva do clone COP 1404, outra para os clones AEC042 e AEC144; uma para o AEC 224 e AEC 1528; uma última para o COP 1407. Aos 56 meses se fez necessário a formação de 5 grupos, pois somente os clones AEC 144 e AEC 042 poderiam partilhar de uma mesma equação.

Pode-se verificar também que para as duas avaliações seriam necessárias equações específicas para o clone COP 1407; além disso ao analisar o teste de Kolmogorov-Sminorv nota-se que em ambos os casos não foram encontradas diferenças significativas entre os clones AEC 144 e COP 1404 com o AEC 042; apesar do teste de aderência de Kolmogorv-Smirnov indicar uma diferença significativa entre os clones COP 1404 e AEC 144 aos 39 meses de idade, essa diferença foi pequena quando comparada as demais diferenças encontradas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Bush et al. (2010) ao comparar as equações de 4 espécies diferentes, *Eleagnus angustifolia*, *Gleditsia triacanthos*; *Q. gambelii* e *Saphoria japônica*, indicando diferentes resultados entre os parâmetros das equações específicas para cada espécie. Sun et al. (2012) ao avaliar a calibração de seis espécies diferentes verificou a necessidade de confecção de calibrações específicas para cada espécie e combinação de sensores.

Lundblad et al. (2001) ao comparar curvas de calibração para estimar a densidade de fluxo de seiva em uma floresta de aproximadamente 50 anos de idade contendo 33% de *Picea abies*, 64% de *Pinus sylvestris* e 3% de floresta decídua encontraram diferenças significativas ao comparar as curvas obtidas: 1) apenas para *Pinus sylvestris*, 2) para todas as espécies 3) e para o *Pinus sylvestris* e as espécies da floresta decídua.

Por outro lado, Rubilar et al. (2017) ao comparar os parâmetros das curvas obtidas para *Eucalyptus globulus* e um híbrido de *Eucalyptus nitens* x *Eucalyptus globulus*, não encontraram evidencias que comprovassem a necessidade de curvas específicas para cada uma das espécies, porém, os autores ressaltaram problemas de limitações logísticas que limitaram o tamanho da amostra, dessa forma os coeficientes das equações podem divergir do real.

Os clones AEC 144 e AEC 042 como pode-se observar na Figura 13 foram os mais produtivos e tiveram suas curvas de calibração para estimar a densidade de fluxo de seiva estatisticamente iguais, aos 56 meses para o AEC 144 e aos 39 e 56 meses para o AEC 042 (Tabela 10), a curva ajustada para o clone COP 1404, o qual podemos notar na Figura 13 foi o material genético com menor produção de madeira.

As curvas de calibração e as estimativas de densidade de fluxo de seiva, não explicam, por si só a produtividade de uma floresta, pois outras características, tais como a área de alburno (Aa) e a porcentagem de alburno (%Alburno) (Tabela 11), possuem um papel importante nessa relação da quantidade de água que está passando pela secção do tronco com a produtividade dos indivíduos.

**Tabela 11.** Valor médio da área de alburno (Aa), Área total de lenho (At), porcentagem de alburno (%Alburno), diâmetro a altura do peito (DAP) dos indivíduos utilizados para a calibração aos 39 e 56 meses de idade.

| | 39 meses | | | | 56 meses | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Aa (cm²) | At (cm²) | % Alburno | DAP (cm) | Aa (cm²) | At (cm²) | % Alburno | DAP (cm) |
| COP1404 | 41,54 | 82,23 | 50,52 | 10,13 | 55,17 | 122,68 | 44,97 | 12,16 |
| COP1407 | 63,63 | 103,14 | 61,69 | 11,35 | 81,01 | 129,71 | 62,46 | 12,64 |
| AEC224 | 48,63 | 103,01 | 47,21 | 11,33 | 58,98 | 140,03 | 42,12 | 12,96 |
| AEC1528 | 56,93 | 98,83 | 57,6 | 11,14 | 68,54 | 137,55 | 49,83 | 13,21 |
| AEC042 | 51,22 | 113,55 | 45,11 | 11,93 | 63,22 | 141,21 | 44,77 | 13,42 |
| AEC144 | 56,41 | 117,94 | 47,83 | 12,09 | 60,66 | 130,68 | 46,42 | 12,95 |

Na Figura 30, pode-se observar, com exceção do clone COP 1407 (Figura 30 - B), que para todos os demais materiais genéticos as curvas ajustadas em diferentes idades se diferiram.

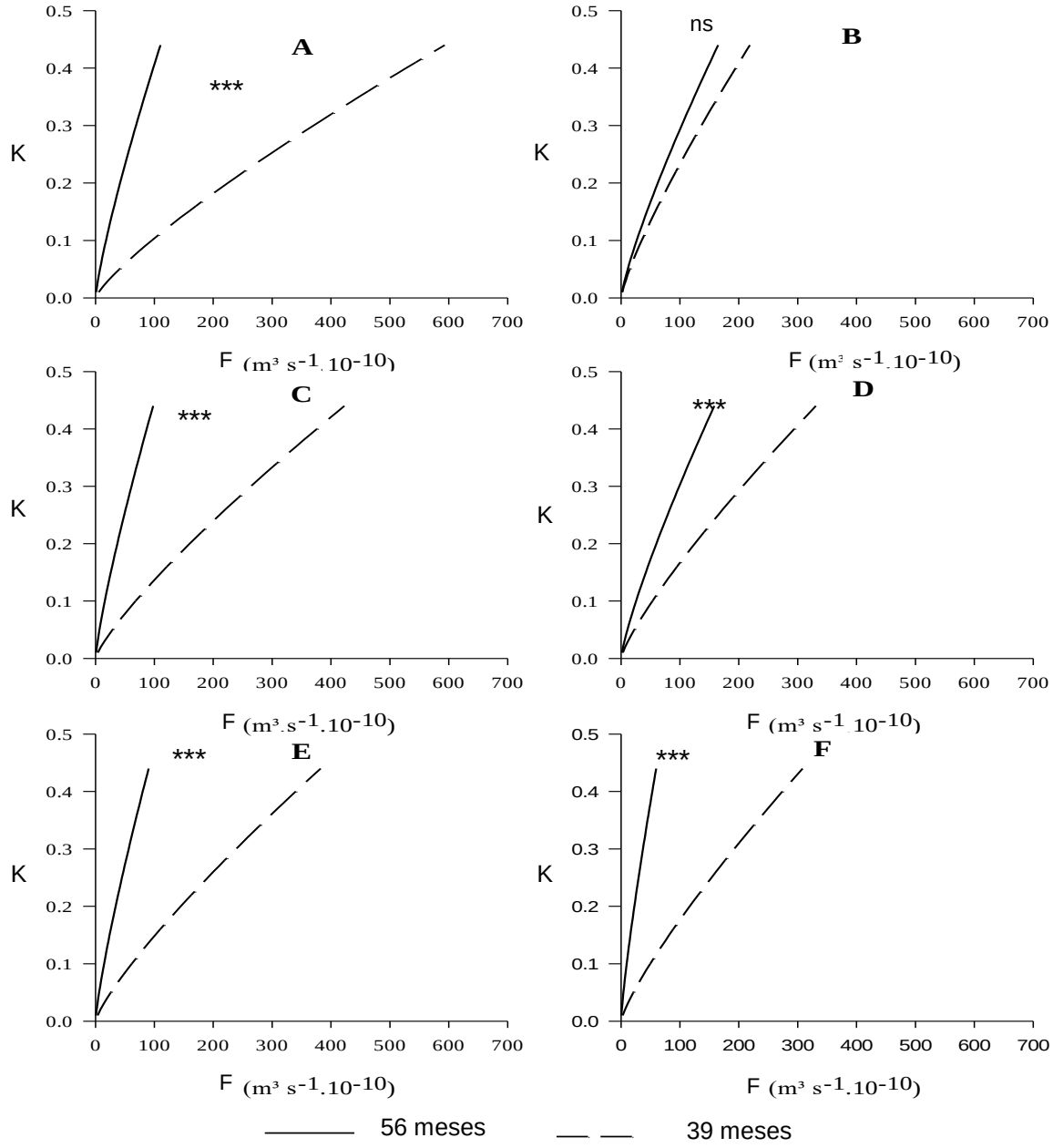


**Figura 30.** Comparação entre as curvas de calibração obtidas para cada clone nas diferentes idades, em A tem-se o clone COP 1404, em B o COP 1407, em C o AEC 042, em D o AEC 224, em E o AEC 144 e em F o clone AEC 1528. Onde " ns " indica que não houveram diferenças significativas entre a curva específica e a curva de Granier de acordo com o teste de Kolmogorv-Smirnov, " * " $p < 0,05$, " ** " $p < 0,01$ e " *** " $p < 0,001$.

Em todos os casos ao utilizar as curvas ajustadas aos 39 meses de idade para estimar a densidade de fluxo de seiva aos 56 meses, os valores seriam superestimados, chegando a apresentar valores de até 23 vezes superior, como é o exemplo do clone COP 1404 (Figura 30 - A). Em média os modelos aos 39 meses de idade superestimariam em 12 vezes a densidade de fluxo de seiva se fossem usados para essa finalidade aos 56 meses de idade.

O clone COP 1407 (Figura 30 - B) foi o único clone estudo que não apresentou diferenças significativas entre as curvas ajustadas, e como podemos verificar na Tabela 11 praticamente não houve incremente na %Alburno, inclusive sendo o único material genético a apresentar um acréscimo, mesmo que pequeno da %Alburno e foi o material genético que demonstrou o maior incremento em área do alburno.

Diferenças nos coeficientes quando comparados com os da equação originalmente proposta por Granier (1985) e entre diferentes processos de calibrações realizadas, podem ser devido a mudanças abruptas na anatomia da madeira; nos tipos de sensores utilizados (WILSON et al., 2001; GUTIÉRREZ; SANTIAGO, 2006), contudo, alguns estudos demonstram bons ajustes entre os sensores construídos em diversas maneiras (MCCULLOH et al., 2007; JAMES et al., 2002); da forma com que a calibração foi executada e a proporção de contato dos sensores com xilema não condutor, como cerne ou casca, podendo gerar subestimativas da velocidade do fluxo (CLEARWATER et al., 1999; NADEZHDINA et al., 2002; LU et al., 2004). Além disso, essa diferença pode ser devido a diferenças na densidade e anatomia da madeira e pela frequência e diâmetro dos vasos, o que afeta a condutividade hidráulica (CLEARWATER et al., 1999; JAMES et al., 2002; SEARSON et al., 2004; HOEBER et al., 2014), segundo Hoeber et al. (2014), altas densidades da madeira estão relacionadas com pequenos diâmetros dos vasos e baixa condutividade hidráulica, mas alta densidade de vasos; as diferentes taxas de movimento de água (GUTIÉRREZ; SANTIAGO, 2006; LIU et al., 2008; BUSH et al., 2010); o gradiente natural de temperatura (LUNDBLAD et al., 2001; DO; ROCHETEAU, 2002), erros na estimativa do ΔTmax (EWERS; OREN, 2000; REGALADO; RITTER, 2007) e da área de alburno (CLEARWATER et al., 1999).

### 4.2.2. Estimativa de Biomassa

Para a determinação da eficiência do uso da água foi necessário obter o incremento de biomassa durante o período avaliado, para isso, foram ajustados modelos de regressão que permitissem a estimativa da biomassa de madeira nas avaliações de crescimento. Os valores dos parâmetros das regressões bem como do R$\hat{y}$y, VIÉS e RQEM utilizados para seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados estão presentes na Tabela 12. Os valores de densidade (t/m³) podem ser observados no Apêndice B.

**Tabela 12.** Estatísticas utilizadas para a seleção dos modelos de biomassa de madeira bem como os parâmetros dos modelos de regressão ajustados, sendo: Rŷy o coeficiente de correlação entres os valores estimados e observados, VIÉS o enviezamento das estimativas e RQEM a raiz quadrada do erro médio.

| | $R_{\hat{y}y}$ | VIÉS | RQEM | $\beta_0$ | $\beta_1$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo_1 | 0,97 | 0,00008 | 11,24 | 0,000016 | 1,0113 |
| Modelo_2 | 0,99 | 0,00000 | 10,83 | 0,011556 | 0,43766 |

Apesar dos modelos terem apresentados altos valores (0,97 e 0,99) para o Rŷy, mesmo valor encontrando por Rodrigues (2017), ao estimar a biomassa de madeira em plantações clonais de eucalipto sob diferentes densidades de plantio, na EECFI, o modelo_2 indica um VIÉS nulo e o menor valor para a RQEM, contudo, esses valores foram superiores aos encontrados por Rodrigues (2017). Pode-se observar na Figura 31 que o Modelo_2 ajustou-se melhor aos dados e apresentou menor dispersão dos erros.

$$\text{Modelo_1: Biomassa} = \beta_0 * (\text{DAP}^2 * \text{H})^{\beta_1}$$

$$\text{Modelo_2: Biomassa} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Vol}$$

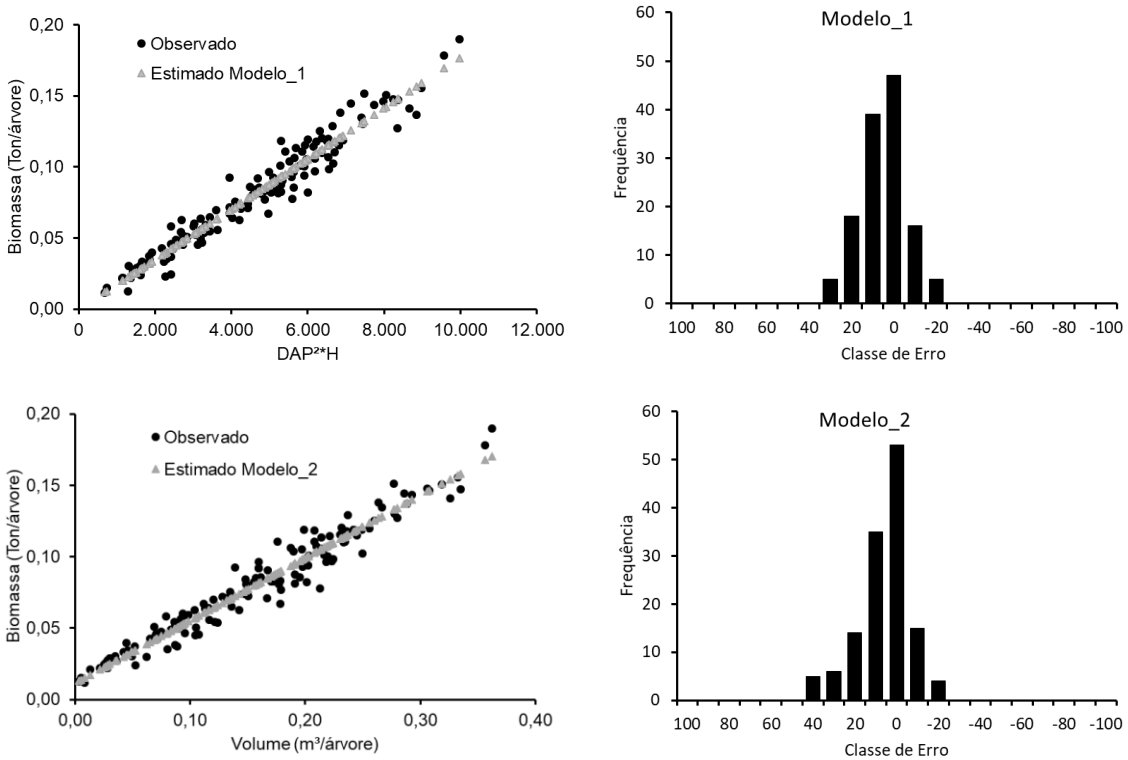


**Figura 31.** Gráficos para suporte na seleção do modelo de biomassa de madeira que melhor se ajustou aos dados observados, em A tem-se a sobreposição dos dados estimados pelo Modelo_1 sobre os dados observados, em B tem-se o histograma de erros percentuais para o Modelo_1, em C tem-se a sobreposição dos dados estimados pelo Modelo_2 sobre os dados observados e em D tem-se o histograma de erros percentuais para o Modelo_2.

Ao se estimar a biomassa de madeira (t/árvore) foi possível calcular a biomassa de madeira por unidade de área (t/ha) considerando cada tratamento, como pode-se observar na Figura 32.

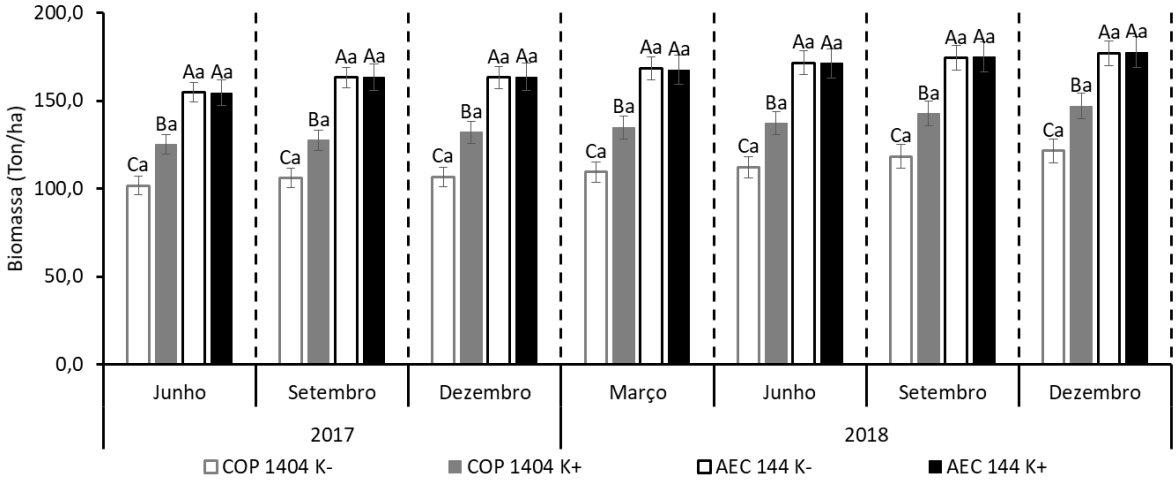


**Figura 32.** Biomassa de madeira estimada pelo Modelo_2 para os diferentes tratamentos no período de avaliação do fluxo de seiva. Sendo que as letras minúsculas se referem as comparações entre as estações para o mesmo tratamento e as letras maiúsculas as comparações entre os tratamentos na mesa estação do ano, quando as letras forem iguais os tratamentos não diferiram estatisticamente (p>0,05) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nota-se que em todas avaliações apresentadas o clone AEC 144 apresentou valores de biomassa superiores e diferentes estatisticamente do clone COP 1404; e não houve influência da adubação potássica, pois não foram encontradas diferenças siginificativas entre os tratamentos AEC 144 K+ e AEC 144 K-. O clone COP 1404 apresentou resposta a esse nutriente, pois o tratamento com adubação potássica (COP 1404 K+) foi significativamente superior ao tratamento sem a aducação de potássio (COP 1404 K-), chegando a apresentar produção 24% superior.

Observa-se também que em março e junho de 2018, os valores de biomassa de madeira foram superiores no tratamento AEC 144 K- quando comparado ao AEC 144 K+, esse tipo de comportamento não ocorreu até os 45 meses de idade (MOMENTEL, 2016).

Nenhum dos tratamentos demonstrou diferença significativa entre as avaliações (Figura 32), demonstrando uma diminuição no ritmo de crescimento, atrelada ao fato de que o povoamento está em fase final do ciclo, onde a competição por espaço é maior.

Em trabalho realizado por Cruz et al. (2008) ao avaliar o crescimento de *Tectona grandis*, aos 22, 34, 46 e 58 meses de idade, em Tangará da Serra – MT e

outro trabalho desenvolvido por Demolinari et al. (2007) ao avaliar plantios clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*¸ dos 24 aos 84 meses de idade, na cidade de Monte Dourado – PA, demonstraram que não foi possível observar essa estagnação no crescimento, contudo, segundo os autores, nos piores sítios foi possível observar uma diminuição acentuada na taxa de crescimento. Segundo Oliveira et al. (2008) ao avaliar o crescimento de clones de *Eycalyptus spp.* na Bahia, a estagnação do crescimento em volume só foi observada após os 96 meses de idade.

### 4.2.3. Área do Alburno

Conforme discutido anteriormente, a área de alburno possui um importante papel na relação da quantidade de água que está passando pelo xilema com a produtividade dos indivíduos, e como destacado nos itens 3.8.1 e 3.8.2 é necessário estimá-la mensalmente para as estimativas de transpiração.

Na Tabela 13 tem-se os valores dos parâmetros das regressões bem como dos parâmetros $R_{\hat{y}y}$, VIÉS e RQEM utilizados para seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados, sendo possível observar que o Modelo_4 foi o responsável por apresentar o VIÉS (0,00009) mais próximo de zero e o menor valor para a RQEM (15,34), e um elevado $R\hat{y}y$ (0,92), valor esse superior ao encontrado por Gentil (2010), de 0,70, ao estimar a área de alburno de árvores clonais de *Eucalyptus* spp. em Eunápolis – BA.

$$\text{Modelo_4: LnAa} = \beta_0 + \beta_1 * \text{LnDAP}$$

**Tabela 13.** Estatísticas utilizadas para a seleção dos modelos de área de alburno bem como os parâmetros dos modelos de regressão ajustados, sendo: $R\hat{y}y$ o coeficiente de correlação entres os valores estimados e observados, VIÉS o enviezamento das estimativas e RQEM a raiz quadrada do erro médio.

| | $R\hat{y}y$ | VIÉS | RQEM | $\beta_0$ | $\beta_1$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo_3 | 0,92 | 0,00018 | 16,07 | 0,0009 | 0,1464 |
| Modelo_4 | 0,92 | 0,00009 | 15,34 | -9,4698 | 1,7201 |
| Modelo_5 | 0,91 | 0,00018 | 16,26 | -0,0040 | 0,0008 |

Além disso, pode-se observar na Figura 33 – D que o Modelo_4 apresentou menor dispersão dos resíduos e na Figura 33 – C nota-se que o modelo se ajustou bem aos dados e com estimativas mais próximas da realidade.

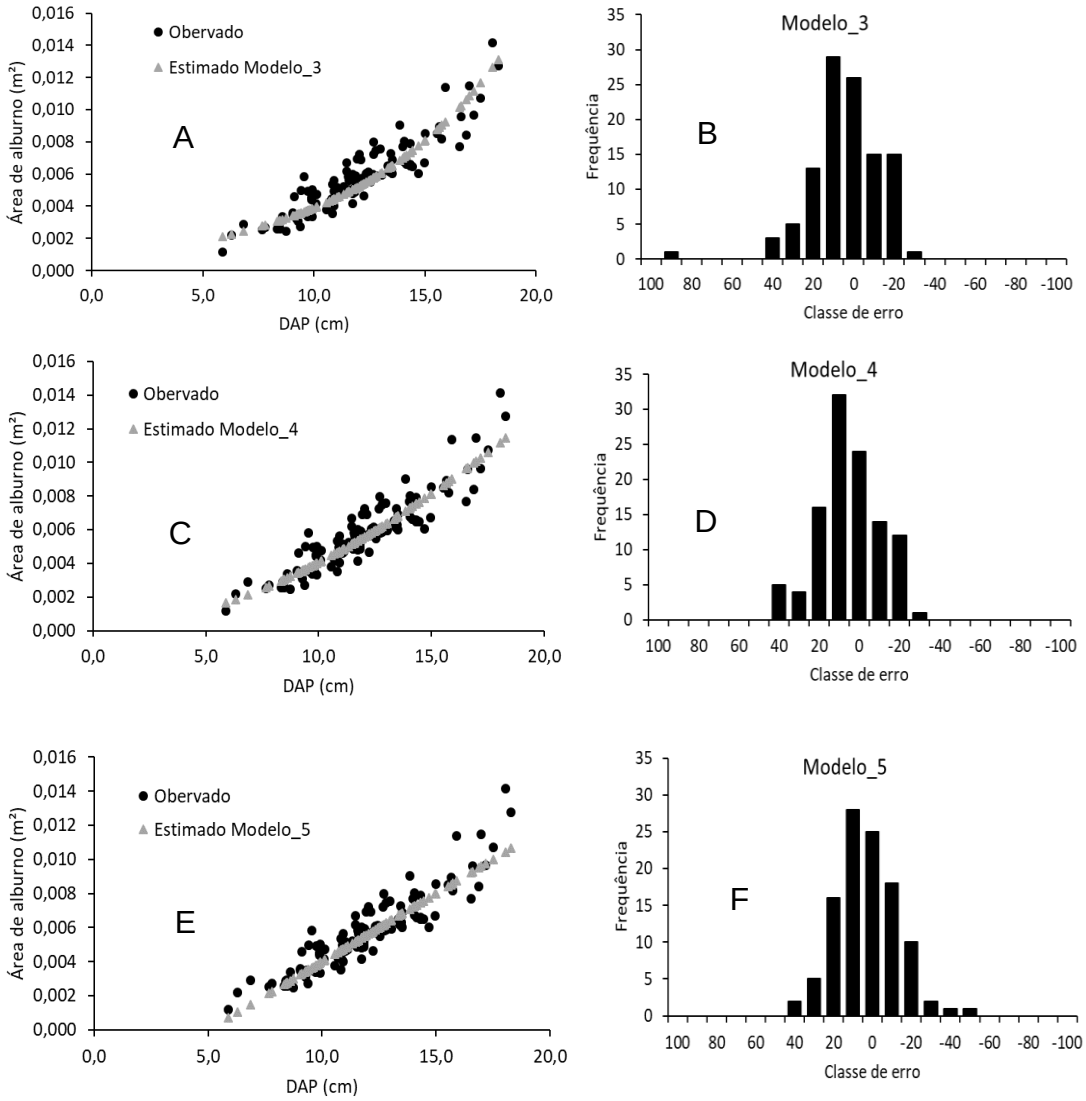


**Figura 33.** Gráficos para suporte na seleção do modelo de área de alburno que melhor se ajustou aos dados observados, em A tem-se a sobreposição dos dados estimados pelo Modelo_3 sobre os dados observados, em B tem-se o histograma de erros percentuais para o Modelo_3, em C tem-se a sobreposição dos dados estimados pelo Modelo_4 sobre os dados observados, em D tem-se o histograma de erros percentuais para o Modelo_4, em E tem-se a sobreposição dos dados estimados pelo Modelo_5 sobre os dados observados, em F tem-se o histograma de erros percentuais para o Modelo_5.

### 4.2.4. Transpiração

Em posse dos dados de diferença de temperatura entre os sensores de fluxo de seiva e da área de alburno estimada em cada mês, foi possível aplicar as equações especificas de cada clone ajustadas com a calibração do método de Granier (1985) para a estimativa da transpiração dos materiais genéticos avaliados.

A transpiração diária (L/árvore dia) obtida para os clones AEC 144 e COP 1404, com e sem adubação potássica, correspondendo ao período de junho de 2017 a dezembro de 2018 pode ser observada na Figura 34.

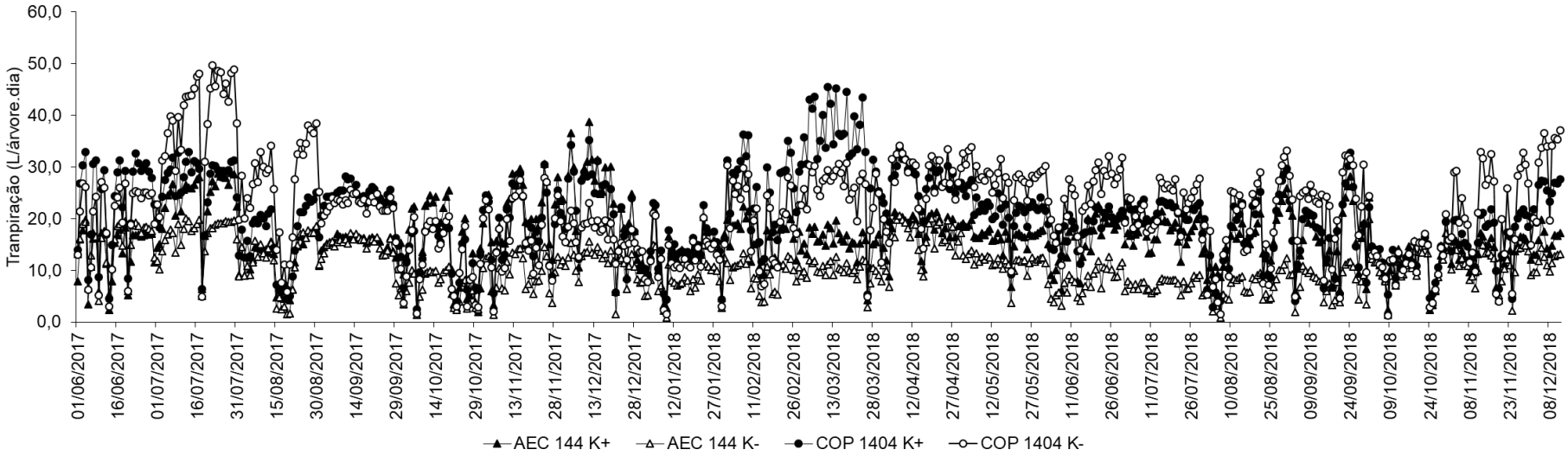


**Figura 34.** Transpiração diária (L/árvore dia) dos diferentes tratamentos no período de avaliação.

Conforme apresentado na Figura 34, os maiores valores de transpiração (L/árvore dia) foram encontrados para as árvores do clone COP 1404, sendo superiores no tratamento sem adubação potássica (COP 1404 K-); o clone AEC 144, com menores taxas de transpiração, apresentou comportamento inverso, sua transpiração foi superior quando adubado com potássio (AEC 144 K+). Segundo Momentel (2016) ao avaliar o crescimento e a eficiência no uso da água utilizando os mesmos clones analisados no presente estudo, o clone COP 1404 exibiu uma maior densidade estomática foliar quando adubado com potássio (390,89 estômatos/mm²) em comparação ao COP 1404 sem adubação potássica (280,5 estômatos/mm²), o clone AEC 144 apresentou uma maior densidade estomática foliar na ausência da adubação com potássio (396,04 estômatos/mm²) quando comparado com o clone AEC 144 com adubação potássica (377,4 estômatos/mm²). E segundo alguns autores, quanto maior a densidade estomática, menor será a transpiração, pois a abertura estomática ocorre em um menor espaço de tempo, permitindo a absorção rápida de $CO_2$ e reduzindo o tempo de abertura dos estômatos (BOEGER; WISNIEWSKI, 2003; SOUZA et al., 2011).

Os valores superiores de transpiração apresentados pelo clone COP 1404 em relação ao clone AEC 144, podem ser justificados pelos dados equivalentes para a variável porcentagem de copa (Figura 19), sendo o clone COP 1404, 28% superior ao clone AEC 144 em junho de 2018 (78 meses de idade), 31% em setembro de 2018 (81 meses de idade) e 21 % em dezembro de 2018 (84 meses de idade). Demonstrando que o material genético COP 1404 não possui boas estratégias para o uso eficiente da água, sobretudo em períodos de menor disponibilidade hídrica, pois a atmosfera está mais seca e dessa forma, quanto maior a área de copa, mais água será perdida via transpiração, diminuindo a taxa de conversão de água para a produção de biomassa de madeira.

Ao analisar o *Eucalyptus regnans* na Austrália, Vertessy et al. (1995) encontraram fluxos diários de 25 L/árvore, já Rubilar et al. (2017) ao quantificar as diferenças nos sensores de fluxo de seiva para *Eucalyptus globulus* (Eg) e *Eucalyptus nitens* x *Eucalyptus globulus* (Eng) encontraram valores próximos de 5,8 mm no outono (aproximadamente 34,8 L/árvore dia considerando um espaçamento de 3m x 2m) e 6,3 mm no inverno (aproximadamente 37,8 L/árvore dia considerando um espaçamento de 3m x 2m) para o Eng, de 3,8 mm no outono (aproximadamente 22,8 L/árvore dia considerando um espaçamento de 3m x 2m) e 4,5 mm no inverno

(aproximadamente 27,0 L/árvore dia considerando um espaçamento de 3m x 2m) para o Eg.

No Brasil, Delgado Rojas et al. (2006) ao analisarem o *Eucalyptus grandis* com 2 anos de idade, encontraram uma variação de 0,7 L/árvore dia a 26,54 L/árvore dia; ao avaliarem o *Eucalyptus grandis* na região de Aracruz - ES, Soares e Almeida (2001) encontraram valores de 1,1 a 5,8 mm/dia (6,6 a 34,8 L/árvore dia considerando 3m x 2m de espaçamento). Após analisar a transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de *Eucalyptus* spp. em áreas irrigadas e não irrigadas na Bahia (BA), Gentil (2010) obteve dados com valor médio de 68 L/árvore dia, valor máximo no período avaliado de 79 L/árvore dia nas áreas irrigadas e valor máximo de 72 L/árvore dia nas áreas não irrigadas. Em estudo realizado na Bahia (BA) e no Espírito Santo (ES) por Hubbard et al. (2010) para avaliar os efeitos da irrigação no uso eficiente da água pelo *Eucalyptus* spp., os autores encontraram valores totais médios mensais de 116,1 mm no ES e 195 mm na BA.

Visto isso, conforme a Figura 34, os dados de transpiração obtidos neste estudo são semelhantes aos encontrados na literatura, com os tratamentos apresentando valores médios para o período avaliado de 10,68 L/árvore dia para o AEC 144 K-, 16,17 L/árvore dia para o AEC 144 K+, 20,59 L/árvore dia para o COP 1404 K+ e 21,59 para o COP 1404 K-. A exceção foram os resultados encontrados na Bahia, possivelmente devido às condições ideais de crescimento na região do estudo, como características climáticas favoráveis e umidade do solo, resultado das chuvas bem distribuídas ao longo do ano (GENTIL, 2010).

Na Figura 35 podemos correlacionar as variáveis, transpiração total mensal (mm) para os clones AEC 144 e COP 1404, com e sem adubação potássica, precipitação mensal (mm) e déficit de pressão de vapor - DPV (KPa), em todo o período analisado.

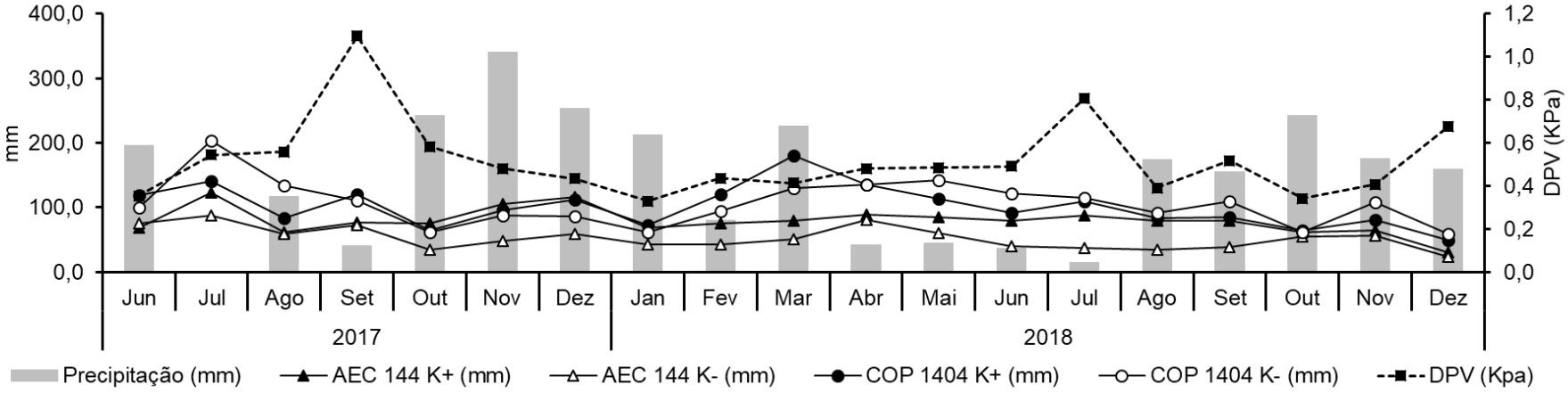


**Figura 35.** Relação entre a transpiração total mensal (mm) dos tratamentos com a precipitação (mm) e o déficit de pressão de vapor (DPV).

Segundo Medeiros (2002), o déficit de pressão de vapor (DPV) é um indicativo da demanda evaporativa do ar e como pode-se observar, de maneira geral, as maiores taxas de transpiração ocorreram quando se observa o aumento do DPV. Segundo Larcher (2006) o acréscimo do DPV, reflete a maior tendência da planta em perder água, pois valores muito altos de DPV subtraem água da célula e, portanto, diminuem o valor do potencial hídrico do sistema celular, devido a atmosfera mais seca. Nesse sentido, o DPV é uma variável que impulsiona a transpiração, contudo, altos valores ao longo do dia causam o fechamento estomático e reduzem o crescimento (ALMEIDA, 2003), possivelmente um mecanismo de proteção da planta para impedir a perda excessiva de água. Além disso observa-se uma relação inversa das taxas de DPV com a precipitação.

Seria esperado um expressivo acréscimo da transpiração nos meses de setembro de 2017 e julho de 2018, pelo alto DPV apresentado, contudo, foi possível observar que nos meses que sucederam esse período as taxas de precipitação foram baixas, indicando que não havia disponibilidade hídrica suficiente no solo para a planta suprir as demandas de água da atmosfera. O período que levou as plantas ao maior nível de estresse observado, foi de setembro de 2017 e julho de 2018, podendo inclusive ser observado na Figura 18 uma redução no incremento em produção ($m^3$/ha) dos materiais genéticos. Verifica-se também que os tratamentos com adubação de potássio apresentaram um pequeno aumento nas taxas de transpiração em julho de 2018 quando comparados ao mês de junho de 2018, isso pode demonstrar a importância do potássio na absorção de água em períodos de pouca disponibilidade hídrica, pois a deficiência desse nutriente leva a uma redução do crescimento radicular, consequentemente a uma queda na absorção de água.

Na Figura 36, observa-se os resultados da análise da transpiração média (L/árvore dia) das plantas dos clones AEC 144 e COP 1404, com e sem adubação de potássio nas diferentes estações do ano no período de junho de 2017 a dezembro de 2018. No geral é possível verificar maiores taxas de transpiração nas estações mais secas do ano, ou seja, outono e inverno (Figura 37), pois nessas épocas do ano a atmosfera está mais seca, diminuindo o potencial hídrico da atmosfera, aumentando a demanda de água. No ano de 2018 as menores taxas de transpiração foram observadas no inverno quando comparado ao outono. Esse resultado é contrastante com o encontrado por Rubilar et al. (2017), todavia vai de acordo com o encontrado por Hubbard et al. (2010).

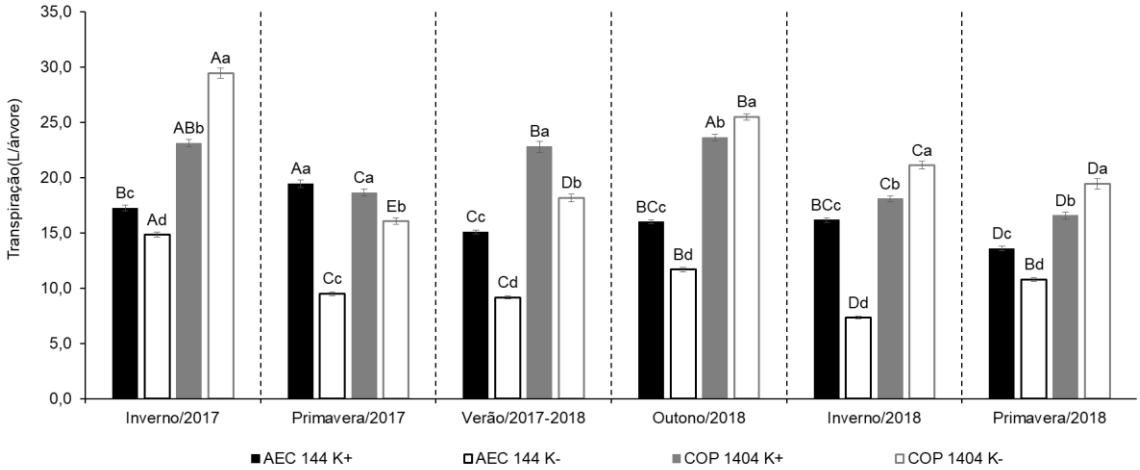


**Figura 36.** Transpiração média dos tratamentos avaliados nas diferentes estações do ano. Sendo que as letras maiúsculas se referem as comparações entre as estações para o mesmo tratamento e as letras minúsculas as comparações entre os tratamentos na mesa estação do ano, quando as letras forem iguais os tratamentos não diferiram estatisticamente (p>0,05) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

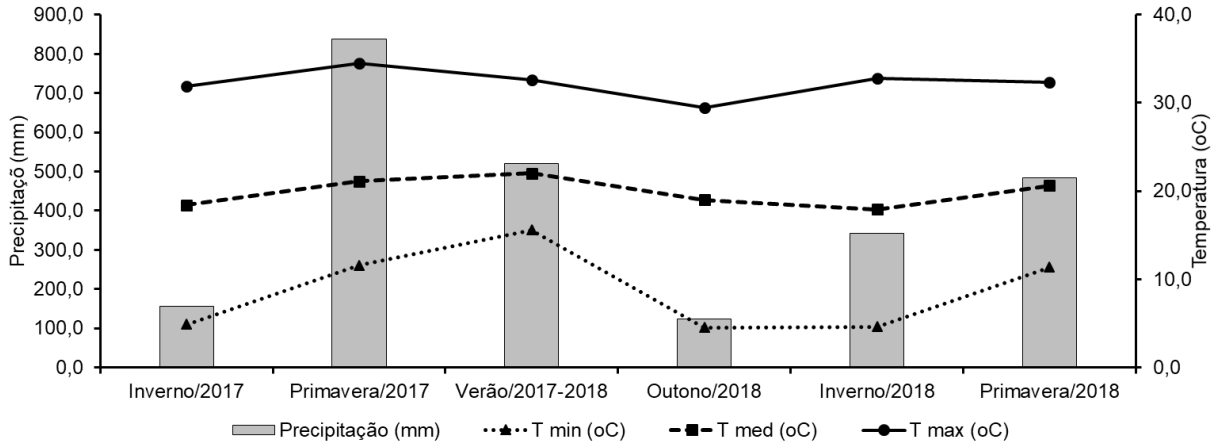


**Figura 37.** Precipitação em milímetros (mm), Temperaturas Média em ºC (T med), Máxima em ºC (T max) e Mínima em ºC (T min) nas diferentes estações do ano avaliadas pelo fluxo de seiva, conforme a estação meteorológica automática da EECFI.

Esse comportamento não esperado de maiores taxas de transpiração no outono, pode ser explicado pelas maiores precipitações nos meses de inverno de 2018 (abril, maio e junho) quando comparadas com os meses do outono de 2018 (julho, agosto e setembro). De acordo com os dados obtidos pela estação meteorológica da EECFI (Figura 38), foi possível avaliar as precipitações totais ao longo das estações do ano, no período de 2012 a 2018, e como podemos notar, os resultados de menores taxas de precipitação no outono quando comparado ao inverno não são comuns. Essa situação de aumento nas taxas de precipitação nos

meses de inverno, período normalmente mais seco, quando comparada aos meses de outono, também foi observada no ano de 2015.

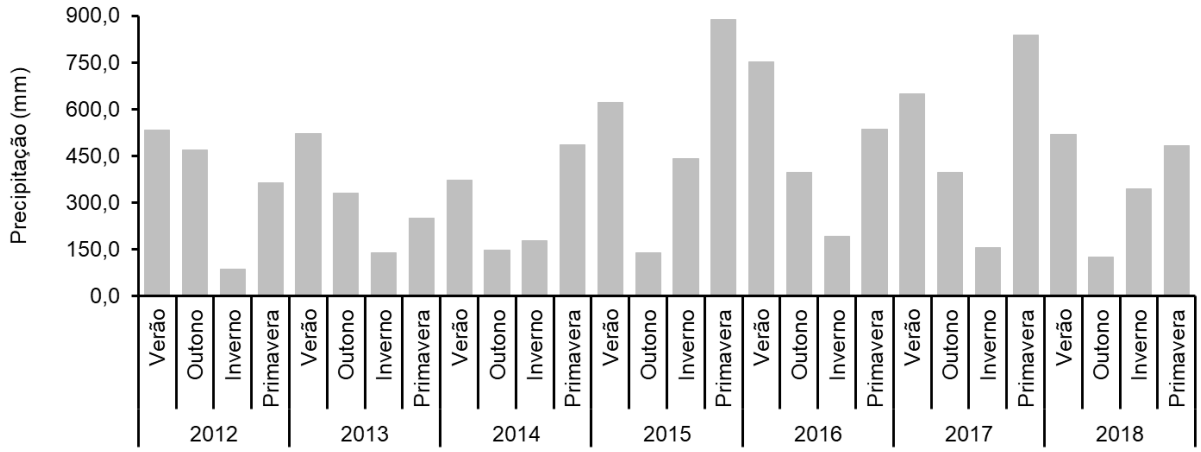


**Figura 38.** Precipitação total nas diferentes estações do ano no período de avaliação do experimento (2012 - 2018).

Pela análise das médias mensais de transpiração no período avaliado (Figura 36 e Apêndice A), é possível demonstrar que as plantas do tratamento COP 1404 K- só não apresentaram os maiores valores para a taxa de transpiração na Primavera/2017 e no Verão 2017/2018, nas demais avaliações seus valores foram seguidos, em escala de magnitude e em ordem decrescente, pelos tratamentos COP 1404 K+, AEC 144 K+ e AEC 144 K-, com todos diferindo estatisticamente entre si nas diferentes estações do ano. Quando se analisa a taxa de transpiração de cada clone na ausência e presença de potássio, com exceção do AEC 144 K+ (17,25 L/árvore dia), as taxas de transpiração no inverno de 2017 (29,43 L/árvore dia para o COP 1404 K-, 23,11 L/árvore dia para o COP 1404 K+ e 14,81 L/árvore dia para o AEC 144 K-) e outono de 2018 (25,48 L/árvore dia para o COP 1404 K-, 23,62 L/árvore dia para o COP 1404 K+ e 11,69 L/árvore dia para o AEC 144 K-) foram as maiores observadas, ou seja, nas estações mais secas avaliadas.

Além do clone AEC 144 ter demonstrado menores valores para as taxas de transpiração quando comparado ao COP 1404, o material em questão também demonstrou uma menor variação da transpiração ao longo do período de avaliação. Isso pode ser visualizado graficamente na Figura 36 e numericamente com o desvio padrão, pois o clone AEC 144 apresentou valores de 1,99 L/árvore dia e 2,57 L/árvore dia, nos tratamentos com potássio e sem potássio, respectivamente,

enquanto que o tratamento COP 1404 K+ apresentou o valor de 3,05 L/árvore dia e o COP 1404 K- 4,98 L/árvore dia.

Na Figura 39 tem-se a umidade do solo das parcelas onde os clones AEC 144 e COP 1404, com e sem adubação de potássio foram avaliados, nas diferentes estações do ano no período de junho de 2017 a dezembro de 2018.

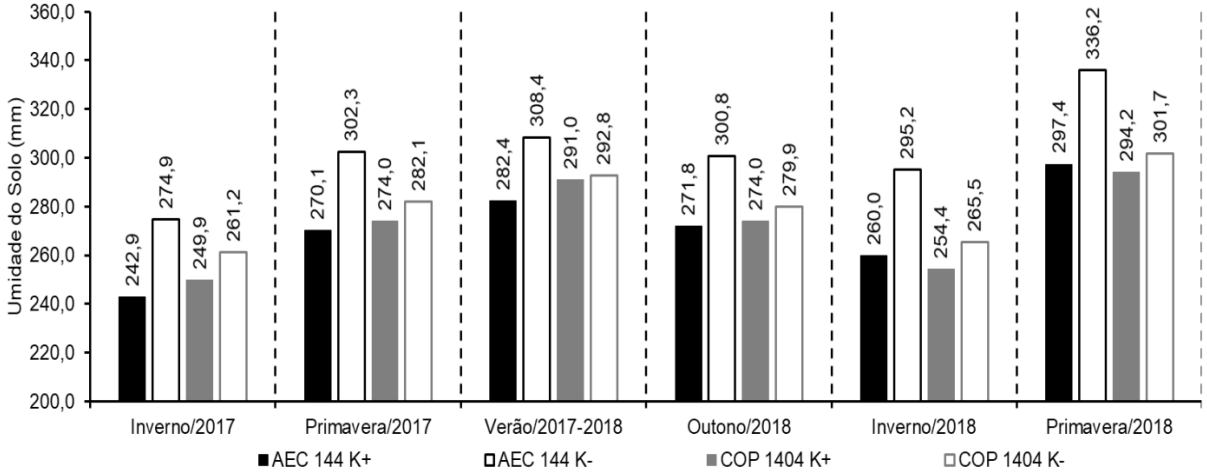


**Figura 39.** Umidade do solo média dos tratamentos avaliados nas diferentes estações do ano.

Ao se relacionar a umidade do solo (Figura 39) com a transpiração dos materiais genéticos nas diferentes estações do ano (Figura 36) podemos verificar diferentes comportamentos entre os materiais genéticos. Para o clone COP 1404 é possível observar o papel do potássio ($K^+$) na absorção de água e no controle estomático, pois em todas as estações avaliadas foi encontrado menor teor de água no solo do tratamento com adubação de potássio (COP 1404 K+) (Figura 39) e quando avaliamos a transpiração (Figura 36), com exceção da primavera/2017 e no verão/ 2017-2018, é observado menores valores dessa variável nas plantas para o mesmo tratamento. Assim, o tratamento COP 1404 K- absorve uma menor quantidade de água; pois demonstrou maior teor de água no solo das parcelas avaliadas (Figura 39), quando comparado as parcelas avaliadas do COP 1404 K+;com maior taxa de transpiração (Figura 36), indicando que uma menor quantidade de água foi destinada para a produção de biomassa de madeira, o que resultou na menor produção de biomassa de madeira (Figura 32).

Para o AEC 144 foi observado um comportamento contrário, apesar de que no tratamento sem potássio (AEC 144 K-) ter sido observado maiores teores de

água no solo (Figura 39), a exemplo do que ocorreu para o COP 1404 K-, as taxas de transpiração foram menores do que quando comparado ao tratamento com potássio (AEC 144 K+) (Figura 36). Isso indica que o tratamento AEC 144 K+ possui uma menor eficiência do uso da água (EUA), pois absorveu uma maior quantidade de água com uma maior taxa de transpiração, para uma mesma produção, pois ela foi estatisticamente igual à do AEC 144 K- (Figura 32). Importante ressaltar que a mesma relação ocorreu para o COP 1404 nas estações de primavera/2017 e verão/2017-2018, indicando que em períodos de maior disponibilidade hídrica a adubação com potássio favorece a abertura estomática.

Através dos dados de volume calculado de água transpirada e incremento de biomassa do tronco no período avaliado, de junho de 2017 a dezembro de 2018, foi possível estimar a eficiência no uso da água (EUA) para os clones AEC 144 e COP 1404, com e sem adubação potássica.

Podemos observar na Figura 40 que de forma geral as árvores do clone AEC 144 apresentaram maiores valores para a EUA. Considerando todo o período avaliado o AEC 144 K- demonstrou um valor de 2,40 g/L e o AEC 144 K+ de 1,60 g/L, enquanto que o COP 1404 K+ apresentou um valor de 1,20 g/L e o COP 1404 K-, sendo o menos eficiente, com um valor de 1,02 g/L.

Esses valores estão de acordo com o encontrado para a produção dos materiais, tanto em volume (Figura 13, Figura 14 e Figura 15) quanto em biomassa de madeira (Figura 32).

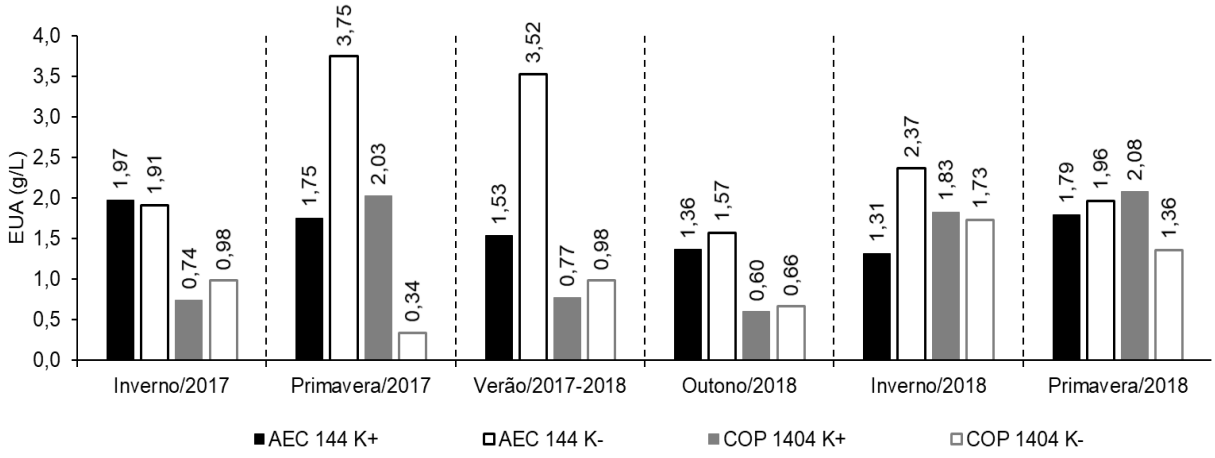


**Figura 40.** Eficiência do uso da água dos diferentes tratamentos nas estações do ano avaliadas.

Uma possível explicação para a maior EUA das plantas do tratamento AEC 144 K- pode ser observada na Figura 32, a qual demonstra que não existiram diferenças significativas entre os tratamentos AEC 144 K+ e AEC 144 K-, ou seja, o

material genético AEC 144 não apresentou respostas ao potássio para a produção de biomassa de madeira, assim a presença desse nutriente no solo para as plantas do tratamento AEC 144 K+, pode ter estimulado o aumento da abertura estomática ao longo do período avaliado, provocando a perda de água por transpiração e diminuição de sua eficiência, quando comparado as plantas do tratamento AEC 144 K-. É importante ressaltar que para atingir a mesma produção do AEC 144 K-, o tratamento AEC 144 K+ necessitou de uma maior quantidade de água, como pode-se observar na Figura 39, possivelmente devido ao aumento do potencial osmótico (mais negativo) das células guarda dos estômatos. Segundo Asensio et al. (2018), a fertilização com potássio aumenta a demanda de água e, portanto, pode representar um risco de falha hidráulica da planta sob limitação hídrica.

O clone COP 1404 apresentou correlação oposta nesse mesmo período, a presença do potássio diminuiu sua transpiração (Figura 36), já que a adubação potássica tende a auxiliar no controle estomático, sobretudo em períodos de estresse hídrico, como nos meses de inverno/2017 (156,3 mm) e outono/2018 (123,7 mm). Em relação ao tratamento COP 1404 K-, chamou a atenção o fato de suas plantas apresentarem maiores taxas de transpiração (Figura 36) ao mesmo tempo que demonstram ter maior umidade no solo (Figura 39), isso pode indicar que no geral, elas absorvem menor quantidade de água, quando comparado às plantas do tratamento COP1404 K+, e possui menor controle da abertura e do fechamento estomático, culminando em uma baixa produção, tanto em volume (Figura 13, Figura 14 e Figura 15) quanto em biomassa de madeira (Figura 32). Essa baixa EUA (Figura 40) apresentada pelas árvores do tratamento COP 1404 K- é evidenciado na primavera/2017, que foi a estação de maior disponibilidade hídrica no período avaliado (Figura 38).

Stape et al (2004), em um trabalho conduzido na Bahia (BA) com diferentes níveis de pluviosidade, obtiveram EUA de 1,59, 2,24 e 3,21 g/L, respectivamente para ambientes com alta (1.276 mm/ano), média (1.055 mm/ano) e baixa (886 mm/ano) precipitação, em povoamentos de *Eucalyptus grandis* x Eu*calyptus urophylla* de 3,4 a 5,4 anos de idade. Em estudo realizado por Hubbard et al. (2010) os autores encontraram valores para a EUA de 0,73 g/L e 0,47 g/L, e LE ROUX et al. (1996) ao avaliar a eficiência do uso da água em diferentes espécies de eucalipto, encontraram valores que variaram de 0,42 a 0,75 g/L.

### 4.2.5. Transpiração noturna

As estimativas de transpiração noturna, segundo Phillips et al. (2010), ocorrem quando a radiação fotossinteticamente ativa for menor que 1 µmol/m².s, que corresponde ao horário entre as 18 horas da tarde e as 7 horas da manhã.

De forma geral é possível observar na Figura 41 que o clone COP 1404 apresentou maiores taxas de transpiração noturna, sendo 18,4% (3,79 L/árvore dia) para o tratamento COP 1404 K+ e 24,9% (5,37 L/árvore dia) para o tratamento COP 1404 K-; já o clone AEC 144 apresentou valores de 14,1% (2,79 L/árvore dia) no tratamento AEC 144 K+ e 14,9% (1,59 L/árvore dia) para o tratamento AEC 144 K-.

Esse resultado, demonstra novamente, a menor eficiência no controle da abertura e fechamento estomático do clone COP 1404 quando comparado ao AEC 144, pois, além de apresentam maiores taxas de transpiração no período avaliado, grande parte ocorre durante a noite, e isso é refletido na menor produção em volume de madeira (Figura 13,Figura 14 e Figura 15) e biomassa de madeira (Figura 32), culminando em menores valores para a EUA (Figura 40).

Na Figura 41 temos os valores médios da transpiração a cada 30 minutos do período avaliado com o fluxo de seiva e sua relação com os fatores, temperatura (ºC), umidade relativa do ar (%), a velocidade do vento (m/s) e o DPV (kPa), que se correlacionam com ela.

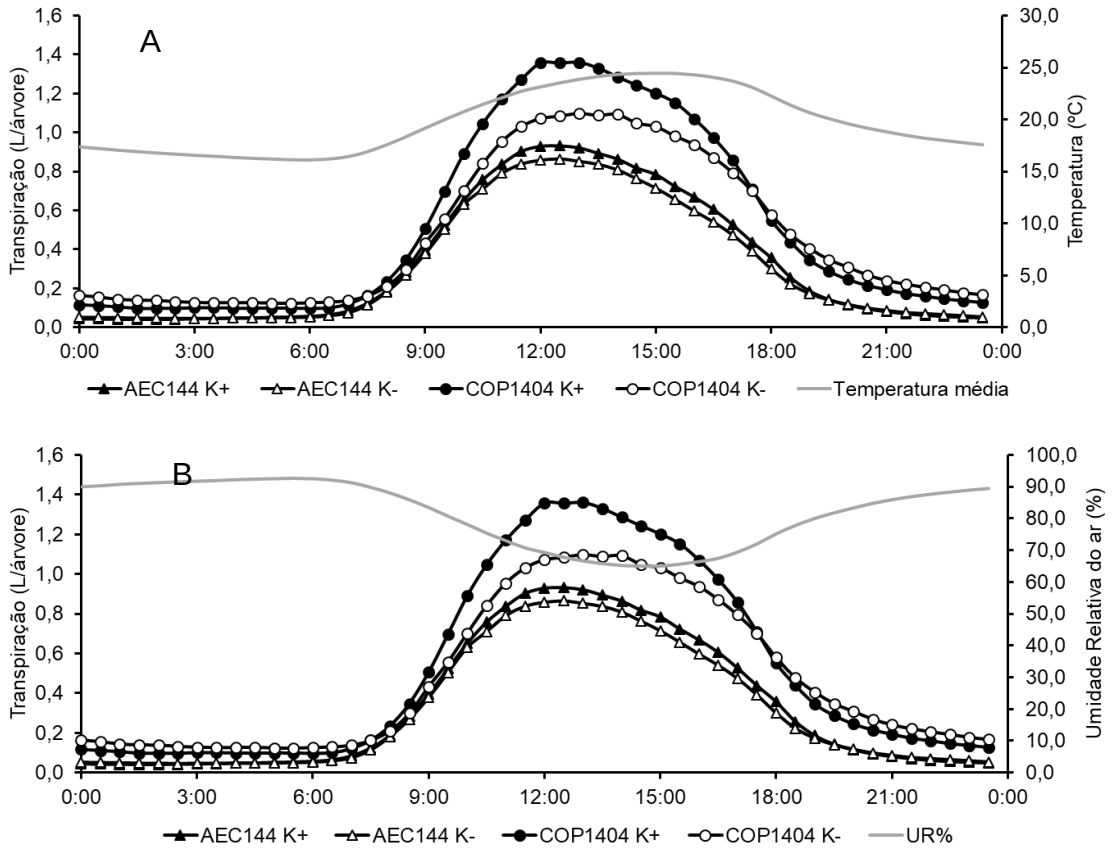


**Figura 41.** Transpiração (L/árvore) média a cada 30 minutos, representando um dia do período avaliado e sua correlação com: A - a temperatura (ºC), B - umidade relativa do ar (%), C - velocidade do vento (m/s) e D – o DPV (kPa) (Continua).

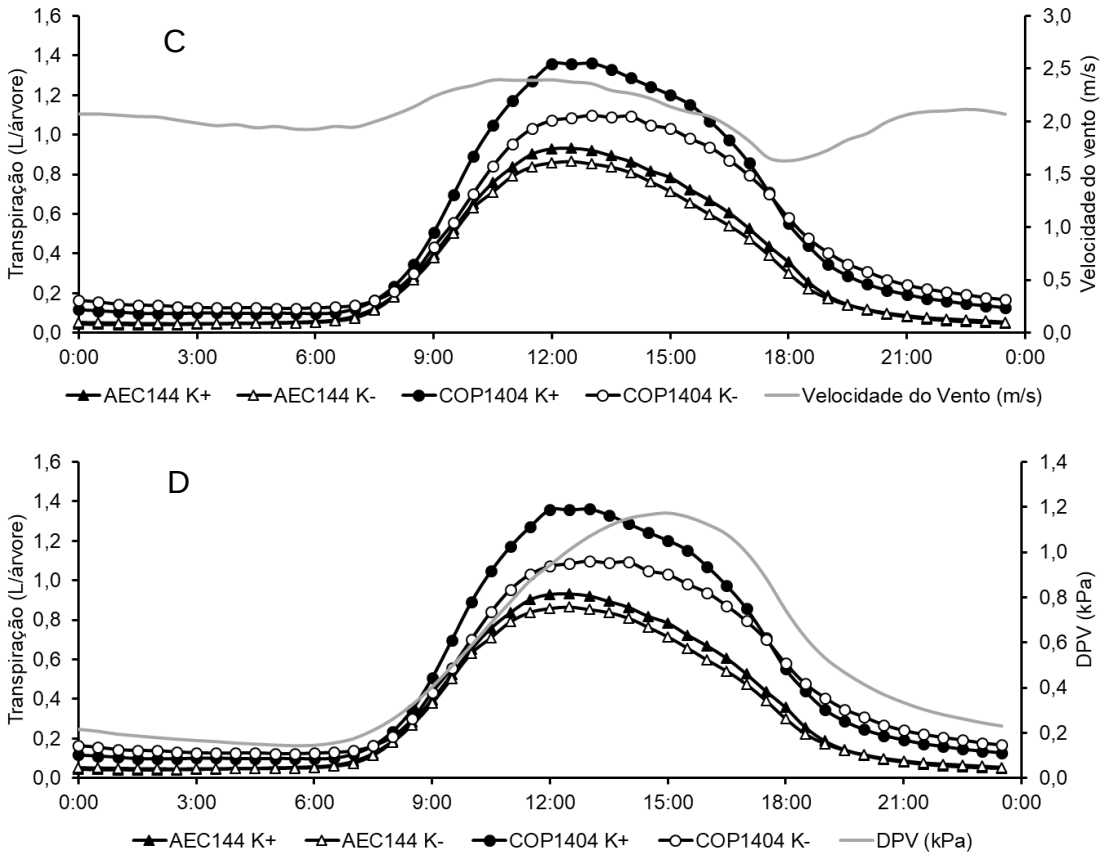


**Figura 41.** Transpiração (L/árvore) média a cada 30 minutos, representando um dia do período avaliado e sua correlação com: A - a temperatura (ºC), B - umidade relativa do ar (%), C - velocidade do vento (m/s) e D – o DPV (kPa) (Conclusão).

Na Figura 41 – A podemos observar que apesar da temperatura cair durante a noite, ela continua elevada ao se considerar o período de estudo, sobretudo entre as 18 horas e as 24 horas da noite, e apresentou alta correlação (Rŷy) com a transpiração (L/árvore), com valores variando de 0,89 a 0,96 (Tabela 14).

A umidade relativa do ar (%) (Figura 41 - B) demonstra, como esperado, uma relação inversa com a transpiração (Tabela 14), pois quanto mais seco está o ambiente menor será o potencial hídrico devido à elevação do potencial osmótico (mais negativo), aumentando as taxas de transpiração.

A velocidade do vento (m/s), contudo, apresentou um comportamento interessante, pois, como podemos observar na Figura 41 – C após as 18 horas ela aumenta novamente, e apesar de não ter apresentado uma correlação com a transpiração tão elevada quanto as outras variáveis (Tabela 14), variando de 0,49 a 0,60, possui um importante papel na transpiração pois atua como um mecanismo físico e tem a capacidade de romper a camada limite acima da folha e do dossel,

removendo o vapor de água recentemente transpirado e substituindo o ar imediatamente acima da folha pelo ar seco (Meinzer et al. 1995), potencializando assim as perdas de água, dessa forma, esse aumento na velocidade do vento após as 18 horas contribuiu para a elevação da transpiração.

O DPV (Figura 41 - D) é um regulador bem conhecido da transpiração devido ao gradiente de potencial hídrico e à capacidade do ar seco de extrair água de uma fonte de maior potencial hídrico (Monteith, 1965), e como pode-se observar na Tabela 14, apresentou elevados valores para Rŷy. Segundo Phillips et al. (2010) uma variável que guia a transpiração foi o produto entre o DPV e a velocidade do vento, pois sua correlação com a transpiração foi maior do que quando avaliaram os fatores individualmente, e como podemos observar na Tabela 14 esse mesmo comportamento foi observado no estudo corrente.

**Tabela 14.** Coeficiente de correlação (Rŷy) dos fatores que influenciam a taxa de transpiração com a transpiração média a cada 30 minutos para cada tratamento avaliado.

| | Temperatura (ºC) | UR% | DPV | Velocidade do Vento | DPV*Vento |
|---|---|---|---|---|---|
| AEC 144 K+ | 0,90 | -0,93 | 0,91 | 0,60 | 0,96 |
| AEC 144 K- | 0,89 | -0,92 | 0,90 | 0,62 | 0,95 |
| COP 1404 K+ | 0,93 | -0,95 | 0,94 | 0,56 | 0,98 |
| COP 1404 K- | 0,96 | -0,98 | 0,97 | 0,49 | 0,99 |

Segundo Dawson et al. (2007) a transpiração noturna é um fenômeno comum e tem potencial para explicar, as relações de troca de carbono entre plantas e ecossistema (Turnbull et al. 2004, Whitehead et al. 2004, Barbour et al.), as relações hídricas (Oren et al. 1999, Daley e Phillips 2006, Cuntz et al. 2007, Dawson et al. 2007, Oishi et al. 2008, Zeppel et al. 2008) e relações de nutrientes das plantas (Scholz et al. 2007).

Para Phillips et al. (2010) a transpiração noturna em eucalipto é relativamente pequena (6%), e uniforme entre as oito espécies avaliadas (*Eucalyptus argophloia* – 4,9%, *Eucalyptus camaldulensis* – 6,4%, *Eucalyptus dunnii* - 7,3%, *Eucalyptus globulus* – 5,0%, *Eucalyptus grandis* – 5,6%, *Eucalyptus occidentalis* – 7,0%, *Eucalyptus sideroxylon* – 7,2% e *Eucalyptus tereticornis* – 6,7%) crescendo no mesmo local, e esses resultados são semelhantes ao encontrado por Benyon (1999), de 5%. Ambos estudos encontraram que as perdas de água em

eucaliptos são sensíveis ao DPV e a velocidade do vento, segundo Benyon (1999) cerca de 54% da transpiração noturna pode ser associada ao DPV e 37% a velocidade do vento.

Rubilar et al. (2017) ao analisarem a transpiração noturna para *Eucalyptus globulus* (Eg) e *Eucalyptus nitens* x *Eucalyptus globulus* (Eng), encontraram o valor de 4% para o Eg e 9,7% para o Eng, já Forster (2014) obteve um valor de 10,27% para o *Eucalyptus* spp.

Em estudo para analisar a transpiração noturna de duas espécies arbóreas (*Pinus* ponderosa e *Quercus douglasii*) e duas espécies de arbustos (*Arctostaphylos manzanita* e *Ceanothus cordulatus*), Fisher et al. (2007) encontraram que a perda de água pela transpiração noturna é significativa apenas para as espécies arbóreas, sendo 18% para a *Quercus douglasii* e 21% para *Pinus ponderosa*. E ao testarem a influência do DPV, temperatura e velocidade do vento, encontraram que o VPD (Rŷy de 0,79 para a *Quercus douglasii e* 0,71 para *Pinus ponderosa*) e a temperatura (Rŷy de 0,70 para a *Quercus douglasii e* 0,66 para *Pinus ponderosa*) foram fortemente correlacionados com a transpiração noturna, e a velocidade do vento não foi significativamente correlata. Resultado semelhante ao encontrado por McNaughton e Jarvis (1991).

Esses resultados destacam a importância de incorporar a transpiração noturna par quantificar e compreender o uso da água em plantios de eucalipto.

# 5. CONCLUSÃO

A resposta a adubação potássica entre diferentes materiais genéticos não pode ser generalizada, pois como foi observado, não foram todos os materiais que apresentaram respostas a adubação potássica para a produção madeireira. O potássio possivelmente pode ter estimulado o aumento da abertura estomática do clone AEC 144, provocando a perda de água por transpiração e diminuição da eficiência do uso da agua.

As variáveis fisiológicas: porcentagem de copa, índice de área foliar e deposição de folhedo, não responderam a adubação potássica e sim as características genéticas de cada material genético, sendo suas respostas associadas as variações climáticas de cada período avaliado.

A alteração do regime hídrico ao longo do ano interfere na eficiência do uso da água (EUA) pelos materiais genéticos, pois é altamente correlacionada com a disponibilidade de água no solo, que varia com o regime hídrico, e com as estratégias de cada material genético ao longo das diferentes estações do ano.

A transpiração noturna influencia negativamente o crescimento das plantas, podendo ser a resposta a diferentes fatores ambientais. Seu controle é uma vantagem adaptativa entre materiais genéticos distintos.

# 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha do material genético para determinado sítio sobre condições climáticas e ambientais específicas pode resultar na sustentabilidade da produção florestal. Essa interpretação torna-se relevante em um cenário futuro de escassez dos recursos naturais, por isso, a retirada dos produtos florestais, como os povoamentos de eucaliptos, precisa estar baseada em um manejo eficiente que relacione a alta produtividade, com a proteção dos recursos ambientais.

É interessante extrapolar as experiências deste estudo para regiões com diferentes características morfoclimáticas, a fim de verificar e comparar o comportamento dos materiais genéticos em sítios distintos.

# REFERÊNCIAS


ABAYOMI, Y.A.; ADEDOYIN, G.A. Effect of planting date and fertilizer application growth and yield of controlling maize (Zea mays L.) Genotypes II : Morpho-physiological growth characters and their contribution to grain yield. **Nigeria Journal Pure and Applied Science**, v.19, p.1641-1652. 2004.

AHL, Douglas E. et al. Monitoring spring canopy phenology of a deciduous broadleaf forest using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, n. 1, p. 88-95, 2006.

ALMEIDA, A. **Application of a process-based model for predicting and explaining growth in *Eucalyptus* plantations**. 2003. 232p.Thesis (Doctor of Philosophy) – The Australian National University, Canberra, 2003.

ALMEIDA, A. C.; SANDS, P. J.; BRUCE, J.; SIGGINS, A. W.; LERICHE, A.; BATTAGLIA, M.; BATISTA, T. R. **Use of a spatial process-based model to quantify forest plantation productivity and water use efficiency under climate change scenarios**. In: Presentation 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia. 2009. p. 13-17.

ALMEIDA, A. C.; SIGGINS, A.; BATISTA, T. R.; FONSECA, S.; LOOS, R. Mapping the effect of spatial and temporal variation in climate and soils on *Eucalyptus* plantation production with 3-PG, a process-based growth model. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1730–1740. 2010.

ALMEIDA, A.C.; LANDSBERG, J.J.; SANDS, P.J. Parameterisation of 3-PG model for fastgrowing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amstredam, v. 193, n. 1, p. 179-195, 2004.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, p. 159-170, 2003.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V.; LANDSBER, J.J.; REZENDE, G.D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p,10-21, 2007.

AMARAL, A.; SALAS-GONZÁLEZ, R.; PÁSCOA, F.; TOMÉ, M.; TOMÉ, J.; SOARES, P. Aplicação do modelo de crescimento florestal 3PG a povoamentos de Eucalipto na região centro de Portugal. **Anais...** Congresso Florestal Nacional, 5º, Viseu, 2005.

ANDRADE, G. D. C.; de OLIVEIRA, E. B.; BELLOTE, A.; CHIODELLI, A.; BECK, N. Desempenho de clones de Eucalyptus no oeste do Estado do Paraná. In: Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas. **Anais**: resumos expandidos. Curitiba: Malinovski, 2014.

ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba. Agropecuária. 2002, 478 ISBN 8585347716.

**ARCELOR MITTAL BIOENERGIA LTDA**. Produção de madeira em região de déficit hídrico. 2009. Disponível em: http://www.ipef.br/eventos/2009/melhoramento5/02-ArcelorMittal_BioEnergia.pdf. Acesso em: 26/03/2018.

ASENSIO, V.; DOMEC, J.-C.; LACLAU, J.-P.; BOUILLET, J.-P.; NOUVELLON, Y.; JORDAN-MEILLE, L.; LAVRES, J.; DELGADO ROJAS, J.S.; ABREU-JUNIOR, C.A. Potassium fertilization mitigates the negative effect of reduced water availability on hydraulic lift and growth in Eucalytpus grandis plantations. **Eucalyptus 2018, Managing Eucalyptus plantations under global changes**, 2018.

ASHRAF, M.H.P.J.C.; HARRIS, P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.

**ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS** – Florestar. Disponível em: <http://www.floresta.org.br/index.php?interna=textos/eucalipto&grupo=4>. Acesso em: 10 jul. 2014.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 335-344, abr.-jun., 2010

BARBOUR, M. M.; CERNUSAK, L. A.; WHITEHEAD, D.; GRIFFIN, K. L.; TURNBULL, M. H.; TISSUE, D. T.; FARQUHAR, G. D. Nocturnal stomatal conductance and implications for modelling δ18O of leaf-respired CO2 in temperate tree species. **Functional Plant Biology**, v. 32, p. 1107–1121, 2005.

BARLOW, J.; GARDNER, T.A.; FERREIRA, L.V.; PERES, C.A. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 247, n. 1, p. 91-97, 2007. http:// dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.017.

BARROS, N.F.; BRAGA, J.M.; BRANDI, R.M.; DEFELIPO, B.V. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, v.5, n.1, p.90-103, 1981.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; LEAL, P.G.L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forestry Journal**, v.160, p.7-12, 1992.

BARTHÉLÉMY, D.; CARAGLIO, Y. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny**. Annals of botany**, v. 99, n. 3, p. 375-407, 2007.

BATTAGLIA, M.; SANDS, P. J. Process-based forest productivity models and their application in forest management. **Forest Ecology and Management**, v. 102, n. 1, p. 13–32, mar. 1998.

BATTIE-LACLAU P.; LACLAU, J. P.; PICCOLO, M. C. P. Influence of potassium and sodium nutrition on leaf area components in *Eucalyptus grandis* trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 371, n. 1, p.19–35, 2013.

BEHLING, A. **A produção de biomassa e o acúmulo de carbono em povoamentos de acácia negra em função de variáveis bioclimáticas**. 2014. 161 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BELLOTE, A.F.J**. Nahrelement versorgung und werches - leistung von gedungten *Eucalyptus grandis*- plantagen in Cerrado von São Paulo (Brasilien)**. Freiburg, 1990. 159p. Tese (Doutorado) - Albert Ludwigo-Universitat.

BENYON, R. G. Night time water use in an irrigated *Eucalyptus grandis* plantation. **Tree Physiology**, v. 19, p. 853–859, 1999.

BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 61-72, mar. 2003.

BONATO, C. M.; RUBIN FILHO, C. J.; MELGES, E.; SANTOS, V. Nutrição mineral de plantas. Maringá: Universidade Estadual do Maringá, 137p. 1998.

BOOTH, T.H. Eucalypt plantations and climate change. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 28-34, 2013.

BORGES, J. S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 77f. Dissertação (Mestrado Solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009.

BORGES, J.S.; NEVES, J.C.L.; LOURENÇO, H.M.; DE BARROS, N.F.; DIAS, S.C.M. Parameterization of the 3-PG model for Eucalypt in the region of cerrado in Minas Gerais state. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.3, p.567-578, 2012.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of tranformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B**, New Jersey, v. 26, n. 2, p. 211–252, 1964.

BRADFORD, Kent J.; HSIAO, Theodore C. Stomatal behavior and water relations of waterlogged tomato plants. **Plant Physiology**, v. 70, n. 5, p. 1508-1513, 1982.

BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P.L.F.; LUDEMIR, T.B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 260 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Cima**. Brasília: 2010. 520 p.

BRAUMAN, K.A.; DAILY, G.C; DUARTE, T.K.; MOONEY, H.A. The nature and value of ecosystem servicers: an overview highlighting hydrolocal services. **Annual Review of Environmental and Resources**, v. 32, p. 7-98, 2007.

BRAUN, P; SCHMID, J. Sap fow measurements in grapevines—scope and limits of heat balance and granier-type sensors**. ActaHortic,** v. 493, p. 169–176, 1999.

BRAY, R.J.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. Advances in **Ecological Research**, London, v. 2, p. 101-57, 1964.

BROWN, A. E.; ZHANG, L.; MCMAHON, T. A.; WESTERN, A. W.; VERTESSY, R. A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of hydrology**, v. 310, p. 28-61. 2005.

BRUIJNZEEL, L.A. **Hydrology of Moist Tropical Forest and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review**. UNESCO: Paris, 1990, 226 p.

BULLINARIA, J.A. **Introduction to neural computation: notas de aula**. Disponível em: <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html>. Acesso em: 20 out. 2016.

BUSH, E. S.; HULTINE, K. R.; SPERRY, J. S.; EHLERINGER, J. R. Calibration of thermal dissipation sap fow probes for ringand difuse-porous trees. **Tree Physiology,** v. 30, p. 1545–1554, 2010.

CABIBEL, B.; DO, F. Measures thermiques des flux de sèves dans les troncs et les raciness et fonctionment hydrique des arbres. I. Analyses théoriques des erreurs sur la mesure des flux et validation des measures en presence de gradients thermiques extérieurs. **Agronomie**, v. 11, p. 669-678, 1991.

CALDER, I. R. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions. **Land Use and Water Resources Research**, v. 2, n. 2, p. 1-12. 2002.

CÃMARA, C.D.; LIMA, W.P. Corte raso de uma plantação de *Eucalytpus saligna* de 50 anos: impactos sobre o balanço hídrico e a qualidade da água em uma microbacia experimental. **Scientia Florestalis**, n. 56, p. 41-58, 1999.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548 p.

CARMO PINTO, S. I. D.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA NEVES, J. C.; FAQUIN, V.; SILVA MORETTI, B. D. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, 2011.

CASSIANO, C. C. **Efeitos hidrológicos da composição da paisagem em microbacias com florestas plantadas de *Eucalyptus***. 101 p. Tese (Doutorado em Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP, 2017.

CASTRO, V. R.; SURDI, P. G.; FILHO, M. T.; CHAIX, G.; LACLAU, J.-P. Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação do potássio e sódio no crescimento e diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 89-99, mar. 2017.

**CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS**. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=eucalipto>. Acesso em: 23 ago.2017.

CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 522 p. 1949.

CHATURVEDI, A. N.; SHARMA, S. C.; SRIVASTAVA, R. J. Water consumption and biomass production of some forest trees. **The Commonwealth Forestry Association Review**, v. 63, p. 217-223, 1984.

CHAVES, M. M. Effects of water déficits on carbono assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.42, p.1-6, 1991.

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

CHAVES, M.M., MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant**. Functional Plant Biology**, Clayton South, v. 30, p. 239-599, 2003.

CHRISTINA, M.; LACLAU, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J.-P. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v. 2, n. 3, p. 1-10, 2011.

CHRISTINA. M.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J.-P.; SRAPTE, J. L.; BOUILLET, J.-P.; LAMBAIS, G. R.; MAIRE, G. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, 11p. 2016.

CLEARWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; ANDRADE, J.L.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M. Potential errors in measurement of nonuniform sap fow using heat dissipation probes. **Tree Physiology,** v. 19, p. 681–687, 1999.

COWAN, I. R.; FARQUHAR, G. D. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment. In: **Symposia of the Society for Experimental Biology**. 1977. p. 471.

CRUZ, J.P.; LEITE, H.G.; SOARES, C.P.B.; CAMPOS, J.C.C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G.S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 679-685, 2008.

CUI, X.; LIU, S.; WEI. X. Impacts of forest changes on hydrology: a case study of large watersheds in the upper reaches of Minjiang River watershed in China. **Hydrology and Eath System Sciences**, v.16, p. 4279-4290, 2012.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 353-363, 2005.

CUNTZ, M.; OGEE, J.; FARQUHAR, G. D.; PEYLIN, P.; CERNUSAK, L. A. Modelling advection and diffusion of water isotopologues in leaves. **Plant Cell Environ**, v. 30, p. 892–909, 2007.

DA SILVA PAULINO, Patrícia; DE LIMA, Israel Luiz. Densidade básica e dimensões celulares da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla*, aos oito anos de idade. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 9, n. 1, 2018.

DALEY, M.; PHILLIPS, N. Interspecific variation in night time transpiration and stomatal conductance in a mixed New England deciduous forest. **Tree Physiology**, v. 26, p. 411–419, 2006.

DAVID, J.S.; VALENTE, F.; GASH, J.H. Evaporation of intercepted raifall. In: ANDERSON, M.G. (Ed**.) Encyclopedia of Hydrological Sciences**. Chichester. Wiley, p. 627-634, 2005.

DAWSON, T. E.; BURGESS, S. S. O.; TU, K. P.; OLIVEIRA, R. S.; SANTIAGO, L. S.; FISHER, J. B.; SIMONIN, K.A.; AMBROSE, A. R. Night time transpiration in woody plants from contrasting ecosystems. **Tree Physiology**, v. 27, p. 561–575, 2007.

DE GROOT, R. S.; VAN DER MEER, P. J. Quantifyng and valuing goods and services provided by plantation forests. In: BAUHUS, J. VAN DER MEER, P.; KANNINEN, M. (**Eds**) Ecosystem Goods and Services from Plantatation Forests. Earthscan: London, p. 16-38, 2010.

DE LEMOS, C.C.Z. **Aprimoramento, teste e uso do modelo 3-PG em plantios clonais de Eucalyptus no nordeste do estado de São Paulo**. 172 f. Tese (Doutorado em Silvicultura e Manejo Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 2012.

DE PAULA LIMA, W.; FERRAZ, S. F. B.; RODRIGUES, C. B.; VOIGTLAENDER, M. Assessing the hydrological effects of forest plantations in Brazil. **River conservation and management**, p. 59-68. 2012.

DELGADO ROJAS, J. S. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação**. 110f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

DELGADO ROJAS, J. S.; RANGER, J.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y. **Influencia da adubação em plantações de Eucalyptus grandis sobre o consumo de água estimado por fluxo de seiva**. Paris: INRA, 30p. 1990.

DELGADO ROJAS, J.S.; FOLEGATTI, M.V.; ANGELOCCI, L.R. Calibração do método de sonda de dissipação térmica na determinação do fluxo de seiva em cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2006. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2006

DEMOLINARI, R. A**. Crescimento de Povoamentos de Eucalipto Não-Desbastados**. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

DEMOLINARI, R.A.; SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; SOUZA, A.L. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 503-512, 2007.

DI CASTRI, F. **Mediterranean-type shrublands of the world. Ecosystems of the World**, v. 11, p. 1-43, 1981.

DO, F.C.; ROCHETEAU, A.; DIAGNE, A. L.; GOUDIABY, V.; GRANIER, A.; LHOMME, J. P. Stable annual pattern of water use by Acacia tortilis in Sahelian Africa. **Tree Physiology**, v. 28, p. 95–104, 2008.

DOS SANTOS, J.A.; LIMA, V.O.B.; DE OLIVEIRA, J.C.; MATOS, P.S.; TRAZZI, P.A. Avaliação do crescimento de clones de eucalipto no norte de Minas Gerais. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 14 n. 26; p. 75, 2017

DOSSA, D.; SILVA, H.D. da; BELLORE, A.F.J.; RODIGHERI, H.R. **Produção e Rentabilidade do eucalipto em empresas florestais**. Concórdia: Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, 83. 4p, 2002.

DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de Ocotea odorifera em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

EDWARDS, P.J.; WILLIARD, K.W.J.; SCHOONOVER, J.E. Fundamentals of watershed hydrologiy, **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v.154, p. 3-20, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 306 p., 2006.

ESPREY, L. J.; SANDS, P. J.; SMITH, C. W. Understanding 3-PG using a sensitivity analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1, p. 235-250, 2004.

EVANGELISTA, R.C. **Impacto das mudanças climáticas na produtividade de eucalipto em duas regiões do Brasil**. 2006. 48p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

EWERS, B. E.; OREN, R. Analyses of assumptions and errors in the calculation of stomatal conductance from sap flux measurements. **Tree Physiology**, v. 20, p. 579–589, 2000.

FAO. **Global forest resources assessment 2015: how are the world's forests changing?** 2nd ed. Rome, 2015. 46 p.

FERNÁNDEZ, C.J.; MCINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water - and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v.36, n. 5, p.1224-1233, 1996.

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 58-66, 2013.

FERREIRA, R.L.C.; LIRA, M.A. Jr; ROCHA, M.S.; SANTOS, M.V.F.; ANDRADE M.; BARRETO, L.P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* benth.). **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2007. http://dx.doi.org/10.1590/ S0100-67622007000100002.

FINKE HERRERA, M.E. **Densidade básica e equações de peso de madeira seca de povoamentos de eucaliptos de acordo com a idade, espécie e método de regeneração** Viçosa, MG: UFV. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

FISCHER, R.A. Stomatal opening: role of potassium uptake by guard cells. **Science**, Washington, v. 160, p. 784-785, 2004.

FISHER, J. B.; BALDOCCHI, D. D.; MISSON, L.; DAWSON, T. E.; GOLDSTEIN, A.H.. What the towers don't see at night: nocturnal sap flow in trees and shrubs at two Ameriflux sites in California. **Tree Physiology**, v. 27, p. 597–610, 2007.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H, K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.

FORSTER, M. A. How significant is nocturnal sap flow? **Tree Physiology**, v. 34, p. 757–765, 2014.

FRANÇA, M.G.C.; THI, A.T.P.; PIMENTEL, C.; ROSSIELLO, R.O.P.; ZUILY-FODIL, Y.; LAFFRAY, D. Differences in growthand water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivarsin response to induced drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Menphis, v. 43, n. 3, p. 227 237, 2000.

FROMM, J. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. **Tree Physiology**, Victoria, v. 3, n. 9, p. 1140–1147, 2010.

GALSTON, A.W.; DAVIES, P.S. M**ecanismos de controle do desenvolvimento vegetal.** São Paulo, EDUSP, 171p., 1972.

GAN, S.; AMASINO, R. M. Making sense of senescence (molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence). **Plant physiology**, v. 113, n. 2, p. 313, 1997.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 84-94, 1997.

GENTIL, M.S. **Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de Eucalyptus aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura e Manejo Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.

GHARUN, M.; TURNBULL, T. L.; ADAMS, M. A. Validation of canopy transpiration in a mixed-species foothill eucalypt forest using a soil-plant-atmosphere model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 492, p. 219-227, 2013.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N. **Viveiros Florestais: Reprodução Assexuada**. Editora UFV, Viçosa-MG, v.3, 116 p., 2004.

GOMES, L. M. L. **Características morfofisiológicas associadas à restrição hídrica em clones de eucalipto**. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - UFV / Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 37p. 2013.

GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de Plantações de Eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; PULITO, A. P.; ARTHUR JUMIOR, J. C.; SILVA, L. D. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 2., 2011, Piracicaba. **Anais…** Pracicaba: IPEF, p. 85-114, 2011.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidaed e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal.** Piracicaba: IPEF; FAPESP, v. 1, cap. 1, p. 1 – 57, 2000.

GONÇALVES, J. L. M; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, p.13-64, 2004.

GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C.A.; GONÇALVES, T.D.; MOREIRA, R.M.; MENDES, J.C.T.; GAVA, J.L. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 187-201, jun. 2012.

GOUVÊA, C.F.; MORI, E.S.; BRASIL, M.A.M.; VALE, C.F.; BONINE, C.A.V. Seleção fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTO, 1., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: EMBRAPA, CNPFlorestas, 1997. v. 1. p. 335-360.

GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglasfir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiology**. Oxford. v.3, p.309-320, 1987.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesuere du flux de sève brute dans le tronc des arbres. Annales des Sciences Dorestiàres, **Versailles**, v.42, n.2, p.193-200, 1985.

GRANIER, A.; HUC, R.; BARIGAH, S.T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam. v.78, p.19-29, 1996.

GRANIER, A.; SIEGWOLF, R.; KOSTNER, B. Estimates of water vapor flux and canopy conductance of scots Pine at the tree lecel utilizing different xylem sap flow methods. **Theoreticaland Applied Climatology**, Wien, v.53, p.105-113, 1996b.

GUIMARÃE NETO, R. M. **Potencialidade de uso bioenergético da madeira e da casca de *Eucalyptus* spp. Plantados em espaçamento adensado**. Tese (Doutorado) – UFLA / Universidade Federal de Lavras, Lavras – Mg, 110p. 2016.

GUTIÉRREZ, M. V.; SANTIAGO, L. S. A comparison of sap flow measurements and potometry in two tropical lowland tree species with contrasting wood properties. **Revista de Biologia Tropical**, v. 54, p. 73–81, 2006.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R. Mudanças Climáticas Globais e o Melhoramento Genético Florestal. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 1.,2011, Curitiba. **Anais**... Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 115-119.

HOEBER S.; LEUSCHNER C.; KÖHLER L.; ARIAS-AGUILAR D.; SCHULDT, B. The importance of hydraulic conductivity and wood density to growth performance in eight tree species from a tropical semidry climate**. Forest Ecolology and Management**, v. 330, p. 126–136, 2014.

HUBBARD, R. M.; STAPE, J.; RYAN, M. G.; ALMEIDA, A. C.; ROJAS, J. Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing Eucalyptus plantations**. Forest Ecolology and Management**, v. 259, p. 1714–1721, 2010.

HUBER, D.M.; ARNY, D.C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R.D. (ed.). **Potassium in Agriculture**. Madison: ASA, CSSA and SSA, p.467-488, 1985.

HULTINE, K. R.; BUSH, S. E.; EHLERINGER, J. R. Ecophysiology of riparian cottonwood and willow before, during, and after two years of soil water removal. **Ecological Applications**, v. 20, p. 347–361, 2010.

HULTINE, K.R.; NAGLER, P.L.; MORINO, K.; BUSH, S.E.; BURTCH, P.E.; DENNISON, P.E.; GLENN, E.P.; EHLERINGER, J.R. Sap flux-scaled transpiration by tamarisk (*Tamarix* spp.) before, during and after episodic defoliation by the saltcedar leaf beetle (*Diorhabda carinulata*). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 11, p. 1467-1475, 2010.

HUNTER, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus grandis and Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 144, p. 189-199, 2001.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS**. 2017. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/. Acesso em: 19 nov. 2018

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2014, referente ao ano base 2013**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2016, referente ao ano base 2015**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2016_pt.pdf>. Acesso em: agosto 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017, referente ao ano base 2016**. Disponível em: < https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf >. Acesso em: outubro de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGES - IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Disponível em: <http://http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acesso em 24 Set. 2016.

ISHII, Hiroaki; ASANO, Shoko. The role of crown architecture, leaf phenology and photosynthetic activity in promoting complementary use of light among coexisting species in temperate forests. **Ecological Research**, v. 25, n. 4, p. 715-722, 2010.

JACKSON, R. B.; JOBBAGY, E. G.; AVISSAR, R.; ROY, S. B.; BARRETT, D. J.; COOR, C. W.; FARLEY, K. A.; LE MAITRE, D. C.; MCCARL, B. A.; MURRAY, B. C. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. **Science**, v. 310, n. 5756, p. 1944-1947, 2005.

JAMES, S. A.; CLEARWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G. Heat dissipation sensors of variable length for the measurement of sap flow in trees with deep sapwood. **Tree Physiol**, v. 22, p. 277–283, 2002.

JÚNIOR, J. L. F. C.; SILVA, P. H. M.; DO COUTO, H. T. Z. Deposição de folhedo e fluxo de nutrientes em eucalipto geneticamente modificado. **Pesquisa Florestal Brasileira,** v. 37, n. 89, p. 89-92, 2017.

KELLOMAKI, S.; OKER-BLOM, P.; KUULUVAINEN, T. The effect of crown and canopy strucure on light interception and distribution in a tree stand. **In Crop Physiology of Forest Trees**. Eds. P.M.A. Tigerstedt, P. Puttonen and V. Koski. Univ. Helsinki, Dept. of Plant Breeding, Helsinki, p. 107–115, 1985.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.

KORZUKHIN, M. D., TERMIKAELIAN, M. T., WAGNER, R.G. Process versus empirical models: which approach for forest ecosystem management? **Canadian Journal of Forest Research**, v. 26, p. 879–887. 1996.

KÖSTNER, B.; GRANIER, A.; CERMÁK, J. Sapflow measurements in forest stands: methods and uncertainties. In: **Annales des sciences forestières**. EDP Sciences, 1998. p. 13-27.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 745 p, 1972.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J. P. Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo: 3. Inputoutput budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 210, n. 1/3, p. 375-391, 2005.

LACLAU, J.-P.; DA SILVA, E. A.; LAMBAIS, G. R.; BERNOUX, M.; LE MAIRE, G.; BOUILLET, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 243, 2013.

LACLAU, P.R.F.B. **Efeitos da adubação potássica sobre a adaptação à seca do *Eucalyptus grandis*.** 137 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

LANDSBERG, J. J. Modelling forest ecosystems: state-of-the-art, challenges and future directions. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, p. 385–397. 2003.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H.; COOPS, N. C. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. **Forest Ecology and Management**, v. 172, n. 2, p. 199-214, 2003.

LANDSBERG, J.; SANDS, P. **Physiological ecology of forest production: principles process and models**. 4th ed. San Diego: Academic Press, 352 p., 2012.

LANDSBERG, J.J.; GOWER, S.T. **Aplications of physiological ecology to forest management**. San Diego: Academic Press, 354p. 1997.

LANDSBERG, J.J.; SANDS, P. **Physiological ecology of forest production: principles, processes and models**. Elsevier. Amsterdam, 331p. 2011.

LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified conceps of radiation-use efficiency, carbon balance and partioning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.95, p.209-228, 1997.

LANG, A.R.G.; McMURTRIE, R.E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam**. Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 58, p. 79-92, 1992.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 4. ed. São Carlos: RiMa, 531 p., 2006.

LARCHER, W.; DE ASSIS PRADO, C.H.B. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e textos, 531p., 2000.

LE ROUX, D.; STOCK, W.D.; BOND, W.J.; MAPHANGA, D. Dry mass allocation, water use efficiency and δ13C in clones of *Eucalyptus grandis*, *E. grandis*× *camaldulensis* and *E. grandis*× *nitens* grown under two irrigation regimes. **Tree Physiology**, v. 16, n. 5, p. 497-502. 1996.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits**. Crop Science**, Madison, v.36, n. 2, p.331-335, 1996.

LEIGH, R.A.; WYN JONES, R.G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. **New Phytologist**, London, v. 97, p. 1-13, 1984.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Abingdon, v. 33, n. 7/8, p. 1105-1118, 2002.

LELE, S. Watershed services of tropical forests: from hydrology to economic valuation to integrated analysis. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 1(2), 148-155. 2009.

LEVITT, J. **Response of plants to environmental stress. II.** Water radiation, salt and other stress. New York: Academic Press, 606p. 1980.

LIETH, H.; SCHULTZ, G. Contributions from biometeorological workshops focusing on seasonality. **Journal of Biogeography**, v. 3, p. 229, 1976.

LIM, P.O.; HYO, J.K.; NAM, H.G. Leaf senescence. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 115-136, 2006.

LISAR, S.Y.S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M.M.; HASEGAWA, H. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I.M.M.; HASEGAWA, H. (Ed.). **Water stress**. Croácia: InTech, p. 1-14. 2012.

LIU, H. J.; COHEN, S.; TANNY, J.; LEMCOFF, J. H.; HUANG, G. H. Transpiration estimation of banana (Musa sp.) plants with the thermal dissipation method. **Plant Soil,** v. 308, p. 227–238, 2008.

LLOYD, J.; GRACE, J.; MIRANDA, A.C.; MEIR, P.; WONG, S.C.; MIRANDA, H.S.; WRIGHT, I.R.; GASH, J.H.C.; McINTYRE, J. A simple calibrated model of Amazon rainforest productivity based of leaf biochemical properties. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v. 18, n. 10, p. 1129-1145, 1995.

LONG, S.P. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO2 concentrations: has its importance been underestimated? **Plant, Cell and Environment**, Malden, v. 14, n. 8, p. 729-739, 1991.

LU, P.; URBAN, L.; ZHAO, P. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap fow in trees: theory and practice. **Acta Botanica Sinica**, v. 46, p. 631–646, 2004.

LUNDBLAD, M.; LAGERGREN, F.; LINDROTH, A. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sapflow measurements in pine and spruce. **Annals of Forest Science**, v. 58, p. 625–638, 2001.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MALAVOLTA, E**. Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 638p. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319p, 1997.

MARENCO, R.A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, Editora UFV, Viçosa-MG, 451 p., 2005.

MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no Século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI, derivados dos modelos globais de clima do IPCC**. São Paulo: CPTEC; INPE, 185 p., 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 889 p., 1995.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica,** v. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MATTOS, E. M. de. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero Eucalyptus**. Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba - SP, 126p. 2015.

McCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studyng physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, n. 2, p.353-360, 1989.

MCCULLOH, K. A.; WINTER, K.; MEINZER, F. C.; GARCIA, M.; ARANDA, J.; LACHENBRUCH, B. A comparison of daily water use estimates derived from constant-heat sap-flow probe values and gravimetric measurements in pot-grown saplings. **Tree Physiology**, v. 27, p. 1355–1360, 2007.

McNAUGHTON, K. G; JARVIS, P. G. Effects of spatial scale on stomatal control of transpiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 54, p. 279–302, 1991.

**MEA – MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT**. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington: Insland Press, 245 p., 2003.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. 2002, 120P. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; JACKSON, P.; HOLBROOK, N. M.; GUTIERREZ, M. V.; CAVELIER, J. Environmental and physiological regulation of transpiration in tropical forest gap species: the influence of boundary-layer and hydraulic-properties. **Oecologia,** v. 101, p. 514–522, 1995.

MENDES, H. S. J. **Comportamento de clones de eucalipto em resposta a disponibilidade hídrica e adubação potássica**. 55p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011.

MENGEL, K.; ARNEKE, W.W. Effect of potassium on the water potential, the osmotic potential, and cell elongation in leaves of *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 54, p. 402-408, 1982.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 3rded. Bern: International Potash Institute, 655 p, 1982.

MIEHLE, P.; BATTAGLIA, M.; SANDS, P. J.; FORRESTER, D. I.; FEIKEMA, P. M.; LIVESLEY, S. J.; MORRIS, J. D.; ARNDR, S. K. A comparasion of four processbased models and a statistical regression model to predict growth of *Eucalytpus globulus* plantations. **Ecological Modelling**, v. 220, n. 5, p. 734–746, 2009.

MIELKE, M. S.; OLIVA, M. A.; BARROS, N. F.; PENCHEL, R. M.; MARTINEZ, C. A.; ALMEIDA, A. C. Stomatal control of transpiration in the canopy of clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Tree**, Berlin, v.13, n.1, p. 152-166, 1999.

MILANI, J.E.F. **Comportamento fenológico de espécies arbóreas em um fragmento de floresta ombrófila mista aluvial – Araucária, PR**. 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Registro Nacional de cultivares**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php >. Acesso em 20 jun. 2017.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Acordo de Paris.** Disponível em: < http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 24 ago. 2017.

MOCHIUTTI, S; QUEIROZ, J.A.L.; MELÉM, N.J. Jr. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes de um povoamento de Taxi-branco e de uma floresta secundária no Amapá. **Boletim de Pesquisa Florestal,** 2006; 52: 3-20.

MOMENTEL, L. T. **Crescimento e eficiência no uso da água por clones de eucalipto sob doses de potássio.** 222p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

MONSERUD, R. A. Evaluating forest models in a sustainable forest management context. **Forest Biometry Modelling and Information Sciences**, v. 1, p. 35–47. 2003.

MONTEITH, J. L. Evaporation and the environment. **Symposia of the Society for Experimental Biology**, v. 19, p. 205–234, 1965.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 112p. 2000.

MOREIRA, P.R. ; SILVA, O.A.D. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, p. 49-59, 2004.

MOURA, V.P.G. O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**. Comunicado técnico (INFOTECA – E), v. 111, 12p., 2004.

MUIANGA, M. R. D. **Relação entre crescimento e respostas ecofisiológicas em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos à diferentes doses de adubação potássica**. 69p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

MÜLLER, A.G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M.I.G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de Grasudia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 6571, 2005.

MUNNÉ-BOSCH, S.; ALEGRE, L. Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. **Functional Plant Biology**, v. 31, n. 3, p. 203-216, 2004.

NADEZHDINA N.; ČERMÁK J.; CEULEMANS. R. Radial patterns of sap flow in woody stems of dominant and understory species: scaling errors associated with positioning of sensors. **Tree Physiology**, v. 22, p. 907–918, 2002.

NAMBIAR, E. S.; BROWN, A. G. (Eds.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests.** Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research. 1997.

National Aeronautics and Space Administration – NASA. **Climate Change. How do we know?** Disponível em: < https://climate.nasa.gov/>. Acesso em: 24 ago. 2017.

NEARY, D. G. Long-Term Forest Paired Catchment Studies: What Do They Tell Us Tah Landscape-Level Monitoring Does Not? **Forests**, v.7, n.164. 15p., 2016.

NOBRE, C. A. et al. **Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America**. In: First International CLIVAR Conference, Baltimore, USA. p. 21-25, 2004.

NOBRE, C. A. et al. **O balanço de carbono da Amazônia brasileira. Estudos Avançados**, USP, São Paulo, n. 45, p. 81-90, 2002.

NOBRE, C.A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. **Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República**, Brasília, v. 1, n. 3, p. 1-252, 2005.

NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 13, n. 27, p. 19-42, 2008.

NOGUEIRA, R. J. M. C. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. UFRPE, Impressa Universitária, 2005.

NUTTO, L.; TONINI. H.; BORSOI, G.A.; MOSKOVICH, F.A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, p. 123-138, jan. 2001.

OISHI, A. C.; OREN, R.; STOY, P. C. Estimating components of forest evapo-transpiration: a footprint approach for scaling sap flux measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, p. 1719–1732, 2008.

OLBRICH, B.W.; DYE, P.J.; CHRISTIE, S.I.; POULTER, A.G. The water use characteristics of four eucalyptus clones in the Mkuzi irrigation trail.Stellenbosch:CSIR WNNR **Division of Forest Science and Technology**,1992. 40 p.

OLIVEIRA, M.L.R.; LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; GARCIA, S.L.R.; SOUZA, SOUZA, A.L. Classificação da capacidade produtiva de povoamentos não desbastados de clones de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1559-1567, nov. 2008.

ONANUGA, A.E.; JIANG, P.; ADL, S. Phosphorus, potassium and phytohormones promote chlorophyll production differently in two cotton (*Gossypium hirsutum*) varieties grown in hydroponic nutrient solution. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 4, n. 2, p.157-166, 2012.

ONO, K. et al. Possible mechanisms of adaptive leaf senescence. **Plant Biology**, v. 3, n. 3, p. 234-243, 2001.

OREN, R.; PHILLIPS, N.; EWERS, B.; PATAKI, D.; MEGONIGAL, J. Sap-flux-scaled transpiration responses to light, vapour pressure deficit, and leaf area reduction in a flooded *Taxodium distichum* forest. **Tree Physiology**, v. 19, p. 337–347, 1999.

PAIVA, Y. G. **Estimativa do índice de área foliar por métodos óticos e sensoriamento remoto para calibrar modelo ecofisiológico em plantios de**

**eucalipto em áreas de relevo ondulado**. 62p. Dissertação (mestrado em meteorologia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S. de; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier em cacaueiro a pleno sol. **Irriga**, Botucatu, p.120-132, 2012.

PEREIRA, J.S.; PALLARDY, S. Water stress limitations to tree productivity. In: PEREIRA, J.S.; LANDSBERG, J.J. (Ed.). Biomass production by fast-growing trees. Dordrecht: **Kluwer Academic**, p. 37-56, 1989.

PEREIRA-NETTO, A.B. Crescimento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C.M.; CARVALHO, R.I.N. (Ed.). **Fisiologia vegetal: produção e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat, p. 17-42, 2002.

PERRENOUD, S. **Potassium and Plant Health**. 2 ed. Berna: International Potash Institute, 363p, 1990.

PHILLIPS, N. G.; LEWIS, J.D.; LOGAN, B.A.; TISSUE, D.T. Inter- and intraspecific variation in nocturnal water transport in Eucalyptus. **Tree Physiology,** v.30, p. 586–596, 2010.

PHILLIPS, O.L.; LEWIS, S.L.; BAKER, T.R.; CHAO, K.J.; HIGUCHI, N. The changing Amazon forest. **Philosophical Transactions.Series B**, London, v. 363, n. 1498, p. 1819-1827, Feb. 2008.

PIACEZZI, A. **Material Genético Adaptado para a Região do MATOPIBA**. Novembro de 2013. 36 slides. Apresentação em Power Point. Disponível em: http://www.painelflorestal.com.br/base/www/painelflorestal.com.br/media/attachments/21/21/529cd71a7bb087f9890c222bd9f3e1294e62ea8d96296_anderson-piacezzi-material-genetico-adaptado-para-a-regiao-do-matopiba.pdf. Acesso: 26/03/2018.

PILLAR, V.D. **Clima e vegetação**. Porto Alegre:UFRGS, 1995. 11 p. Apostila. Disponível em: <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Reprints&Manuscripts/Manuscripts&Misc/6_Clima_95Nov07.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2015.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO2 e de O3 atmosférico: situação e previsões. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.1-12, 2011.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R.O.P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM

PERSPECTIVA, 1.,1995. **Anais**... Belo Horizonte:EMBRAPA, CNPMS, 1995. v.1, p.131-146.

PINTO, S. I. C., FURTINI NETO, A. E., NEVES,J. C. L.; FAQUINI, V. & MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva**. R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 523-533, 2011.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JR., E.; GAVA, I.C. Quantificação da deposição de folhedo em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, Piracicaba, n.37, p. 21-29, dez.1987. Disponível em: <http://www.ipef.br/PUBLICACOES/SCIENTIA/nr37/cap03.pdf> Acesso em 30 set. 2015.

**PORTAL FLORESTAL**. Dados técnicos sobre clones comerciais. Disponível em: http://www.portalflorestal.com.br/dados-tecnicos-sobre-clones-comerciais/. Acesso em: 26/03/2018.

PRETTY, K.M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p.177-194, 1982.

REFFYE, P.H. DE; HOULLIER, F.; AUCLAIR, D.; BARCZI, J.; DAUZAT, J. Tree architecture as link between process and forest growth. In: EMPIRACAL AND PROCESS BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION, 1., 1997, Oeiras. **Anais...** Lisboa: Salamandra, p.53-60, 1999.

REGALADO, C. M.; RITTER, A. An alternative method to estimate zero flow temperature differences for Granier's thermal dissipation technique. **Tree Physiology** v. 27, p. 1093–1102, 2007.

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

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

REIS, F.D.; CAMPOSTRINI, E.; DE SOUSA, E. F.; SILVA, M. G. E. Sap flow in papaya plants: laboratory calibrations and relationships with gas exchanges under field conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 110, p. 254–259, 2006.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? **Implications for conservation. Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153. 2009.

RODRIGUES, G. G. **Fixação e alocação de carbono em plantações clonais de eucalipto sob diferentes densidades de plantio** Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba - SP, 111p. 2017.

ROY, P.S.; RAVAN, S.A. Biomass estimation usinf satellite remote sensing data: an investigation on possible approaches for natural forest. **Journal of Bioscience**, Karnataka, v. 21, n. 4, p. 535-561, 1996.

RUBILAR, R. A.; HUBBARD, R. M.; YAÑEZ, M. A.; MEDINA, A. M.; VALENZUELA, H. E. Quantifying differences in thermal dissipation probe calibrations for Eucalyptus globulus species and *E. nitens× globulus hybrid*. **Trees**, v. 41, n. 4, p. 1263-1270-8, 2017.

SALEMI, L.F.; GROPPO, J.D.; TREVISAN, R.; MORAES, J.M.; FERRAZ, S.F.B.; VILLANI, J.P.; DUARTE-NETO, P.J.; MARTINELLI, L.A. Land-use change in the Atlantic rainforest region: Consequences for the hydrology of small catchments. **Journal of Hydrology**, v.499, p. 100-109, 2003.

SAMPAIO, T. F.; DALCIN, T. E.; BOGIANI, J. C.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A. Selection of eucalyptus clones and adjustment of potassium doses for extended drought in Bahia savanna. **Revista Árvore**, v. 40, n. 6, p. 1031-1039. 2016.

SANDS, P. J.; LANDSBERG, J. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 163, p. 273-292, 2002.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: Sanquetta CR, Watzlawick LF, Balbinot R, editors. **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR; 2002

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. N.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008.

SANTOS, M. D. dos. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis e Eucalyptus urophylla***. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011.

SANTOS, M.G. dos; RIBEIRO, R.V.; OLIVEIRA, R.F. de; MACHADO, E.C.; PIMENTEL, C. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. **Plant Science**, v.170, p.659-664, 2006.

SATTLER, A. J. **Potencial energético de clones de *Eucalyptus Urophylla* x *Eucalyptus Grandis* na região norte de Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). 27p. 2014.

SAXE, H.; CANNELL, M.G.R.; JOHNSEN, O.; RYAN, M.G.; VOURLITIS, G. Tree and forest functioning in response to global warming. **New Phytologist**, Lancaster, v. 149, n. 3, p. 369-399, 2001.

SCATOLINI, F.M.; FIRME, D.J.; GARCIA, C.H.; GOMES, F.P.; CAMARGO, F.R. Parcelamento da adubação potássica em E. grandis em áreas de reforma da Votorantim Celulose e Papel (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Trabalhos**... Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.

SCHOLZ, F. G.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; FRANCO, A. C.; MIRALLES-WILHELM, F. Removal of nutrient limitations by long-term fertilization decreases nocturnal water loss in savana trees. **Tree Physiology**, v. 27, p. 551–559, 2007.

SCOTT, D. F.; PRINSLOO, F. W. Longer-therm effects of pine and eucalypt plantations os streamflow. **Water Resources Research**, v. 44, 8 p., 2008.

SEARSON, M.J.; THOMAS, D.S.; MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P. Wood, density and anatomy of water-limited eucalypts. **Tree Physiol** 24:1295–1302, 2004.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>. Acesso em: 23 ago. 2017.

SETTE JUNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOUSADA, J. L. P. C.; LACLAU, J. P. Sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* pelo uso de dendrômetros. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 22, n. 4, p.763-775, 2012.

SGARBI, F. **Produtividade do Eucalyptus sp. em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do Estado de São Paulo**. 2002. 114p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SHANER, D.; BOYER, J. Nitrate reductase activity in maize (Zea mays L.) leaves. **Plant Physiology**. Berlin: Springer-Verlag, v. 58, p. 505-509, 1976

SHIMOYAMA, V.R.D.S.; BARRICHELO, L.E.G. Importância da adubação na qualidade da madeira e celulose. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1., 1989, Ilha Solteira. **Anais**... Ilha Solteira: UNESP, p.1-15, 1989.

SHVIDENKO, A.; BARBER, C. V.; PERSSON, R. Forest and woodland systems. In: Hassan, R.; SHOLES, R.; AHS, N. (ed.) **Ecosystems and human well-being: current state and trends**. Vol 1. Washington, DC, USA: Island Press, p. 585-621, 2005.

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T.F.; MONNIN, E.; LUTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D.; BARNOLA, J.M.; FISCHER, H.; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Stable carbon cycle-climate relationship during the late pleistocene. **Science,** Washington, v. 310, p. 1313-1317, 2005.

SILVA, C. R. da. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado e São Paulo**. 51p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVEIRA, R, L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS** Nº 91 – SETEMBRO/2000.

SILVEIRA, R. L. V. A; GONÇALVES, J.L.M.; GONÇALVES, A.N & BRANCO, E.F. Levantamento e estudo do mercado de fertilizantes em florestas brasileiras. **Relatório Técnico**, IPEF, 177p, 1995.

SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de E. grandis da região de Itatinga/SP. I. Macronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos**...Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995c. p.896-898.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do Eucalyptus: Diagnose visual, foliar e suas interpretações (**compact disc**). In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, Piracicaba, 1999. Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal 99: trabalhos. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 1999.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; POMPERMAYER, P.N. Monitoramento Nutricional do Eucalyptus na região de Capão Bonito/SP. **Relatório Técnico IPEF/ESALQ**, 92p, 1998.

SINCLAIR, T. R.; TANNER, C. B.; BENNETT, J. M. Water-use efficiency in crop production. **BioScience**, v. 34, p. 36–40, 1984.

SIVAKUMAR, M. V. K.; SHAW, R. H. Leaf response to water deficits in soybeans. **Physiologia Plantarum**, v. 42, n. 1, p. 134-138, 1978.

SMITH, D. M.; ALLEN, S. J. Measurement of sap flow in plant stems. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 12, p. 1833-1844, 1996.

SOARES, G. M. **Dinâmica do crescimento em plantios mistos de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii***. 215 p. Dissertação (Mestrado em Silvicultura e Manejo Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing *Eucalyptus* plantation in Brasil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.253, p. 130-147, 2001.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; TOMÉ, J.; BORGES, J. G.; BARREIRO, S.; PEREIRA, J. S.; FALCÃO, A.; ARAÚJO, C.; PINA, J. P.; LEMOS, L.; SOUSA, C; FEITH, H. Modelação da sustentabilidade da produção de madeira e do armazenamento de carbono de Eucaliptais ao nível da Unidade de Gestão. **Anais...** Congresso Florestal Nacional, 5º, Viseu, 2005.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change** 2007: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

SOUZA, C.D.; FERNANDES, D.P.; BARROSO, M.R.; PORTES, T.A. Transpiração de espécies típicas do cerrado medida por transpirômetro de equilíbrio e porômetro. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 509-515, out./dez. 2011.

SOUZA, R.M. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volme de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**, Viçosa, MG: UFV, 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal Eucaliptus plantations in Northeastern Brazil.** Thesis (Ph. D.) – Colorado State University, Fort Collins, 265 p., 2002.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil Eucalypt Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

STAPE, J.L.; BENEDETTI, V. Decréscimos de produtividade e resposta da brotação de *Eucalyptus grandis* à fertilização com macronutrientes em areia quartzosa no Estado de São Paulo-Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, Salvador, 1997. **Anais da Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**, v.3: Silvicultura, produtividade e utilização de eucaliptos. Salvador, p.112-117, 1997

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; GRATTAPAGLIA, D.; CAMPOE, O.; ALVARES, C.; GOMES, F.; MATTOS, E.; HAKAMADA, R.; MORAES, M.T. Fatores hídricos e as decisões de silvicultura, de melhoramento e de proteção na eucaliptocultura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3, 2014, Campinas. **Anais**... Curitiba: Embrapa Florestas, p. 81-98, 2014.

STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis-urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 219–234, 2004.

STEPPE, K.; DE PAUW, D. J.; DOODY, T. M.; TESKEY, R. O. A comparison of sap flux density using thermal dissipation, heat pulse velocity and heat field deformation methods. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 7, p. 1046-1056, 2010.

SUN, H.; AUBREY, D.P.; TESKEY, R.O. A simple calibration improved the accuracy of the thermal dissipation technique for sap flow measurements in juvenile trees of six especies. **Trees**. Berlin. v.26, p.631-640, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 848 p, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6. ed. Porto Alegre – Artmed, 858p. 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant physiology**. Redwood City: The Benjamim/Cummings Publ.., 559 p, 1991.

TANEDA, H.; SPERRY, J. S. A case-study of water transport in co-occurring ringversus diffuse-porous trees: contrasts in water-status, conducting capacity, cavitation and vessel refilling. **Tree Physiol**, v. 28, p. 1641–1651. 2008.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; DOS REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, v. 38, n. 2, 2008.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; DOS REIS, E. F.; PENCHEL, R. M. Desempenho de clones de eucalipto em resposta a disponibilidade de água no substrato. **ENGENHARIA NA AGRICULTURA/Engineering in Agriculture**, v. 17, n. 3, 2009.

TATAGIBA, S.D**. Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. 128 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

TEMESGEN, H.; ZHANG, C.H.; ZHAO, X.H. Modelling tree height–diameter relationships in multi-species and multi-layered forests: a large observational study from Northeast China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 316, p. 78–89, 2014.

TONELLO, Kelly Cristina; TEIXEIRA FILHO, José. Respostas fisiológicas de dois clones de eucalipto submetidos a diferentes potenciais hídricos. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLOGICO, 1., 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHI, p. 287-294, 2007.

TUBEROSA, R.; SANGUINETI, M.C.; LANDI, P. Abscisic acid concentration in leaf and xylem sap, leaf water potential, and stomatal conductance in maize. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1537-1563, 1994.

TURNBULL; M. H.; TISSUE, D. T.; MURTHY, R.; WANG, X.; GRIFFIN, K. L. Nocturnal warming increases photosynthesis at elevated $CO_2$ partial pressure in *Populus deltoides*. **New Phytologist**, v. 161, p. 819–826, 2004.

TURNER, N. Crop water deficit: a decade of progress. **Advandes in Agronomy**¸Madison, v.39, p. 1-51. 1986.

UNFCCC. **Adoption of the Paris Agrement.** Paris, 31 p. 2015.

VAN DIJK, A. I. J. M.; KEERNAN, R. J. Planted forests and water in perspective. Forest **Ecology and Management**, v. 251, p. 1-9, 2007.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiration in mango using Granier method. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 516–523, 2009.

VERTESSY, R.A.; BENYON, R.G.; O'SULLIVAN, S.K.; GRIBBEN, P.R. Relatioship between stem diameter, sapwood área, leaf área and transpiration in a Young mountain ash forest. **Tree Physiology**, Vitoria, v.15, p. 599-567, 1995.

VIEIRA, S.A.; ALVES, L.F.; AIDAR, M.P.M.; ARAÚJO, L.S.; BAKER, T.; BATISTA, J.L.F.; CAMPOS, M.C.R.; CAMARGO, P.B.; CHAVE, J.; DELITTI, W.B.; HIGUCHI, N.; HONÓRIO, E.; JOLY, C.A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L.A.; MATTOS, E.A. de; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F.A.M.; SHIMABUKURO, M.T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S.E. Estimation of biomass and carbono stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 21-29, 2008.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de Serapilheira e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus urophylla*× *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácianegra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 225-233, 2010.

VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; CAMARGO, F.R.A. Efeitos do corte raso de plantações de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Florestalis**, n.55, p.5-16, 1999.

VITAL, B.R. et al. Tabelas de peso seco para algumas espécies de eucalipto. Viçosa: **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, n.1, p.29, 1985.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193- 140, 2004.

WHITEHEAD, D.; GRIFFIN, K. L.; TURNBULL, M. H.; TISSUE, D. T.; ENGEL, V. C.; Brown, K. J.; SCHUSTER, W. S. F.; WALCROFT, A. S. Response of total night-time respiration to differences in total daily photosynthesis in a canopy of *Quercus rubra* L. **Global Change Biology**, v. 10, p. 925–938, 2004.

WILLIGEN, C.V.; PAMMENTER, N.W. Relationship between growth and xylem hydraulic characteristics of clones of Eucalyptus spp. at contrasting sites. **Tree Physiology**, v. 18, p. 595–600, 1998.

WILSON, K. B.; HANSON, P. J.; MULHOLLAND, P. J.; BALDOCCHI, D. D.; WULLSCHLEGER, S. D. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 106, p. 153–168, 2001.

WIND, C.; AREND, M.; FROMM, J. Potassium-dependent cambial growth in poplar. **Plant Biology**, Malden, v. 6, p. 30–37, 2004.

WOLFE, D. W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T. C.; ALVINO, A. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 859-864. 1988.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE – WWF. **As mudanças climáticas.** Disponível em: < http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/>. Acesso em: 24 ago. 2017.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, 2002.

XAVIER, T. M. T. **Efeito da restrição hídrica sobre o crescimento de clones de eucalipto.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 80p. 2010.

YOO, C. Y.; PENCE, H. E.; JIN, J. B.; MIURA, K.; GOSNEY, M. J.; HASEGAWA, P. M.; MICKELBARTA, M. V. The Arabidopsis GTL1 Transcription Factor Regulates Water Use Efficiency and Drought Tolerance by Modulating Stomatal Density via Transrepression of SDD1. **The Plant Cell**, Waterbury, v. 22, p.4128-4141, 2010.

ZEPPEL, M.; MACINNIS-NG. C.; PALMER, A.; TAYLOR, D.; WHITLEY, R.; FUENTES, S.; YUNUSA, I.; WILLIAMS, M.; EAMUS, D. An analysis of the sensitivity of sap flux to soil and plant variables assessed for an Australian woodland using a soil–plant–atmosphere model. **Functional Plant Biology**, v. 35, p. 509–520, 2008.

ZHAG, L.; DAWES, W.R.; WALKER, G.R. Response of mean anual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water Resources Research**, v.37, p. 701-708, 2001.

ZHANG, L.; ZHAO, F. F.; BROWN, A. E. Predicting effects of plantation expansion on stream flow regime for catchments in Australia. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, p. 2109-2121, 2012.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M.; BEDNARZ, C. W. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 39, p. 103-109, 2001.

# APÊNDICE

**APÊNDICE A.** Transpiração média (L/árvore dia) dos tratamentos avaliados nas diferentes estações do ano no período de junho de 2017 a dezembro de 2018.

**Tabela 15:** Transpiração média (L/árvore dia) dos tratamentos avaliados nas diferentes estações do ano (outono e no inverno). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, se referindo as comparações entre as estações para o mesmo tratamento, e pela mesma letra minúscula na coluna, referindo a comparações entre os tratamentos na mesa estação do ano, não diferiram estatisticamente (p>0,05) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

| Transpiração média (L/árvore.dia) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Inverno/2017 | | Primavera/2017 | | Verão/2017-2018 | | Outono/2018 | | Inverno/2018 | | Primavera/2018 | |
| COP 1404 K- | 29,43 ± 0,48 | Aa | 16,04 ± 0,3 | Eb | 18,18 ± 0,35 | Db | 25,48 ± 0,31 | Ba | 21,11 ± 0,34 | Ca | 19,43 ± 0,46 | Da |
| COP 1404 K+ | 23,11 ± 0,33 | ABb | 18,65 ± 0,34 | Ca | 22,8 ± 0,49 | Ba | 23,62 ± 0,29 | Ab | 18,08 ± 0,26 | Cb | 16,56 ± 0,3 | Db |
| AEC 144 K- | 14,81 ± 0,23 | Ad | 9,49 ± 0,18 | Cc | 9,17 ± 0,15 | Cd | 11,69 ± 0,2 | Bd | 7,33 ± 0,11 | Dd | 10,77 ± 0,18 | Bd |
| AEC 144 K+ | 17,25 ± 0,27 | Bc | 19,44 ± 0,36 | Aa | 15,08 ± 0,18 | Cc | 16 ± 0,16 | BCc | 16,15 ± 0,19 | BCc | 13,58 ± 0,22 | Dc |

**APÊNDICE B.** Densidade da madeira (Ton/m³) dos diferentes materiais genéticos avaliados

**Tabela 16**: Densidade (Ton/ha) dos diferentes materiais genéticos avaliados

| Clone | Densidade (T/m³) |
|---|---|
| COP 1404 | 0,4653 ± 0,0043 a |
| COP 1407 | 0,4245 ± 0,0069 a |
| AEC I042 | 0,4516 ± 0,0072 a |
| AEC 224 | 0,4415 ± 0,0047 a |
| AEC 144 | 0,4440 ± 0,0052 a |
| AEC 1528 | 0,4410 ± 0,0027 a |