

ROBERTA PATRÍCIA DE SOUSA SILVA

**FISIOLOGIA FOLIAR E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA EM DOIS CLONES DE
Eucalyptus SOB MANEJO DE ALTO FUSTE E TALHADIA**

Botucatu

2024

ROBERTA PATRÍCIA DE SOUSA SILVA

**FISIOLOGIA FOLIAR E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA EM DOIS CLONES DE
Eucalyptus SOB MANEJO DE ALTO FUSTE E TALHADIA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutora em Ciência Florestal

Orientador: Otávio Camargo Campoe

Coorientador: Joannès Guillemot

Botucatu

2024

S586f

Silva, Roberta Patrícia de Sousa

Fisiologia foliar e eficiência do uso de água em dois clones de Eucalyptus sob manejo de alto fuste e talhadia / Roberta Patrícia de Sousa Silva. -- Botucatu, 2024
109 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Otavio Camargo Campoe

Coorientador: Joannès Guillemot

1. eucaliptos. 2. talhadia. 3. alto fuste. 4. fisiologia foliar. 5. eficiência de uso de água. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Fisiologia foliar e eficiência do uso de água em dois clones de Eucalyptus sob manejo de alto fuste e talhadia


AUTORA: ROBERTA PATRÍCIA DE SOUSA SILVA
ORIENTADOR: OTÁVIO CAMARGO CAMPOE
COORIENTADOR: JOANNÈS GUILLEMOT
COORIENTADOR: CLAYTON ALCARDE ALVARES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciência Florestal, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. OTÁVIO CAMARGO CAMPOE (Participação Virtual)
Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras

Documento assinado digitalmente:
 OTÁVIO CAMARGO CAMPOE
Data: 28/03/2024 20:11:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. SILVIO FROSINI DE BARROS FERRAZ (Participação Virtual)
Laboratório de Hidrologia Florestal / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Documento assinado digitalmente:
 SILVIO FROSINI DE BARROS FERRAZ
Data: 04/04/2024 09:20:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. RODRIGO EIJI HAKAMADA (Participação Virtual)
Ciências Florestais / Universidade Federal Rural de Pernambuco

Documento assinado digitalmente:
 RODRIGO EIJI HAKAMADA
Data: 03/04/2024 17:53:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisador Dr. CLAYTON ALCARDE ALVARES (Participação Virtual)
Tecnologia Florestal / Suzano Papel e Celulose

Documento assinado digitalmente:
 CLAYTON ALCARDE ALVARES
Data: 03/04/2024 11:21:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.ª Dr.ª JUSCELINA ARCANJO DOS SANTOS (Participação Virtual)
Ciências Florestais / Universidade Federal de Brasília

Documento assinado digitalmente:
 JUSCELINA ARCANJO DOS SANTOS
Data: 03/04/2024 18:00:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Botucatu, 28 de março de 2024.

A minha amada avó,

Maria Rita,

dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido e presente Deus, que me deu forças nos momentos mais difíceis.

A minha pequena família, irmão, pai, e principalmente mãe, tudo sempre foi pela senhora, Maria Lúcia Gomes de Sousa o amor da minha vida, a minha vozinha paterna Maria Rita da Conceição, que não pôde ver nenhum desses diplomas, mas ela sempre soube que eu chegaria aqui, te amarei infinito.

Ao meu querido orientador Otávio Camargo Campoe, por todo suporte, paciência e humanidade durante essa longa jornada, e por ter me escolhido para trabalhar com esses dados tão incríveis e pioneiros, foi uma honra.

Ao IPEF, através do programa Eucflux e as empresas que fazem parte do programa, CIRAD, por todo apoio financeiro, material e de pessoal nas coletas de campo, e ao conjunto de professores e alunos que fizeram parte do projeto, Otávio Campoe, Joannès Guillemot, Magali Silva, Clayton Alvares, Guerric le Maire, Aline, Jenickson, Luca, Jhuan, Marina, por todo apoio científico e pessoal, e em especial Cassiano que tanto me auxiliou nas coletas de campo.

A AGROAMBIÊNCIA, na pessoa de Juan Rojas, que tanto me ajudou na coleta de dados do fluxo de seiva, manutenção e tabulação de dados, sem ele não seria possível visualizar esses dados tão incríveis.

A FLORAGRO, por todo apoio de Campo, na pessoa de Éder, e principalmente ao funcionário Anderson, que se tornou meu maior incentivador, e nunca me deixou desanimar nas difíceis coletas de campo, sempre dava um jeito nos imprevistos que aconteciam só para eu não perder o dia de campo, meu “besta friend”, você não escreveu um linha, mas essa tese é tão sua quanto minha.

A EECFI ESALQ/USP, por todo apoio científico e de equipamentos, além de laboratórios, principalmente a estação experimental da Esalq em Itatinga, na pessoa do seu técnico Rildo, que me deu todo apoio no uso de equipamentos e laboratórios.

A UNESP/FCA, e o programa em ciência florestal pelo apoio no processamento de dados no uso dos laboratórios, professores, funcionários, sou muito grata por tudo e muito honrada em ter feito meu doutorado no programa, levarei muitas lembranças boas de tudo o que vivi em Botucatu.

Meu amado irmão de coração, amigo de uma jornada, Sérgio, passamos todos os perrengues de graduação ao doutorado juntos, nesse desafio de sair do interior da

Paraíba e enfrentar uma nova vida no sudeste, e a gente veio e o resto é história, te amo irmão, sempre juntos.

Aos meus queridos estagiários, Gabriel, Pedro, e Hélio, que me deram todo apoio na fase de campo, toda sorte do mundo para vocês na carreira e na vida.

A rede de amigas que fiz através do meu orientador, Celina, Anny, Fernanda, Josi, Isa, sem vocês eu não teria conseguido, amo todas e sou muito grata. Josi ainda me deu um presente, a minha cachorra Zoe, sem ela, realmente eu teria desistido, te amo vida.

E por fim, dizer que foram longos 11 anos e alguns meses nessa caminhada até aqui de muitas lutas e vitórias, mais lutas com certeza, e principalmente, muito aprendizado não só acadêmico, mas na vida. Muito orgulho de ter desenvolvido esse trabalho tão inovador e impactante no setor, obrigada por tudo Deus.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

O estudo buscou de forma pioneira trazer informações até então inexploradas a respeito de possíveis diferenças entre os sistemas de manejo por alto fuste e talhadia tanto pelo aspecto foliar, através de parâmetros fisiológicos envolvidos nas relações hídricas, como também no âmbito do indivíduo em relação ao uso e eficiência no uso de água entre dois genótipos de *Eucalyptus*, de características contrastantes. No aspecto foliar os parâmetros fisiológicos obtidos foram: Assimilação líquida de CO₂ sob luz saturante (A_{sat}), condutância estomática (gs), transpiração (E), e Concentração intercelular de CO₂ (C_i), como também as relações entre alguns parâmetros em curvas A/C_i, gs/VPDL, e gs/A. As coletas ocorreram em campanhas ao longo de 8 meses, sendo 4 meses mais secos no ano de 2021 e 4 meses chuvosos no ano de 2022 na região, em 4 blocos manejados por alto fuste e 4 por talhadia. No âmbito do indivíduo, o monitoramento de fluxo de seiva, foi instalado em 10 árvores de cada clone em um bloco por talhadia, com um fuste por cepa, e outro por alto fuste, totalizando 40 árvores nos períodos de 2020 a 2021 (Ano 1), 2021 a 2022 (Ano 2), e 2022 a 2023 (Ano 3). A quantificação das transpirações diárias foi determinada para todos os indivíduos da parcela em cada tratamento a partir transpiração (área do alburno) e seus respectivos CAPs (circunferência à altura do peito). A eficiência de uso de água (EUA) foi calculada através da divisão dos períodos de uso de água pelo incremento corrente anual em biomassa do mesmo período. O período de 2021 (seco), apresentou baixa precipitação ao longo do ano, principalmente no mês de setembro, onde houve redução drásticas em todos os tratamentos clone + manejo, porém C12 no alto fuste apresentou maior A e menor E, em relação aos demais tratamentos. Em relação as curvas gs/VPDL, o C16 se comportou de forma semelhante em ambos os manejos, sendo mais responsivo aos aumentos em VPDL. Já a relação da gs com A, foi acentuadamente responsiva ao aumento na gs, sobretudo para o C12, independentemente de manejo no ano de 2021. No período chuvoso em 2022 com maior disponibilidade de água os tratamentos obtiveram seus picos, com destaque para C16 no alto fuste com A (19 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), gs (0,52 mol m⁻² s⁻¹), E (8,22 mmol m⁻² s⁻¹), e C_i (310 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), além de melhor desempenho estomático, quando comparado ao C12, apresentando elevados valores de gs (0,76 mol m⁻² s⁻¹), e conseqüentemente maior A. O período também favoreceu

a maior área foliar específica (SLA), onde os indivíduos no manejo por alto fuste apresentaram maior SLA ($8,2 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$), com destaque para C16 ($10,4 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$), em resposta ao período de arranque de crescimento no alto fuste 2,5 e 3,4 anos, com maior demanda de água no Ano 2 (2021 a 2022), onde os clones transpiraram em torno de 1670 mm, excedendo precipitação no período em 41%. Analisando o uso de água no âmbito dos indivíduos nos demais períodos, a transpiração no Ano 1 (2020 a 2021), foi maior para os clones na talhadia, principalmente C16 (1741mm), que transpirou 35% a mais do que no alto fuste. No Ano 3 (2022 e 2023), o C16 apresentou maior transpiração independente de manejo (1800 mm) excedendo em 30% a precipitação do período. C12, transpirou 37% a menos no alto fuste, e 72% na talhadia. A eficiência de uso também refletiu o comportamento dos clones, no segundo e terceiro períodos de medições, a associação do C12, clone produtivo com a talhadia foi significativamente elevada comparado aos demais tratamentos com $1,1 \text{ Kg.m}^3$ e $1,8 \text{ Kg.m}^3$ respectivamente. Dessa forma, o clone C12 demonstrou estratégias fisiológicas mais eficientes, melhor controle estomático, principalmente no ambiente seco quando comparado a C16. O manejo não influenciou os parâmetros fisiológicos, porém, a talhadia potencializou o uso de água no C16 no crescimento inicial, que manteve a elevada demanda nos anos subsequentes independentemente de manejo. Para C12, a após o crescimento inicial a talhadia proporcionou menores taxas de transpiração e elevada eficiência de uso de água, demonstrando que a sua utilização ainda pode ser viável para regiões de déficit hídrico intermediário, sobretudo por se tratar de um manejo economicamente mais rentável para os gestores e empresas do setor.

Palavras-chave: eucaliptos; talhadia; alto fuste; fisiologia foliar; eficiência de uso de água.

ABSTRACT

The study sought to pioneer in providing previously unexplored information regarding potential differences between high forest and coppice management systems, both from the foliar aspect through physiological parameters involved in water relations, as well as at the individual level regarding water use and water use efficiency among two contrasting genotypes of Eucalyptus. In the foliar aspect, the physiological parameters obtained were: net CO₂ assimilation under saturating light (A_{sat}), stomatal conductance (g_s), transpiration (E), and intercellular CO₂ concentration (C_i), as well as the relationships between some parameters in A/C_i , $g_s/VPdL$, and g_s/A curves. Collections took place during campaigns over 8 months, including 4 drier months in 2021 and 4 rainy months in 2022 in the region, in 4 blocks managed by high forest and 4 by coppice. At the individual level, sap flow monitoring was installed in 10 trees of each clone in one coppice block, with one stem per stool, and another by high forest, totaling 40 trees over the periods of 2020 to 2021 (Year 1), 2021 to 2022 (Year 2), and 2022 to 2023 (Year 3). Daily transpiration quantification was determined for all individuals in the plot in each treatment based on transpiration (sapwood area) and their respective DBHs (diameter at breast height). Water use efficiency (WUE) was calculated by dividing the water use periods by the annual biomass increment for the same period. The year 2021 (dry) had low precipitation throughout, especially in September, resulting in drastic reductions in all clone + management treatments; however, C12 in high forest had higher A and lower E compared to the other treatments. In terms of $g_s/VPDL$ curves, C16 behaved similarly under both managements, being more responsive to increases in $VPDL$. The relationship of g_s with A was significantly responsive to increased g_s , especially for C12, independent of management in 2021. During the rainy period in 2022, with greater water availability, the treatments peaked, notably C16 in high forest with A ($19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), g_s ($0.52 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), E ($8.22 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), and C_i ($310 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), and better stomatal performance compared to C12, which showed high g_s values ($0.76 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), and consequently higher A . The period also favored higher specific leaf area (SLA), with high forest management showing greater SLA ($8.2 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$), particularly C16 ($10.4 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$), in response to the growth spurt period in high forest at 2.5 and 3.4 years, with higher water demand in Year 2 (2021 to 2022), where clones transpired around 1670 mm, exceeding precipitation during the period by 41%. Analyzing

individual water use in other periods, transpiration in Year 1 (2020 to 2021) was higher for clones in coppice, mainly C16 (1741 mm), which transpired 35% more than in high forest. In Year 3 (2022 and 2023), C16 had higher transpiration regardless of management (1800 mm), exceeding precipitation for the period by 30%. C12 transpired 37% less in high forest, and 72% less in coppice. Water use efficiency also reflected the behavior of the clones; in the second and third measurement periods, the association of the productive clone C12 with coppice was significantly higher compared to other treatments with 1.1 kg.m³ and 1.8 kg.m³, respectively. Thus, clone C12 demonstrated more efficient physiological strategies, better stomatal control, especially in dry environments compared to C16. Management did not influence physiological parameters, however, coppice enhanced water use in C16 during initial growth, maintaining high demand in subsequent years regardless of management. For C12, after initial growth, coppice resulted in lower transpiration rates and high water use efficiency, demonstrating that its use can still be viable for regions with intermediate water deficit, particularly as it is a more economically profitable management for sector managers and companies.

Keywords: eucalyptus; coppice; high forest; leaf physiology; water use efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DA FISILOGIA FOLIAR DE DOIS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> SOB MANEJO EM ALTO FUSTE E TALHADIA.....	27
Figura 1 — Localização da área experimental e distribuição dos blocos.....	34
Figura 2 — Croqui da área experimental com as parcelas 12 e 16 nos manejos por alto fuste e talhadia, com destaque para representação espacial dos 100 indivíduos centrais medidos na área de estudo, em Itatinga, SP	35
Figura 3 — Esquema demonstrativo das medições mensais nos clones 12 e 16 nos blocos por talhadia e alto fuste	36
Figura 4 — Valores médios mensais de precipitação e precipitação acumulada (mm) da área estudada com destaque para os meses de medição (azul), localizada na fazenda americana, Itatinga, SP, nos anos de 2021 e 2022	39
Figura 5 — Correlação entre a temperatura (a), umidade relativa (b), e o déficit de pressão de vapor (VPDL), (c), medidos no IRGA, e os valores reais medidos nos mesmos horários na área de estudo em itatinga, SP	40
Figura 6 — Heatmap dos teores médios mensais de água no solo (%) nos anos de medição (2021 e 2022) nas camadas de 15 cm (a), 50 cm (b) e 100 cm (c), na área experimental localizada na fazenda americana, Itatinga, SP	41
Figura 7 — Comportamento ao longo dos meses para taxa líquida de assimilação de CO ₂ (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (a), condutância estomática (gs $\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$) (b), transpiração (E $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (c), concentração intercelular de CO ₂ (Ci $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (d), ψ_{pdwn} (MPa) (potencial hídrico antemanhã), (e), ψ_{mind} (MPa) (potencial hídrico do mínimo do meio dia) (f) para os clones C12 e	

C16 nos manejos por alto fuste (C12 AF; C16 AF), e talhadia (C12 T; C16 T) no período seco, e período chuvoso) 45

Figura 8 — Análise multivariada de componentes principais (PCA), dos Clones C12 e C16 nos manejos AF (alto fuste) e T (talhadia) relacionando as variáveis fisiológicas como assimilação líquida de CO₂ (a), condutância estomática (gs), temperatura da folha (tleaf), déficit de pressão de vapor da folha (VpdL), concentração intercelular de CO₂ (Ci), transpiração (E) com as climáticas como temperatura do ar (Tair), umidade relativa do ar (RH_R) e umidade relativa da amostra ou folha (RH_S) 47

Figura 9 — Correlação entre a condutância estomática (gs) e o déficit de pressão de vapor da folha (VPDL) nos clones 12 e 16 nos sistemas de manejo por talhadia (a) e alto fuste (b) no ano de 2021 (período seco), e no ano de 2022 (período chuvoso), talhadia (c), e alto fuste (d)..... 48

Figura 10 — Relação entre a assimilação líquida de CO₂ (a), e condutância estomática (gs) na talhadia (a) e alto fuste (b), no ano de 2021, período seco, e no ano de 2022, na talhadia (c) e alto fuste (b), período chuvoso 50

Figura 11 — Comportamento ao longo dos meses da área foliar específica (SLA m²/kg¹) para os clones C12 e C16 nos manejos por alto fuste (C12 AF; C16 AF), e talhadia (C12 T; C16 T) no período seco, e período chuvoso) 52

Figura 12 — Biomassa acumulada do fuste (Mg.ha⁻¹) para os clones C12 e C16 manejados por talhadia (linha tracejada) e alto fuste (linha contínua) em função da idade. A área sombreada indica o período de medição dos parâmetros fisiológicos entre julho de 2021 e julho de 2022 53

CAPÍTULO 2 – USO E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA EM CLONES DE *Eucalyptus* CONTRASTANTES SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO 68

Figura 1 — Localização dos blocos de talhadia e alto fuste com o monitoramento de fluxo de seiva nos clones 12 e 16 na área de estudo, localizada na fazenda americana, Itatinga, SP	76
Figura 2 — Croqui da área experimental com as parcelas 12 e 16 nos manejos por alto fuste e talhadia, com destaque para representação espacial dos 100 indivíduos centrais medidos na área de estudo, em Itatinga, SP	77
Figura 3 — Indivíduos dos clones 12 e 16 na área de estudo com os sensores de fluxo de seiva (a), datalogger (CR1000) utilizado para registro dos dados (b) .	79
Figura 4 — Precipitação (mm) nos períodos de medição na área de estudo localizada na cidade de itatinga, sp. ano 1 (maio de 2020 a abril de 2021); ano 2 (maio de 2021 a abril de 2022), e ano 3 (maio de 2022 a maio de 2023)	81
Figura 5 — Incremento médio anual (IMA $Mg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) entre os clones (C12 e C16) e manejos (alto fuste e talhadia) por períodos de medição e geral	83
Figura 6 — Transpiração (mm) dos clones 12 e 16 na talhadia e no alto fuste, juntamente com a precipitação (mm) (linha azul), por ano medição na área de estudo.....	84
Figura 7 — Transpiração média (mm) dos clones 12 e 16 nos manejos por alto fuste e talhadia em cada ano medição.....	85
Figura 8 — Transpiração média (mm) dos clones C12 e C16 por períodos de medição	86
Figura 9 — Transpiração acumulada (mm) ao longo dos anos de medição (2020 a 2023) para os clones C12 e C16 na talhadia e no alto fuste	87

- Figura 10 — Mapa de calor (heatmap) da transpiração mensal (mm) para os clones C12 e C16 no alto fuste e talhadia por períodos de medição 88
- Figura 11 — Comparação da eficiência de uso de água (EUA kg.m³) entre os clones (C12 e C16) e manejos (alto fuste e talhadia). Árvores (n=10) em cada tratamento monitoradas com o fluxo de seiva por período de medição. 89
- Figura 12 — Valores médios para eficiência de uso de água (EUA kg.m³ ano⁻¹) para os tratamentos entre os anos 2 (a) e 3 (b) de medição. As barras representam o desvio padrão, e as letras iguais nas barras indicam ausência de diferença estatística significativa ($p > 0,05$)..... 90
- Figura 13 — Médias para eficiência de uso de água (EUA kg.m³) entre os manejos de talhadia (a) e alto fuste (b) e clones (c) e (d), nos anos de medição (2 e 3). As barras representam o desvio padrão, e as letras iguais nas barras indicam ausência de diferença estatística significativa ($p > 0,05$)..... 91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DPV	Déficit Pressão de Vapor
KPa	Kilopascal
MPa	Megapascal
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa
VPDL	Déficit de Pressão de Vapor da Folha
IRGA	Analizador de Gases por Infravermelho
SLA	Área Foliar Específica
EiUA	Eficiência intrínseca de uso de água
EUA	Eficiência no uso de água
CAP	Circunferência a altura do peito
ICA	Incremento corrente anual
IMA	Incremento médio anual

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Assimilação Líquida de CO ₂
g _s	Condutância Estomática
E	Transpiração
C _i	Concentração Intercelular de CO ₂
Asat	Fotossíntese sob luz saturante
Ψ_{pdwn}	Potencial hídrico antemanhã
Ψ_{mind}	Potencial hídrico do meio dia
Rubisco	Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase
RuBP	Ribulose 1,5-bifosfato
V _{Cmax}	Taxa Máxima de Carboxilação da Rubisco
J _{max}	Taxa Máxima de Transporte de Elétrons
R _d	Respiração no escuro
g _m	Condutância do mesofilo
Mg	Mega grama
g ₁	Parâmetro de inclinação do modelo de otimização estomática

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	23
CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DA FISIOLOGIA FOLIAR DE DOIS CLONES DE <i>Eucalyptus</i> SOB MANEJO EM ALTO FUSTE E TALHADIA	27
1.1 INTRODUÇÃO	28
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	29
1.2.1 Aspectos gerais das espécies de <i>eucalyptus</i>	29
1.2.2 Fisiologia foliar	31
1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
1.3.1 Caracterização da área experimental.....	33
1.3.2 Medição de variáveis fisiológicas e potencial hídrico	35
1.3.3 Curvas A/Ci	36
1.3.4 Respostas da condutância estomática ao Dpv.....	37
1.3.5 Área foliar específica.....	38
1.3.6 Caracterização climática e conteúdo de água no solo	38
1.3.7 Biomassa do fuste dos clones nos manejos.....	41
1.3.8 Delineamento e análise experimental	42
1.4 RESULTADOS	44
1.5 DISCUSSÃO	53
1.6 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	59
CAPÍTULO 2 – USO E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA EM CLONES DE <i>Eucalyptus</i> CONTRASTANTES SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO	68
2.1 INTRODUÇÃO	69
2.2 REVISÃO DE LITERATURA	70
2.2.1 Manejo por alto fuste e talhadia de <i>Eucalyptus ssp</i>	70
2.2.2 Uso e eficiência do uso de água	72
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	75
2.3.1 Caracterização da área experimental.....	75
2.3.2 Calibração	77

2.3.3	Área do alburno e fluxo de seiva	78
2.3.4	Transpiração dos clones no alto fuste e talhadia	80
2.3.5	Eficiência do uso de água dos clones nos manejos	80
2.3.6	Caracterização da precipitação	81
2.3.7	Determinação do ima	82
2.3.8	Análises estatísticas	82
2.4	RESULTADOS	82
2.5	DISCUSSÃO	91
2.6	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS	96
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICE A	106
	APÊNDICE B	107
	APÊNDICE C	108
	APÊNDICE D	109

INTRODUÇÃO GERAL

As espécies de *Eucalyptus* são o grande destaque do setor florestal brasileiro, ocupando 76% da área plantada do país com 7,6 milhões de hectares. A produtividade média em alguns estados chegou a 42,4 m³/ha/ano, e nacional em 32,7 m³/ha/ano em 2022, consolidando-se assim a cada ano, como a principal fonte de matéria-prima para produtos não madeireiros e madeireiros, não apenas no mercado interno, mas também líder em exportações principalmente de celulose em todo o mundo (IBÁ, 2023).

Com a elevada demanda no setor florestal, surge a necessidade de compreender como o ganho em madeira afeta outros recursos principalmente a água, como na etapa de fixação de carbono no processo fotossintético, o qual ocorre a consequência inevitável da perda de água por elevadas taxas de transpiração nas florestas de alta produtividade (Hakamada *et al.*, 2020; Stape *et al.*, 2004).

Outro fator a ser considerado é que mais da metade das plantações de eucaliptos (46%, 3,1 milhões de hectares), concentram-se na região sudeste (IBÁ, 2023), que é fortemente influenciada por longos períodos de seca, principalmente após os anos 2000, com precipitações abaixo de 50 mm de 3 a 5 meses no ano (Gonçalves *et al.*, 2013). Diante desses fatos, o crescimento e a produtividade dos plantios nessa região podem ser afetados negativamente (Chambi-Legoas *et al.*, 2023; Stape *et al.*, 2010).

Dentre os fatores que contribuem para que ocorra os longos períodos de seca e irregularidades das chuvas estão o aumento de temperatura nos últimos anos em todo o mundo, e o consequente aumento na demanda evaporativa atmosférica, ou déficit de pressão de vapor (DPV), devido a umidade presente no ar não acompanhar na mesma velocidade a pressão de vapor de saturação (Grossiord *et al.*, 2020; Olson *et al.*, 2020; Kassahun; Renninger, 2021).

No entanto, é difícil antever como as mudanças climáticas influenciarão a sustentabilidade e produção das plantações de Eucaliptos, em decorrência do pouco entendimento ainda sobre os mecanismos fisiológicos que norteiam a sobrevivência das árvores, e a capacidade dos clones de expressarem as características fisiológicas de espécies parentais (Conti Júnior *et al.*, 2020).

Árvores que se desenvolvem em ambientes que apresentam mudanças na disponibilidade de água, necessitam de regulação estomática para manter o balanço de água em um estado satisfatório, tanto nos tecidos, como para os processos fisiológicos essenciais, realizando ajustes fisiológicos que permitem manter o crescimento, durante períodos que a disponibilidade de água é limitada (Zheng; Wang, 2015; Conti Junior *et al.*, 2020).

Estratégias adaptativas que possam apresentar potencial de crescimento e tolerância ao déficit hídrico são necessárias para o manejo produtivo das florestas plantadas (Laclau *et al.*, 2016), como optar pela seleção de genótipos resistentes, que podem produzir em níveis satisfatórios utilizando o mínimo possível de água (Hubbard *et al.*, 2020).

A gestão durante e entre as rotações, pode ter um impacto significativo na dinâmica da água no solo, como a escolha do sistema de manejo por talhadia ou alto fuste. A talhadia consiste na regeneração do plantio através da rebrota do toco ou cepa, remanescente da rotação anterior. (Buckley, 2020). Em razão da boa condição de brotação das espécies de Eucaliptos, o sistema por talhadia foi amplamente difundido no setor florestal, consolidando-se como o principal sistema de manejo desde a implantação da espécie no país (Rocha *et al.*, 2019).

No sistema de manejo por alto fuste, a implantação da floresta é realizada pós colheita com o plantio do material genético entre linhas (Scolforo; Maestri, 1998). Após a década de 90, com o melhoramento genético avançado das espécies do gênero, a adoção de mudas de elevada adaptabilidade e produtividade foi amplamente difundida (Gonçalves *et al.*, 2013).

Porém, com a crise econômica de 2008, a talhadia ganhou força novamente, devido ao alto custo para formação de florestas, tornando-se uma alternativa economicamente viável no cenário florestal (ABRAF, 2013).

Entre as vantagens da talhadia, está o rápido crescimento inicial devido seu sistema radicular já desenvolvido, que propicia grandes quantidades de recursos como água e nutrientes em relação as mudas, além de propiciar maior resistência à seca em locais propensos a falta de água (Poorter; Nagel, 2000).

No entanto, a talhadia geralmente perde produtividade entre a primeira e segunda rotação em decorrência de variações edafoclimáticas, material genético, e falhas silviculturais, como no processo de colheita, que pode causar danos ao solo,

no toco, e na disponibilidade de carboidratos para próxima rotação (Rocha *et al.*, 2019; Hakamada *et al.*, 2022).

A eficiência do uso de água (EUA), é considerado um parâmetro sensível para avaliar o desempenho dos indivíduos e ao mesmo tempo explorar estratégias para minimizar o uso desse recurso (King *et al.*, 2013; Lévesque *et al.*, 2014). Trata-se de um parâmetro de conceito simples que de forma geral demonstra a capacidade da floresta em absorver carbono e produzir biomassa em função do uso de água (Laclau *et al.*, 2016).

As espécies de Eucalipto desenvolvem raízes profundas que muitas vezes recorrem a água armazenada no perfil do solo o ano inteiro, o que pode provocar déficit no balanço hídrico no final da rotação, além disso, dependendo do local, regime de chuvas, e da quantidade de indivíduos, a recarga de água entre as rotações pode ser incompleta, influenciando negativamente a bacia de modo geral (Drake *et al.*, 2012; Drake *et al.*, 2009).

O uso de água nos plantios de eucaliptos é cada vez mais estudado devido a preocupações com o balanço hídrico no solo, o que pode entrar em conflito direto com o abastecimento de água para agricultura e demais usos (Hubbard *et al.*, 2020; Reichert *et al.*, 2021).

Compreender a dinâmica de genótipos e manejos no balanço hídrico é fundamental na gestão hídrica, principalmente na seleção de materiais mais adequados e elaboração de melhores estratégias de manejo para melhor produção das áreas cultivadas.

A análise no aspecto foliar, e de indivíduo, através dos parâmetros fisiológicos e eficiência com que a água é assimilada em biomassa respectivamente em ambos os manejos, oferece oportunidade de conhecimento ainda pouco explorados, sobre o equilíbrio cada vez mais necessário diante dos cenários futuros das mudanças climáticas, entre a produção de madeira e o abastecimento de água para todos os setores da sociedade.

Além disso, estudos comparativos do uso e eficiência do uso de água entre alto fuste e talhadia, relacionando com a base fisiológica que possam explicar as especificidades entre estes sistemas de manejo são escassos no Brasil.

Dessa forma, foram avaliados dois clones de *Eucalyptus* de características contrastantes, um produtivo, o C12 (*E. urophylla* sp.) e outro com características de tolerância à seca C16 (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), com o objetivo geral de

caracterizar os parâmetros fisiológicos envolvidos nas relações hídricas, e quantificar o uso e a eficiência de uso de água entre alto fuste e talhadia.

O capítulo 1, engloba informações referentes a caracterização dos parâmetros fisiológicos relacionados ao uso de água, juntamente com a influência dos fatores ambientais em períodos climáticos distintos (seco e outro chuvoso) nos dois clones estudados sob manejo de alto fuste e talhadia. Já o capítulo 2, apresenta respostas no âmbito do indivíduo em relação ao uso e eficiência no uso de água entre os clones e os sistemas de manejo.

CARACTERIZAÇÃO DA FISILOGIA FOLIAR DE DOIS CLONES DE *Eucalyptus* SOB MANEJO EM ALTO FUSTE E TALHADIA¹

RESUMO

Observou-se as respostas dos principais componentes fisiológicos envolvidos nas relações hídricas de dois genótipos de *Eucalyptus*, um produtivo, e o outro tolerante, sob manejo de alto fuste e talhadia em diferentes períodos climáticos. Campanhas foram realizadas ao longo de 8 meses abrangendo o período seco e chuvoso na região de Itatinga – SP para avaliar a Assimilação líquida de CO₂ sob luz saturante (A_{sat}), condutância estomática (g_s), evapotranspiração (E), concentração interna de carbono (C_i) e déficit de pressão de vapor da folha (VpdL) em um clone produtivo, C12 (*Eucalyptus urophylla*) e tolerante à seca, C16 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus calmadulensis*) em 4 blocos manejados sob sistema de alto fuste (AF) e 4 por talhadia (T). Também foram relacionados alguns parâmetros através de curvas A/C_i, g_s/VpdL, e g_s/A. O período de 2021, apresentou baixa precipitação ao longo do ano, principalmente no mês de setembro, onde houve redução drásticas em todos os tratamentos clone + manejo, em relação a A, g_s, E, C_i. No período chuvoso e pós-chuvoso com maior disponibilidade de água os tratamentos obtiveram seus picos, com destaque para o tratamento C16+AF com A (19 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), g_s (0,52 mol m⁻² s⁻¹), E (8,22 mmol m⁻² s⁻¹), C_i (310 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). Em relação as curvas g_s/VPDL, o C16 na talhadia/21 apresentou maior correlação (R² = 61) comparado ao C12 (R²= 43), assim, sob baixo efeito do VPDL (1-2 kPa) demonstrou maior capacidade estomática, porém entre 2-4 kPa, demonstrou maior sensibilidade. No alto fuste/21 o C16 se comportou de forma semelhante (R²=55), sendo mais responsivo as variações em VPDL. No ano de 2022 (período chuvoso), sem a ação de altas taxas de VPDL, o C16 apresentou melhor desempenho estomático, quando comparado ao C12, apresentando elevados valores de g_s (0,76 mol m⁻² s⁻¹). Já a relação da g_s com A, foi acentuadamente responsiva ao aumento na g_s, sobretudo para o C12, na talhadia (R² = 0,91), entretanto no alto fuste, apesar de maiores valores de g_s (0,6 mol m⁻² s⁻¹) ocorreu estabilização ou diminuição na assimilação, principalmente o C16 (R² = 0,68). Em relação as curvas A/C_i, não foram encontradas diferenças significativas para V_cmax, entretanto para J_{max} (185,5 mol m⁻² s⁻¹), e respiração no escuro (2,4 mg CO₂ m⁻² s⁻¹), o tratamento C16 na talhadia apresentou as maiores médias. O período chuvoso favoreceu a área foliar específica (SLA), os indivíduos no manejo por alto fuste apresentaram maior SLA (8,2 m²/kg⁻¹), e entre os clones o C16 foi superior (10,4 m²/kg⁻¹). Os manejos não influenciaram os parâmetros fisiológicos dos clones. C12 demonstrou estratégias fisiológicas mais eficientes e melhor controle estomático principalmente no ambiente seco quando comparado a C16, que apenas obteve bom desempenho com maior disponibilidade de água.

Palavras chaves: eucaliptos; parâmetros fisiológicos; talhadia; alto fuste; fisiologia foliar.

¹ Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico Forest Ecology and Management

1.1 INTRODUÇÃO

As espécies de *Eucalyptus* formam o gênero florestal mais plantado em todo o mundo com cerca de 25 milhões de hectares (FAO, 2021; MARTINS *et al.*, 2022), e desses 7,6 milhões/ha estão presentes no Brasil, transformando o país no maior produtor do gênero (IBÁ, 2023). Vários fatores no país contribuem para a alta produtividade da espécie como clima favorável, manejo, e principalmente o melhoramento genético, que promoveu a criação de híbridos interespecíficos (CUNHA *et al.*, 2020, CHEN, *et al.*, 2018). Porém, mesmo com o avanço significativo na adaptação dos clones, melhorias nas práticas de manejo, preparação do solo, fertilização e controle de pragas e doenças, a variabilidade climática ainda é o principal fator que pode influenciar diretamente a produtividade do eucalipto (GONÇALVES *et al.*, 2017; RESQUIN *et al.*, 2020).

Projeções climáticas para a América do Sul indicam que haverá mudanças significativas nos padrões de fluxo de temperatura, principalmente na parte central do Brasil que pode aumentar de 1 a 3 C°, precipitação e umidade, alterando assim, a disponibilidade hídrica na região (LLOPART *et al.* 2020; PENNA *et al.*, 2021; ALVES *et al.*, 2020; Alvares *et al.*, 2021). A escassez de água periódica ou intermitente aliado as variações de temperatura fora das condições ideais para um bom desenvolvimento, são considerados os principais fatores limitantes para produção do eucalipto (CÂMARA *et al.*, 2020; ABREU *et al.*, 2022; FREITAS *et al.*, 2017) em decorrência das diversas alterações que ocorrem nos sistemas morfológicos e principalmente fisiológicos das plantas (ELLI *et al.*, 2020; FAGUNDES *et al.*, 2021).

A abertura estomática ocorre em resposta as diferenças entre a concentração de vapor no interior da folha e a concentração de vapor na atmosfera (Déficit de Pressão de Vapor, ou DPV), e é considerado fundamental para que ocorra o processo de transpiração (E) que determina a taxa de água perdida pela folha (YAARAM *et al.*, 2019), e a regulação do movimento solo-planta-atmosfera (ZHANG *et al.*, 2018). Dessa forma, qualquer alteração que ocorre na gs (principalmente em plantas C3) resulta na limitação da taxa fotossintética, devido a diminuição na difusão de CO₂ (UBIERNA *et al.*, 2018). Essa limitação pode ocorrer devido a respostas primárias das plantas a estresses causados por fatores abióticos que provocam o fechamento dos estômatos, impedindo que o CO₂ entre nos cloroplastos (REIS *et al.*, 2021). O que

torna fundamental a análise dos principais parâmetros fisiológicos envolvidos no crescimento das árvores, sobretudo em resposta às variáveis ambientais para diferentes clones e sistemas de manejo.

Os sistemas de manejo mais comuns em plantios comerciais, como a talhadia e o alto fuste, podem apresentar respostas fisiológicas distintas em relação ao uso de água devido às suas diferentes abordagens na formação da floresta. Na condução da rebrota, as raízes já estão estabelecidas, absorvendo água nas camadas mais profundas do solo, enquanto no alto fuste, o sistema radicular se forma do início, assim como toda a planta. Essas diferenças na estruturação das raízes e na formação da floresta podem ter um impacto substancial no balanço hídrico e nas demandas hídricas das plantas em cada sistema de manejo, refletindo diretamente nos parâmetros fisiológicos. No entanto, não se tem registros até o momento, de pesquisas focados nas possíveis diferenças fisiológicas a nível foliar em manejo por alto fuste e talhadia, com diferentes clones e condições climáticas.

Diante do exposto, o objetivo do estudo foi avaliar as respostas dos principais componentes fisiológicos envolvidos nas relações hídricas de dois genótipos de *Eucalyptus*, um produtivo, e o outro tolerante a seca, sob manejo de alto fuste e talhadia em diferentes períodos climáticos. As hipóteses formuladas para esse estudo foram: (I) os clones diferem nas respostas fisiológicas em decorrência de suas características contrastantes (II); pela influência das condições climáticas do ambiente (III), e pela influência dos sistemas de manejo.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Aspectos gerais das espécies de *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* spp. pertence à família Myrtaceae que abrange mais de 700 espécies (THORNHILL *et al.*, 2019), além de diversas espécies híbridas. Nativo da Austrália, o cultivo das espécies do gênero obteve grande êxito na América do Sul, Ásia e Europa, principalmente pela a sua boa adaptabilidade a climas tropicais e subtropicais (Castro *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2016).

Do total de florestas plantadas no mundo, cerca de 19% são de espécies exóticas ou introduzidas, e destes plantios, 88% concentram-se na América do sul. O

Brasil obtém majoritariamente o domínio de florestas plantadas com espécies exóticas, com grande destaque para o cultivo das espécies do gênero *Eucalyptus* (Payn *et al.*, 2015; Pinto Júnior, 2014).

O Brasil é um dos países que mais investem na cultura do eucalipto, desde a década de 60, quando o governo incentivou o plantio em escala comercial obtendo sucesso, transformando assim o país em referência de produtividade com alta competitividade no setor florestal (Drumond *et al.*, 2016; IBÁ, 2016).

O sucesso das espécies *Eucalyptus* no país está diretamente ligada ao melhoramento genético que possibilitou as mesmas adquirirem características que favorecem a obtenção de plantios homogêneos, árvores de rápido crescimento, alta produtividade volumétrica, com diversos usos e principalmente adaptadas a diferentes regiões e climas (Pereira *et al.*, 2016).

Dados recentes que apontaram que o setor brasileiro de árvores plantadas apresentou crescimento impressionante, atingindo receita bruta setorial em 2022 de R\$260 bilhões, contribuindo com 1,3% no PIB, o que não ocorria desde 2012 (IBÁ, 2023). Os plantios são distribuídos principalmente nos estados de Minas Gerais (29%), Mato grosso (15%) e São Paulo (13%) (IBÁ, 2023).

Porém, mesmo com alta produtividade, devido à alta demanda do mercado mundial nos próximos anos, aumentos dos custos de terras de valor agrícola nas regiões sul e sudeste, será necessário aumentar as áreas plantadas para as regiões norte, nordeste e centro-oeste, que são caracterizadas por solos distróficos e com precipitações sazonais irregulares em comparação com as regiões de cultivo tradicionais (Alvares *et al.*, 2013).

Dessa forma, para que ocorra a expansão das florestas plantadas de eucaliptos para regiões com climas mais secos, é necessário a implantação de materiais genéticos superiores e adaptáveis as secas, em função do déficit hídrico ser o principal limitante em relação a produtividade (Oliveira *et al.*, 2021).

Estudos comprovam que respostas ao crescimento dos clones de *Eucalyptus* ao longo da latitude do Brasil, dependem diretamente da temperatura e a precipitação. Dessa forma, a expansão da eucaliptocultura para locais mais quentes, pode limitar o crescimento e consequentemente produtividade das árvores, porém, como as respostas dos clones são diferentes entre as espécies como também em relação ao gradiente geográfico, sendo possível então a seleção de clones que se adaptem da melhor forma em cada região (Binkley *et al.*, 2017).

Isto se torna possível, graças aos programas de melhoramento genético que possibilitou a essas espécies a capacidade de se adaptar a diferentes condições edafoclimáticas brasileiras. Neste quesito, o plantio de híbridos se destaca por apresentarem resistência a fatores bióticos e abióticos se adaptando a sazonalidade acentuada com consequentes longos períodos de secas (Gonçalves *et al.*, 2013).

Compreender a estrutura e os mecanismos fisiológicos que as árvores desenvolvem para manter a hidratação em seus tecidos e fotossíntese em resposta a condições de estresse como déficit hídrico, são fundamentais para antever a influência dos eventos climáticos futuros, sobrevivência, sequestro de carbono e principalmente o uso de água nos ecossistemas (Venegas-González *et al.*, 2018).

1.2.2 Fisiologia foliar

Uma das principais ferramentas na compreensão dos efeitos dos fatores ambientais, utilizada muitas vezes na projeção de cenários futuros e construção de modelos de vegetação em relação as plantas é a fisiologia à nível foliar (Fauset *et al.*, 2019), principalmente na avaliação da fotossíntese, que é considerada a base do desenvolvimento das culturas e se inicia com a entrada de luz solar desencadeando todo o processo de trocas gasosas nas folhas por meio dos estômatos (Makino, 2010).

Em nível de fisiologia foliar, um dos métodos utilizados para análise é baseado na medição de trocas gasosas, através da relação da taxa de assimilação líquida de CO₂ à concentração interna intercelular (C_i), baseados em estimativas de parâmetros como V_{cmax}, J_{max}, TPU, g_i, R_d (Wullschleger, 1993; Gu *et al.*, 2010). A assimilação líquida (A) é limitada por dois fatores primários: a limitação da Rubisco que é determinada pela resposta da taxa máxima de carboxilação (V_{cmax}) e o segundo fator sendo a limitação da luz provocada pela taxa de transporte de elétrons (J_{max}) (Farquhar *et al.*, 1980).

Por ser sensível a fatores de estresses ambientais, o modelo fotossintético desenvolvido por Farquhar-von e Caemmerer-Berry, (FvCB) permite prever a absorção de CO₂ sob diversas condições ambientais no sentido de quantificar as propriedades bioquímicas. O déficit hídrico, e elevadas temperaturas podem diminuir a eficiência da fotossíntese devido as limitações de regeneração da Rubisco (Farquhar *et al.*, 1980; Zhou *et al.*, 2014).

Outro fator de fundamental importância juntamente com a fotossíntese no controle das trocas gasosas, água e energia entre a superfície terrestre e a atmosfera é a condutância estomática (g_s), que é realizada pelos os estômatos que são pequenos poros na superfície das folhas e hastes em formato de halteres em monocotiledôneas, que são capazes de regular a quantidade de CO_2 que entra nas folhas e perda de água para atmosfera (Friedlingstein *et al.*, 2020; Lawson; Matthews, 2020).

A água perdida durante o processo de fotossíntese, através da abertura estomática ocorre devido a ação do continuo solo-planta-atmosfera. Dessa forma, quando a planta consegue manter a coluna de água do solo para seus tecidos condutores em períodos de seca, pode ser um fator fundamental na tolerância e sobrevivência (Conti Júnior *et al.*, 2020).

Porém, em alguns casos, os fatores abióticos podem influenciar a g_s de forma positiva, otimizando as trocas gasosas, através de alterações no desenvolvimento e abertura estomático quando as plantas precisam adaptar-se a mudanças no ambiente (Gao *et al.*, 2016; Casson; Hetherington, 2010).

Outra maneira que os fatores abióticos podem ser refletidos é através do déficit de pressão de vapor da folha-ar (VPDL), com base na avaliação da temperatura da folha e não do ar (Furtak; Nosalewicz, 2022), dessa forma, quando ocorre um aumento no DPV, e conseqüentemente no VPDL, afeta diretamente as condições fisiológicas, com a transpiração aumentando à medida que o VPDL eleva-se (Grossiord *et al.*, 2020).

A regulação estomática é um ponto fundamental para equilibrar o uso de água e ao mesmo tempo otimizar o crescimento e a sobrevivência das espécies (Lamoureux *et al.*, 2018).

Estas relações entre a condutância estomática, vapor de d'água, fotossíntese e as condições ambientais sobre a superfície da folha, como a concentração de CO_2 , umidade relativa (UR) e VPDL podem ser descritas em diversas abordagens e modelos (Bucley; Mott, 2013). O modelo Medlyn (MED), considera o g_s como uma função da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), juntamente com a concentração de CO_2 atmosférico (C_a) e o déficit de pressão de vapor na superfície da folha (D_s) (Medlyn *et al.*, 2011).

A variação no comportamento estomático em decorrência de alterações nestes fatores é captada através de um parâmetro de inclinação (g_1) que reflete a

sensibilidade de g_s em relação a A e as condições ambientais na superfície da folha, e outro de interceptação (g_0), que corresponde ao valor da g_s quando A é igual a zero (Ding *et al.*, 2022; Lamour *et al.*, 2022).

Em condições de escassez de água, aliada a taxas de DPV superiores a 2kPa, provocado pelas alterações climáticas, intensificarão acentuadamente o estresse fisiológico das plantas futuramente, elevando a perda de água, e por consequência a diminuição da taxa de fixação de carbono (Anderegg *et al.*, 2015; Mcdow-ell; allen, 2015).

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

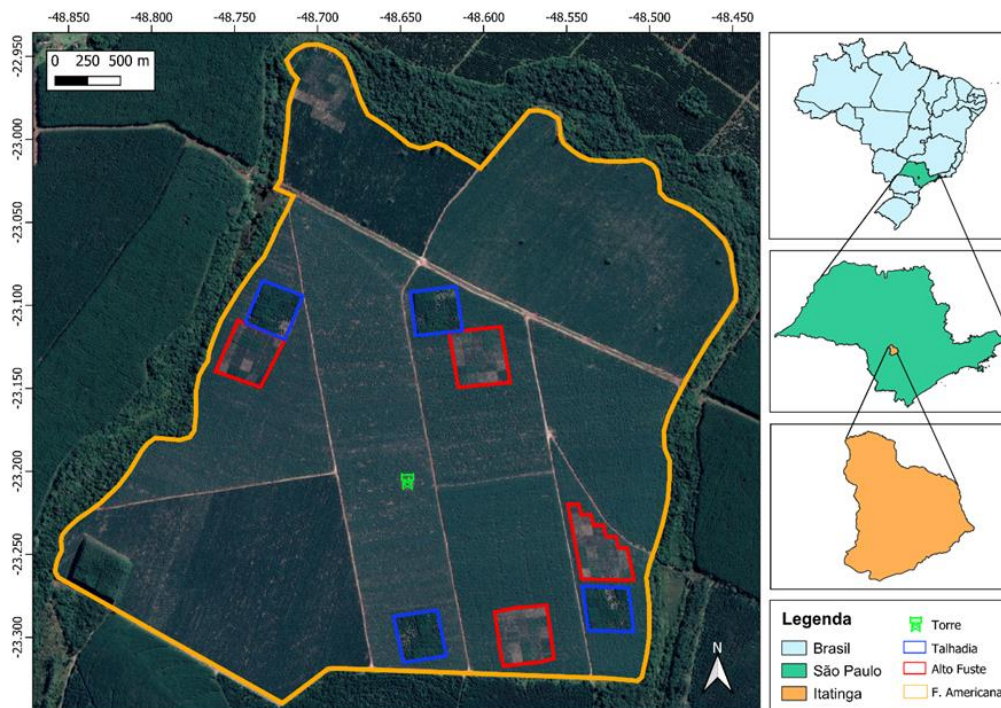
1.3.1 Caracterização da área experimental

Este estudo foi conduzido em parceria com o Programa Cooperativo sobre Produtividade e Fluxos de Carbono e Água em Eucalyptus (EUCFLUX), pertencente ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) em parceria com o Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agrônômica para o Desenvolvimento (CIRAD). A área experimental está localizada na Fazenda Americana em Itatinga - SP (22° 58' 04" S, 48° 43' 40" O) (Figura 1). O clima da região é do tipo Cwa, úmido e quente, com invernos secos, com temperatura média anual de 19,4° C. Já a precipitação média anual é de 1319 mm concentrada nos meses de janeiro e fevereiro (ALVARES *et al.*, 2013).

As parcelas do alto fuste foram implantadas em novembro de 2018, e a condução da talhadia 5 meses antes, em junho do mesmo ano, com manejo comercial de um fuste por cepa, porém em algumas parcelas foram deixados dois fustes por cepa compensar possíveis falhas e mortalidades.

A implantação e condução foram realizadas empregando materiais genéticos comercialmente plantados por empresas do setor florestal (cooperadas com o Eucflux), os quais foram cultivados em manejo de alto fuste (AF) e talhadia (T) em 8 blocos, sendo 4 para cada sistema de manejo (Figura 1).

Figura 1 — Localização da área experimental e distribuição dos blocos

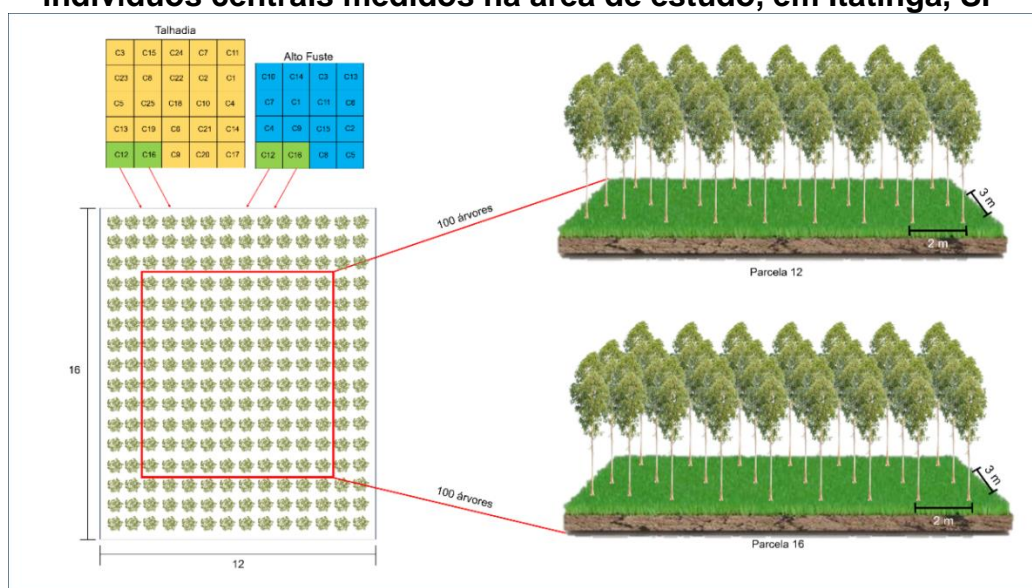


Roberta Patrícia de Sousa Silva - 2024

As medições ocorreram em todos os blocos entre 2021 e 2022, com os clones na talhadia entre 2,8 e 3,6 anos na talhadia e entre 2,5 e 3,2 anos no alto fuste. As parcelas são compostas por 12 linhas de 16 árvores em espaçamento 3x2, totalizando 192 indivíduos. Porém a área de medição considerada útil é formada por 10 linhas com 10 plantas, totalizando 100 indivíduos centrais, e o restante é considerado borda (Figura 2).

Dentre os materiais genéticos cultivados, selecionamos os clones C12 (*Eucalyptus urophylla* sp.), por retratar uma das espécies mais plantadas no país, devido a sua boa produtividade e plasticidade aos mais variados ambientes, e o C16 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus calmadulensis*), que é geralmente implantado em áreas mais secas, já que o mesmo possui boa resistência a estes ambientes.

Figura 2 — Croqui da área experimental com as parcelas 12 e 16 nos manejos por alto fuste e talhadia, com destaque para representação espacial dos 100 indivíduos centrais medidos na área de estudo, em Itatinga, SP



Roberta Patrícia de Sousa Silva - 2024

1.3.2 Medição de variáveis fisiológicas e Potencial hídrico

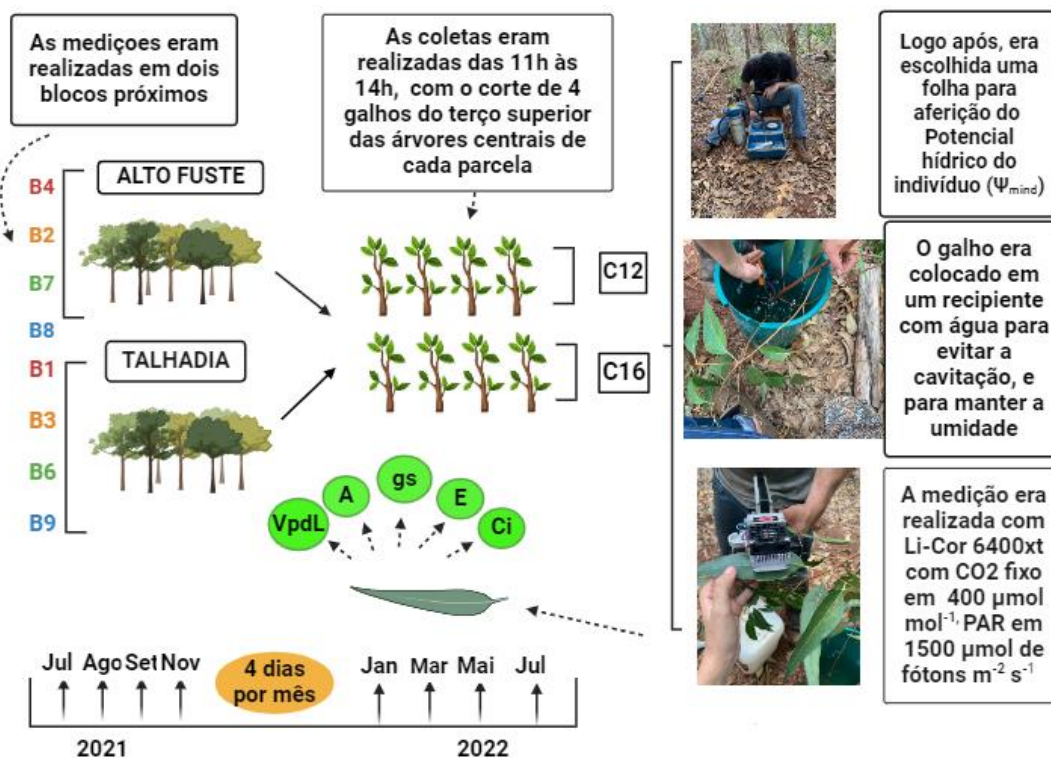
As campanhas para avaliar a Assimilação líquida sob luz saturante (A_{sat}) e o potencial hídrico antemanhã (Ψ_{pdwn}) e ao meio dia (Ψ_{mind}) das árvores foram realizadas no ano de 2021 (julho, agosto, setembro, novembro) e 2022 (janeiro, março, maio, julho) nos 4 blocos manejados por talhadia e nos 4 por alto fuste. Sendo que, ao final, foram obtidas 64 medições (4 folhas x 2 clones x 2 manejos x 4 blocos) para cada variável em cada mês. O potencial hídrico foi obtido utilizando a câmara de pressão (Model 600, PMS Instrument Company, Albany- Or, USA) de acordo com o método descrito por Scholander et al. (1995), em dois momentos no dia.

A primeira medição (Ψ_{pdwn}) era realizada entre 4:00 e 7:00h, quando o potencial foliar se equilibra com o potencial do solo variando de acordo com o nascer do sol nas diferentes épocas do ano. E a segunda medição era realizada próximo ao meio dia (Ψ_{mind}).

Já as medições de assimilação líquida de CO_2 (A_{sat}), condutância estomática (gs) e déficit de pressão de vapor da folha ($VPDL$), bem como os demais parâmetros foram realizadas utilizando-se o aparelho Li-Cor 6400xt (Li-Cor Biosciences, Inc., Lincoln, NE), com concentração de CO_2 em $400 \mu mol mol^{-1}$ com PAR (fótons fotossinteticamente ativos) em $1500 \mu mol$ de fótons $m^{-2} s^{-1}$ pré-fixados no próprio

aparelho, este último com o objetivo de simular o máximo de luminosidade que ocorria no dossel no momento que o galho era destacado da árvore. É válido ressaltar que, as medições eram realizadas entre 11:00 e 14:00 horas na parte central das folhas intactas e totalmente expandidas, sem sinais de doenças ou de senescência em folhas de galhos destacados das regiões centrais da copa das árvores. Já a umidade relativa do ar, temperatura da folha e do ar como os demais parâmetros foram determinados pelo IRGA (Infra Red Gas Analyzer ou Analisador de Gases por Infravermelho) modelo Li-Cor 6400xt nas condições reais de campo (Figura 3).

Figura 3 — Esquema demonstrativo das medições mensais nos clones 12 e 16 nos blocos por talhadia e alto fuste



Roberta Patrícia de Sousa Silva - 2024

1.3.3 Curvas A/Ci

Entre fevereiro e março de 2022, após o período chuvoso, foram realizadas coletas na área para construção das curvas A/Ci (assimilação (A), em relação a concentração intracelular de CO_2 (Ci) para os clones em estudo. Ao total, foram realizadas 40 medições (5 galhos x 2 clones x 2 manejos x 2 blocos) para construção

das curvas A/C_i , sendo 20 do C12 (10 na talhadia e 10 no alto fuste) e 20 do C16 (10 na talhadia e 10 no alto fuste).

A amostragem iniciava-se com a coleta de 5 galhos de árvores centrais de cada clone a partir das 7:00h, onde logo após serem destacados das árvores, os mesmos eram acondicionados em recipientes com água e as folhas em sacos plásticos com papel umedecido imediatamente vedados para tentar manter o máximo possível o fluxo de água e a umidade durante o transporte para o laboratório da FCA/UNESP para início das análises.

No mesmo dia no laboratório, as análises eram realizadas nas condições do ambiente entre 9:00 e 12:00, com umidade próximo ou acima de 50%, com para evitar as perdas pela limitação de abertura dos estômatos. Foram selecionadas uma folha por galho intacta, totalmente expandida, sem sinais de doenças ou senescência para realização das leituras utilizando o Li-Cor 6400xt. O protocolo utilizado consistiu em: induzir a fotossíntese sob concentração ambiente ($400 \mu\text{mol mol}^{-1}$) até haver a estabilização, para garantir a ativação da Rubisco, e logo depois o valor era gravado.

Posteriormente, a C_a (Concentração de CO_2 fora da folha), foi sendo reduzida no aparelho até se tornar constante, onde era novamente gravada até o processo ser repetido para todas as concentrações. Já a resposta de A à concentração de CO_2 no mesofilo foliar (curvas A/C_i), foi obtida utilizando injeção de diferentes concentrações de CO_2 na câmara. As medições foram realizadas em sete diferentes níveis (400-300-250-200-150-100-75-50-400-600-800-1000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$).

Para análise dos parâmetros das curvas A/C_i , a temperatura foi ajustada para 25°C , para padronizar possíveis diferenças entre clones e manejos. Foram estimadas a taxa máxima de carboxilação da Rubisco ($V_{C_{max}}$), a taxa de máxima de transporte de elétrons (J_{max}), Respiração no escuro (R_d), condutância do mesofilo (g_m) utilizando o modelo bioquímico descrito por Farquhar; Caemmerer e Berry (1980).

1.3.4 Respostas da condutância estomática ao DPV

Em posse dos valores de condutância estomática (g_s) e do déficit de pressão de vapor da folha (VPDL) obtidos na medição do A_{sat} entre 11:00 e 14:00 horas, foram construídas também curvas de relação linear para analisar a relação de influência de um parâmetro sobre outro. Devido ao seu papel fundamental nas relações hídricas, a g_s ainda foi acoplada ao modelo de condutância estomática USO (Unified Stomatal

Optimization Model), desenvolvido por Medlyn et al. (2011), que postula que os estômatos devem agir para maximizar o ganho de carbono (A) e minimizar a perda de água (E).

Logo, um alto valor de inclinação (g_1) indica que a g_s aumenta para atender a demanda fotossintética, dessa forma, quanto maior a inclinação, menor eficiência intrínseca de uso de água (EUA_i) (WU et al., 2019). Assim, o parâmetro g_1 foi estimado a partir dos dados das trocas gasosas que descreve a relação da g_s , com as variáveis ambientais (equação 1).

$$g_s \approx 1.6 \left(1 + \frac{g_1}{\sqrt{D}} \right) \frac{A}{c_a} + g_0 \quad (1)$$

onde: A = taxa de assimilação de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); C_a = Concentração de CO_2 na superfície da folha ($\mu\text{mol m}^{-1}$); D = Déficit de pressão de vapor na superfície da folha (KPa) e g_1 = Parâmetro do modelo que representa a planta em condições normais de eficiência intrínseca no uso de água (WUE) ($\text{KPa}^{0.5}$).

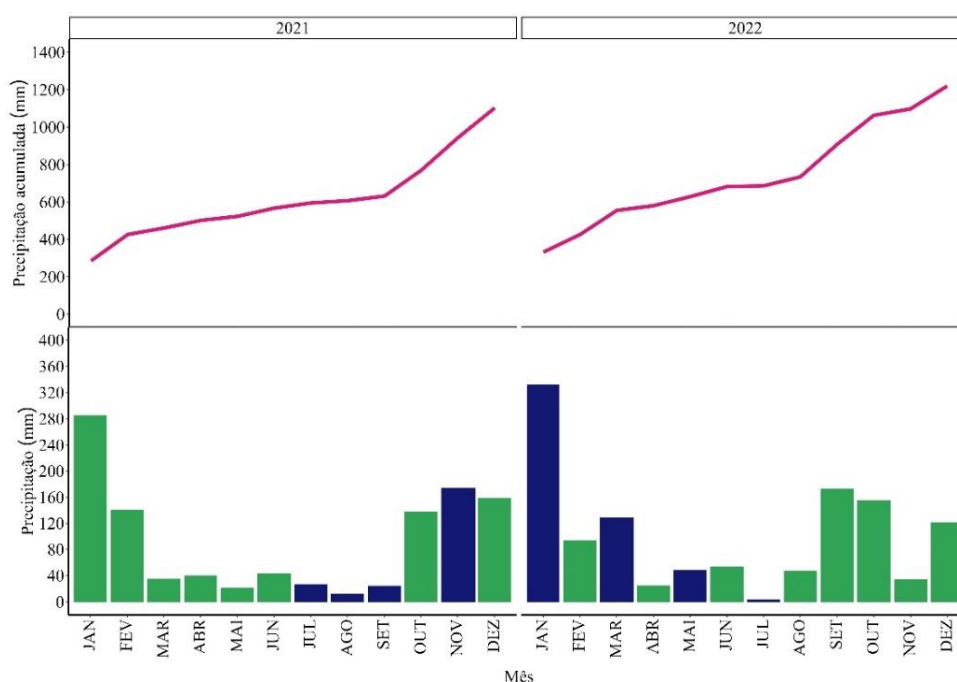
1.3.5 Área foliar específica

Durante as coletas de galhos para medições de potencial hídricos, algumas folhas foram acondicionadas em sacos plásticos vedados, identificados e posteriormente colocadas em recipiente com gelo, até chegarem ao laboratório, onde eram imediatamente colocadas sob refrigeração para retardar o máximo possível a perda de umidade durante o processamento. Posteriormente foi realizado a pesagem do material fresco (FW), logo após as folhas eram digitalizadas em scanner de mesa, e para finalizar foram colocadas em sacos de papel para obtenção do peso seco (DW) em estufa à 65°C . A área foliar (cm^2) foi estimada usando o pacote LeafArea do software R através das folhas escaneadas, enquanto que a área foliar específica (SLA), foi calculada transformando primeiramente a área foliar de cm^2 para m^2 ($AF/10.000$), e o peso seco em g, para Kg ($g/1000$).

1.3.6 Caracterização climática e Conteúdo de água no solo

Os dados meteorológicos foram coletados, em intervalos de 30 minutos, durante o período de medições, a partir de uma estação climatológica instalada na área de estudo. As variáveis obtidas foram: temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação pluviométrica (mm). Um sistema de aquisição de dados foi usado para facilitar a aquisição dos parâmetros (datalogger CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA). Já o déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado a partir das informações de umidade relativa do ar e temperatura média, conforme descrito por Allen et al., (1998). Os maiores valores de precipitação foram obtidos nos meses de dezembro e janeiro, com precipitação mensal superior a 122 mm, enquanto que, os meses de mais secos são julho e agosto com precipitação inferior a 48 mm. Além do mais, a precipitação acumulada para o ano de 2022 (1219,5 mm) foi superior a encontrada para o ano de 2021 (1102,7 mm) (Figura 4).

Figura 4 — Valores médios mensais de precipitação e precipitação acumulada (mm) da área estudada com destaque para os meses de medição (azul), localizada na fazenda americana, Itatinga,SP, nos anos des 2021 e 2022

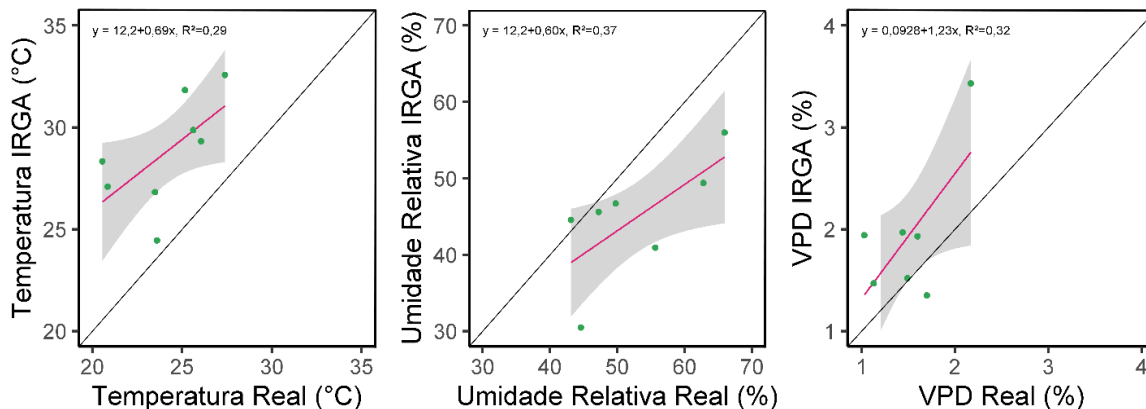


Roberta Patrícia de Sousa Silva - 2024

Em posse dos dados reais foram realizadas também correlações entre temperatura, umidade relativa, e DPV que foram medidas no IRGA (Li-Cor 6400), com as condições reais dos respectivos parâmetros medidos pela torre de monitoramento

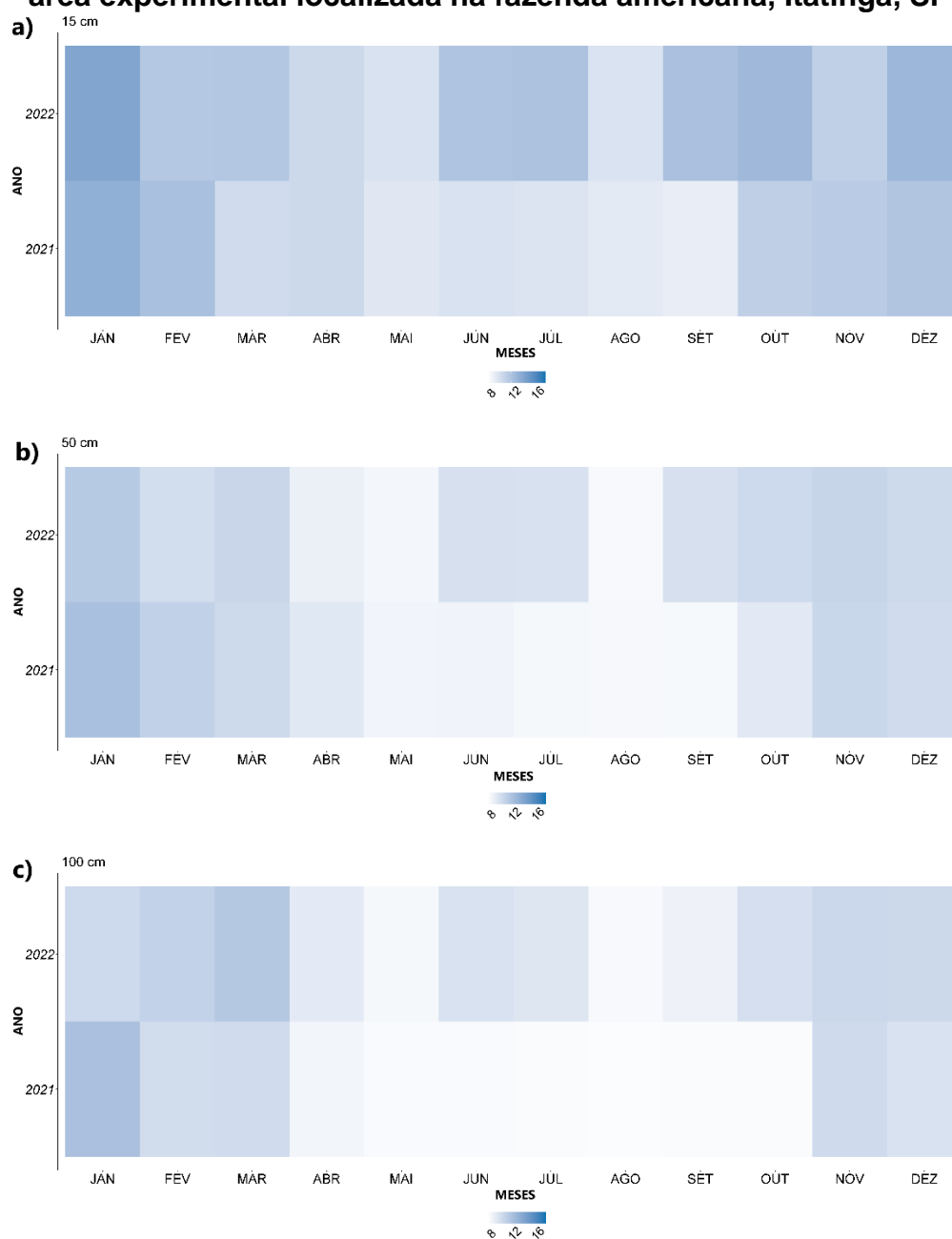
climático presente na área experimental (Figura 5). Verificou-se maior tendência de superestimação e subestimação dos fatores climáticos medidos em campo pelo IRGA, em comparação a real medidos pela torre de monitoramento climático presente na área. A temperatura, exibiu baixa correlação ($r^2 = 0,29$) e superestimou em média 5°C em relação a real (Figura 5a). A umidade relativa apresentou maior correlação ($r^2 = 0,37$), entre as medições de irga e real, porém observou-se uma subestimação de 11% também em média nos valores medidos pelo irga (Figura 11b). O DPV exibiu um coeficiente de determinação de $r^2 = 0,32$, e comportamento semelhante a temperatura, com as medições do irga superestimando em 0,6 KPa os valores de DPV em relação ao real (Figura 5c).

Figura 5 — Correlação entre a temperatura (a), Umidade relativa (b), e o Déficit de pressão de vapor (VPD), (c), medidos no IRGA, e os valores reais medidos nos mesmos horários na área de estudo em Itatinga, SP



O conteúdo de água no solo da área foi medido nos anos de coletas em intervalos de meia em meia hora com sondas TDRs Campbell modelo CS616 instaladas à 0.15, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 metros de profundidade, contando com 5 sondas nas três primeiras profundidades, e 3 para as demais. Foram calculados o somatório mensal, e expressos em porcentagem de água no solo para as primeiras profundidades (0.15, 0.5, e 1 m), por se tratar de camadas mais susceptíveis as variações durante o ano. Observa-se que ambos os anos foram secos, porém 2021 obteve menor porcentagem média de água nas três camadas observadas, na maioria dos meses de medição (julho a setembro). Em 2022, os meses de medição (janeiro, março, maio, julho) apresentaram maiores teores de água nas três camadas, por se tratar do período de maior precipitação na região (Figuras 6a, 6b, 6c).

Figura 6 — Heatmap dos teores médios mensais de água no solo (%) nos anos de medição (2021 e 2022) nas camadas de 15 cm (a), 50 cm (b) e 100 cm (c), na área experimental localizada na fazenda americana, Itatinga, SP



1.3.7 Biomassa do fuste dos clones nos manejos

A biomassa do fuste para os clones e manejos foi determinada com base em inventários realizados entre 1 e 5 anos em parcelas de 100 indivíduos com espaçamento 3 x 2 m (600 m²). Para a modelagem da biomassa foram selecionados inventários nas idades na talhadia de 2,9 anos e para o alto fuste 3,3 anos para o

ajuste dos parâmetros (Tabela 1) os quais foram desenvolvidos através de medições em 6 árvores para cada clone no alto fuste e 8 na talhadia.

A estimativa de biomassa do fuste por tratamento foi obtida através dos respectivos parâmetros β_0 e β_1 anteriormente calculados (Tabela 1) para cada clone e manejo através do modelo:

$$\text{Biomassa do fuste} \sim \beta_0 \times \text{DAP}^{\beta_1} \quad (2)$$

Tabela 1 – Parâmetros do modelo de biomassa de fuste ajustado para os clones 12 e 16 nos manejos de alto fuste e talhadia

Clones/manejos	β_0	β_1	R ² ajustado
C12 alto fuste	0,175265	2,158629	0,89
C16 alto fuste	0,230392	2,015423	0,98
C12 Talhadia	0,058865	2,644065	0,95
C16 Talhadia	0,059538	2,672315	0,98

Posteriormente, realizou-se a soma da biomassa do fuste de todos os indivíduos, para em seguida serem divididos pela área (600 m²), para extrapolação por hectare. Logo depois a biomassa em Kg foi transformada em Mg dividindo os valores por 1000, para obtenção das médias acumulada para cada tratamento e idade.

1.3.8 Delineamento e análise experimental

Os dados foram analisados seguindo delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2 (2 clones x 2 manejos), para verificar se haviam possíveis interações clone/manejo em relação aos parâmetros fisiológicos A, gs, E, Ci, pdwn e mind. Após as análises estatísticas constatou-se que não houveram interações significativas com base no teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

Os clones nos manejos foram submetidos a uma análise de componentes principais (PCA) para avaliar as relações de influência entre as variáveis fisiológicas e climáticas, como também possíveis similaridades entre clones/manejos por meio de dispersão gráfica.

Para analisar a relação da condutância estomática (gs) com o déficit de pressão de vapor da folha (VPDL), para cada clone nos respectivos manejos, foram utilizados modelos lineares (LM), ajustados com uma função exponencial negativa, ou seja, à medida que o valor de VPDL aumenta, o valor de gs diminui exponencialmente. De forma semelhante, foram utilizados modelos lineares para verificar a relação da assimilação líquida de CO₂ (A), com a condutância estomática (gs), ajustados com uma função logarítmica para explorar mudanças em gs associadas a mudanças proporcionais em A.

Ainda foram calculados os parâmetros de inclinação (g1) do modelo unificado de otimização estomática (USO), desenvolvido por Medlyn *et al.* (2011) para analisar o comportamento estomático entre genótipos e manejos em relação a eficiência e uso de água intrínseca (EUAi). O modelo foi ajustado utilizando a função “fitBB” do pacote plantecophys do software R, que fornece uma interface para regressão não linear ou linear.

Para a análise das curvas de respostas da fotossíntese às concentrações de CO₂ (A/Ci), utilizou-se o modelo de fotossíntese Farquhar, Caemmerer e Berry (1980), o qual se baseia nos aspectos bioquímicos que influenciam nas trocas gasosas em plantas. Para utilizar o modelo foram realizadas observações em relação a fotossíntese líquida em diferentes concentrações de [CO₂], e para manipulação dos dados da curva foi utilizado o pacote *Plantecophys* do software R, através da função “fitaci” que ajusta o modelo FvCB, plota e simula as curvas de resposta, gerando estimativas dos fatores limitantes V_{cmax}, J_{max} e R_d e o erro padrão (BALL, BERRY, 1987; COWAN, FARQUHAR, 1977).

As equações que descrevem o modelo seguem abaixo:

$$A_n = \min(A_c, A_j) - R_d \quad (3)$$

$$A_c = V_{cMAX} \frac{C_i - \Gamma^*}{C_i + K_c \left(1 + \frac{\theta_i}{K_0}\right)} \quad (4)$$

$$A_j = J \frac{C_i - \Gamma^*}{4(C_i + 2\Gamma^*)} \quad (5)$$

Em que:

A_c e A_j ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): Taxa de assimilação limitada pela atividade da Rubisco e pelo transporte de elétrons (regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato, RuBP) respectivamente

R_d ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): Respiração mitocondrial sob condição de iluminação

V_{cMAX} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): Atividade catalítica máxima da Rubisco

C_i e O_i : concentrações de CO_2 e O_2 no espaço intercelular respectivamente ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)

Γ^* : Ponto de compensação de CO_2 na ausência de respiração mitocondrial

K_c e K_o : São os coeficientes de Michaelis-Menten para CO_2 e O_2 , respectivamente ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)

J ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): taxa potencial de transporte de elétrons, relacionada à densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa incidente (Q) por:

$$\theta J^2 - (\alpha Q + J_{MAX}) J + \alpha Q J_{MAX} = 0 \quad (6)$$

Em que:

J_{MAX} : Taxa potencial de transporte de elétrons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

θ : Curvatura da curva de resposta à luz (sem unidade);

α : rendimento quântico do transporte de elétrons $\text{mol e}^- \text{mol}^{-1}$.

Os parâmetros extraídos das curvas A- C_i , e os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $P=0,05$) e quando necessário as médias foram posteriormente comparadas com o teste de Tukey utilizando o pacote ExpDes.pt do software R, com nível de significância 0,05 em todos os testes.

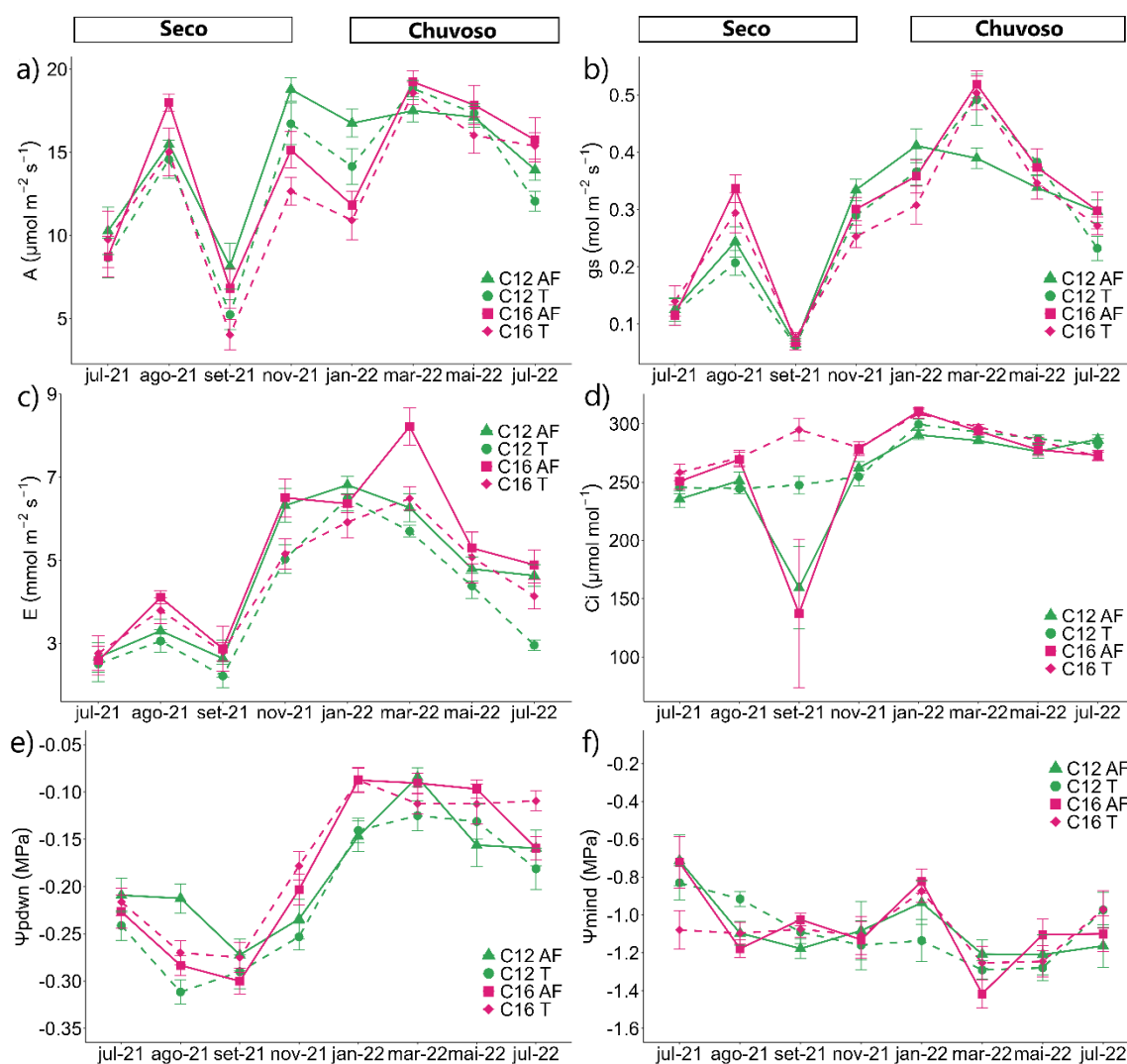
Por fim, para verificou-se a relação linear dos parâmetros climáticos: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (UR), e déficit de pressão de vapor (DPV) medidos no Irga, com os dados reais da área monitorados pela torre, para identificar possíveis desvios dessa relação e avaliar a precisão do IRGA em estimar os dados reais.

1.4 RESULTADOS

O C12 + Alto fuste foi mais responsivo para fotossíntese no ano de 2021 no mês de setembro em condições de elevadas temperaturas (33°C) e DPV (3,8 KPa), como também no mês de novembro, com as maiores taxas do período para A (18,8

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e g_s ($0,33 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 7a e 7b), com os clones tendo 2,5 anos de idade. Nos meses de 2022, no período chuvoso e pós-chuvoso, com o aumento das chuvas e maior disponibilidade de água (Figura 4 e 6), verifica-se que houve aumento nos parâmetros fisiológicos dos clones nos manejos, principalmente entre janeiro e março).

Figura 7 — Comportamento ao longo dos meses para taxa líquida de assimilação de CO_2 (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (a), condutância estomática ($g_s \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (b), Transpiração (E $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (c), Concentração interna de CO_2 (Ci $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (d), ψ_{pdwn} (MPa) (Potencial hídrico antemanhã), (e), ψ_{mind} (MPa) (Potencial hídrico do mínimo do meio dia) (f) para os clones C12 e C16 nos manejos por alto fuste (C12 AF; C16 AF), e talhadia (C12 T; C16 T) no período seco, e período chuvoso)



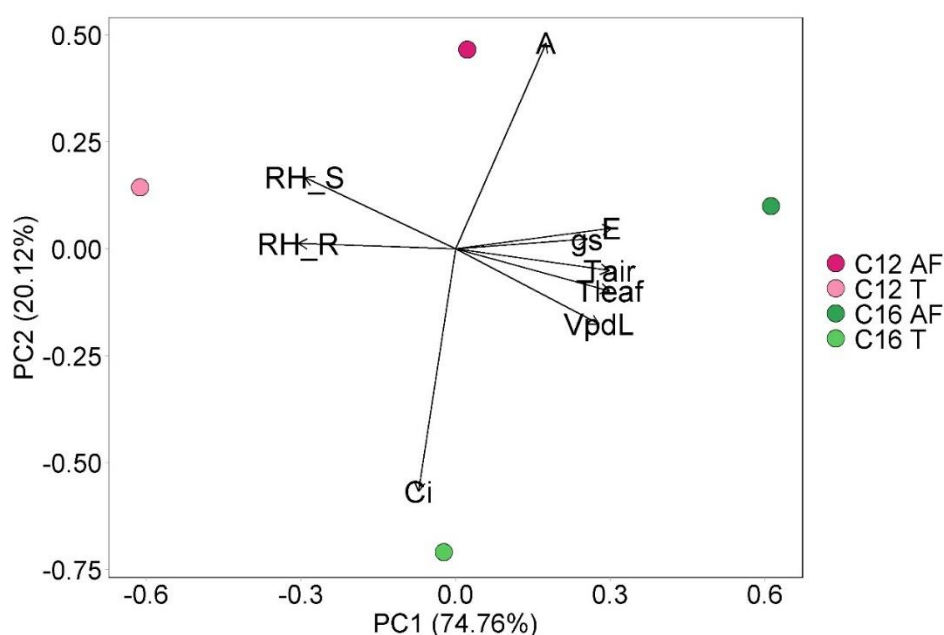
O período de 2021, apresentou baixa precipitação ao longo do ano (Figura 4), principalmente no mês de setembro, onde houve redução drásticas em todos os tratamentos clone + manejo, em relação a A, gs, E, Ci e ψ_{pdwn} (Figura 7) que atingiu o ponto mais negativo (-0,3 MPa), e portanto, menor nível de água foliar (Figura 7e).

Os tratamentos obtiveram seus picos no período chuvoso, com destaque para o tratamento C16+AF no mês de março, aos 3,4 anos com A ($19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), gs ($0,52 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), E ($8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci ($310 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) além do maior potencial hídrico mínimo do meio dia, ou seja, menos negativo, independente do manejo (Figura 7f).

Além do mais, O C12 foi responsivo ao período de diminuição da precipitação, entre fevereiro e março (Figura 4), estagnando A e diminuindo a gs (Figuras 7a, 7b) já o C16, obteve alta em todos os parâmetros no período chuvoso e pós chuvoso (Figura 7).

Foi realizada também uma análise multivariada para identificar relações lineares entre os tratamentos e as variáveis climáticas através da aplicação de uma análise de Componentes principais (PCA), onde os pontos representam os tratamentos (clone+manejo), e os vetores os respectivos parâmetros. A PC1 explicou 74,76% da variação total dos dados, e PC2 20,12%, e juntos 94,88%. Pela proximidade nos quadrantes, houve similaridades entre os tratamentos C12 +AF e C12+T, C12 + AF e C16+ AF, já o C16 + T demonstrou maior dissimilaridade com todos os demais tratamentos (Figura 8).

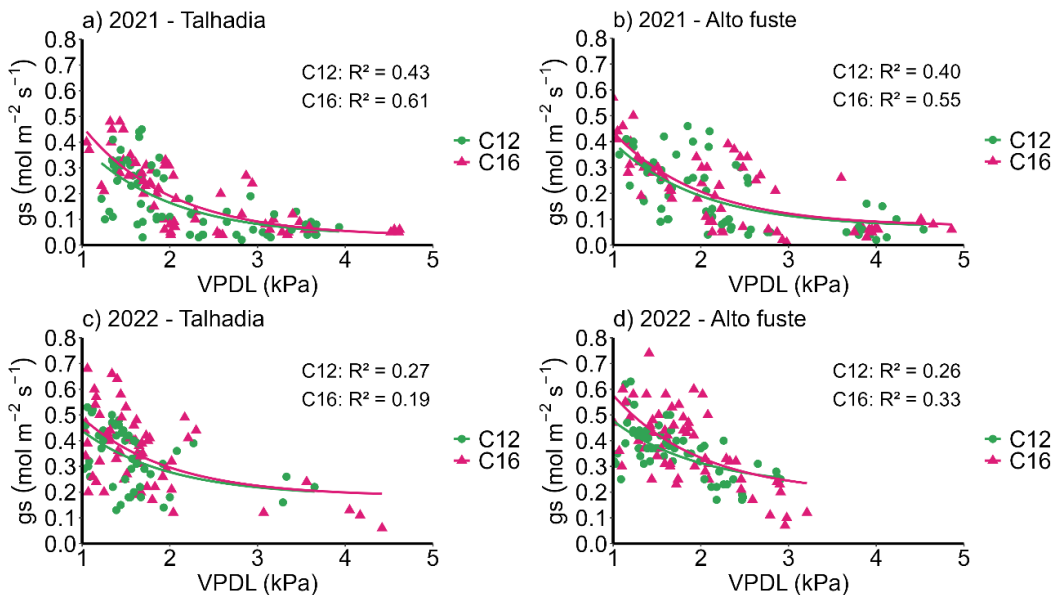
Figura 8 — Análise multivariada de componentes principais (PCA), dos clones C12 e C16 nos manejos AF (Alto fuste) e T (T) relacionando as variáveis fisiológicas como Assimilação Líquida de CO₂ (A), condutância estomática (gs), temperatura da folha (Tleaf), Déficit de pressão de vapor da folha (VpdL), Concentração intercelular de CO₂ (Ci), Transpiração (E) com as climáticas como temperatura do ar (Tair), umidade relativa do ar (RH_R) e umidade relativa da amostra ou folha (RH_S)



Em relação aos parâmetros, observa-se que o tratamento C16+AF obteve maior correlação com: Tr, gs, Tair, CTleaf e VpdL, e que devido à proximidade entre os vetores (0°) qualquer aumento ou diminuição em um deles, influencia diretamente os demais parâmetros como também o clone. Ainda em relação a esse tratamento, verifica-se que houve correlação negativa com a umidade relativa do ar (RH_R) e da amostra (RH_S) (Figura 8a). Além do mais O C12+AF apresentou elevada correlação com a A, e de forma moderada com os demais parâmetros estudados exceto o Ci, que por sua vez, obteve elevada correlação com o tratamento C16+T e de forma moderada com Tr, gs, Tair, CTleaf e VpdL (Figura 8a).

Para compreender melhor a ação do Déficit de pressão de vapor na folha (VPDL) e na abertura e fechamento estomático dos clones, foram construídas curvas relacionando gs-VPDL (Figura 8), para os clones nos manejos por alto fuste e talhadia nos meses secos e chuvosos. Na talhadia e alto fuste/21, (período seco e medições entre 11:00 às 14:00 hs) a partir da faixa de VPDL entre 2-3 kPa a gs reduz acentuadamente entre os clones e manejos (Figuras 9a e 9b).

Figura 9 — Correlação entre a condutância estomática (gs) e o déficit de pressão de vapor da folha (VPDL) nos clones 12 e 16 nos sistemas de manejo por talhadia (a) e alto fuste (b) no ano de 2021 (período seco), e no ano de 2022 (período chuvoso), talhadia (c), e alto fuste (d)



O C16 na talhadia/21 apresentou maior correlação ($r^2 = 61$) para as variáveis relacionadas, quando comparado ao C12 ($r^2 = 43$). Em condições de baixo efeito do VPDL (1-2 kPa) demonstrou maior capacidade estomática, porém entre 2-4 kPa, o C16 foi mais sensível ao aumento no VPDL nessas condições (Figura 9a). No alto fuste/21 o C16 se comportou de forma semelhante ($r^2 = 55$), sendo mais responsivo as variações em VPDL, porém, diferente da talhadia na faixa entre 2-3 kPa, os clones conseguiram manter a gs estável, principalmente o C16 (Figura 9b). No ano de 2022 (período chuvoso) as respostas dos clones foram distintas em relação a 2021. Observa-se que não houve efeito de elevados valores de VPDL, favorecendo assim maior capacidade e estabilidade na gs dos clones, (Figuras 9c e 9d).

Sem a ação de altas taxas de VPDL, o C16 apresentou melhor desempenho estomático, quando comparado ao C12, apresentando elevados valores de gs (0,76 mol m⁻² s⁻¹) (Figuras 9c e 9d).

Ainda em relação a condutância estomática, também foram gerados parâmetros de inclinação (g1) para os clones nos manejos, que é um indicador da eficiência intrínseca de uso de água (EiUA), e estabelece que quanto maior a inclinação, menor a EiUA (tabela 2). Observa-se que apesar da elevada correlação, e boa adequação do modelo para os clones nos manejos, com baixos valores de erro e

RSME, não houve diferenças significativas entres os tratamentos ($p>0,05$) (Tabela 2). Entretanto, se verifica que o parâmetro de inclinação (g_1) do C16 apresentou maior tendência de inclinação quando comparado ao C12, o que pode indicar diferenças na eficiência intrínseca de uso de água entre os clones.

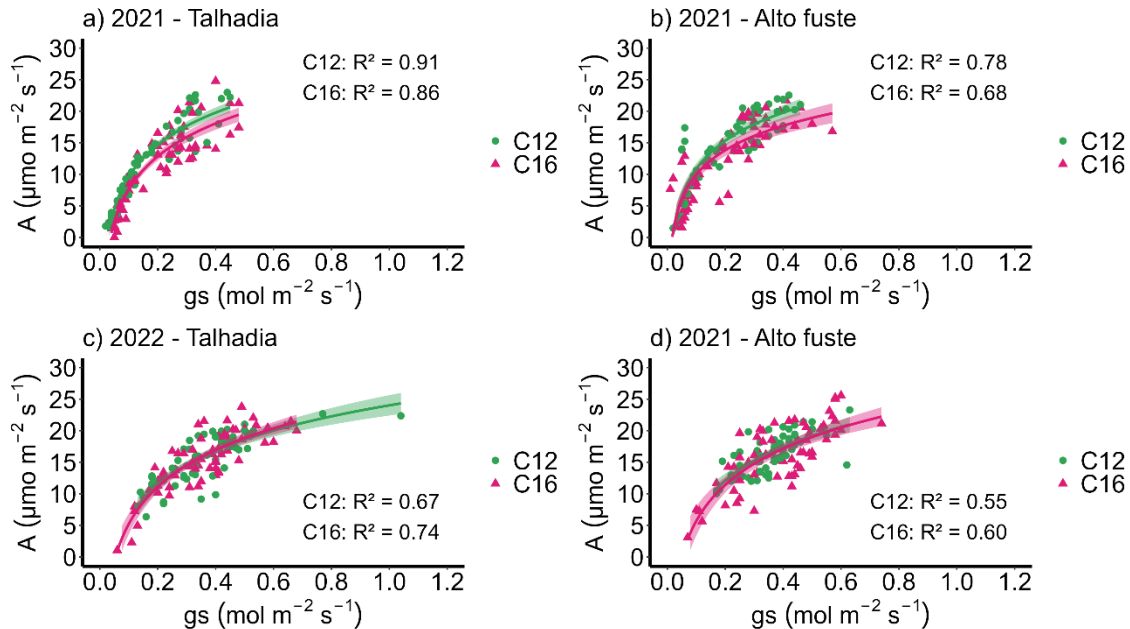
Tabela 2 — Médias dos parâmetros g_1 , p-value, Erro Padrão, coeficiente de determinação (R^2), e a Raiz Quadrada do erro Médio (RMSE), gerados através do modelo estomático (MED) para os clones 12 e 16 manejados por talhadia e alto fuste.

Manejo	Clones	g_1	p-value	Erro padrão	R^2	RMSE
talhadia	C12	4.66	0,33754	0,12	0,79	0,07
talhadia	C16	5.05		0,13	0,79	0,07
auto fuste	C16	5.03		0,15	0,71	0,08
auto fuste	C12	4.52		0,12	0,75	0,07

Quando o $P>0,05$ não existe diferenças significativas entre as medias segundo o teste F

Ainda sobre parâmetros ligados ao balanço hídrico das plantas, como a EUIA, a figura 9, mostra as respostas da A em relação a g_s dos clones C12 e C16 nos manejos de talhadia e alto fuste no ano de 2021 e 2022. Independente de manejo em 2021, período seco, a A dos clones, foi acentuadamente responsiva ao aumento na g_s , principalmente o C12 na talhadia ($R^2 = 0,91$), e que no alto fuste, apesar de maiores valores de g_s ($0,6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ocorreu estabilização ou diminuição na assimilação, principalmente o C16 ($R^2 = 0,68$) (Figuras 10a e 10b).

Figura 10 — Relação entre a Assimilação líquida de CO₂ (A), e condutância estomática (gs) na talhadia (a) e alto fuste (b), no ano de 2021, período seco, e no ano de 2022, na talhadia (c) e alto fuste (b), período chuvoso



Em 2022, período chuvoso, a correlação diminuiu para os clones em ambos os manejos, principalmente no alto fuste. Porém com maior disponibilidade de água, e sem efeitos climáticos mais intensos, os clones obtiveram maior gs, como o C12 na talhadia (1,0 mol m⁻² s⁻¹), porém, nessas condições, o C16 foi mais responsivo para A com o aumento na gs, tanto na talhadia, como no alto fuste (Figuras 10c e 10d).

Com o fim de compreender capacidade de controle da abertura dos estômatos e a entrada e assimilação de CO₂, foram elaboradas curvas A/C_i com os principais parâmetros envolvidos no processo fotossintético para os clones em ambos os manejos. As curvas A/C_i, seguem a mesma tendência de forma geral, com a assimilação sendo limitada pela atividade da Rubisco (ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase/oxigenase) (A_n) em concentrações baixas ou parciais de

CO₂ (50-200 ppm), com máxima atividade na faixa de 400 a 600 ppm, e partir desse ponto, ocorre a saturação devido a soma de mais uma limitação, a taxa de regeneração da RuBP (A_i) (apêndices A1, A2, A3, A4).

Os ajustes dos parâmetros que afetam a fotossíntese, como V_{cmax} (taxa máxima de carboxilação da Rubisco) e J_{max} (taxa máxima de transporte de elétrons), a 25° C demonstraram alta qualidade (R²) em todos os tratamentos, porém, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para V_{cmax}. No entanto, em

relação a J_{\max} ($185,5 \text{ mol elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), respiração noturna ($2,4 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o tratamento C16 na talhadia apresentou significativa superioridade em comparação aos demais. Além disso, a condutância do mesofilo foi superior de forma consistente, independentemente do manejo (Tabela 3).

Tabela 3 — Valores médios dos parâmetros fotossintéticos extraídas das curvas A/Ci, ajustados a 25° C como a velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max}), ($\text{mol}(\text{elétrons}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Respiração noturna (R_d), ($\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) Condutância do mesofilo (g_m), (mm s^{-1}), sob luz saturante ($\text{PAR}=1,500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) dos clones 12 e 16 sob manejo por talhadia (T) e alto fuste (AF)

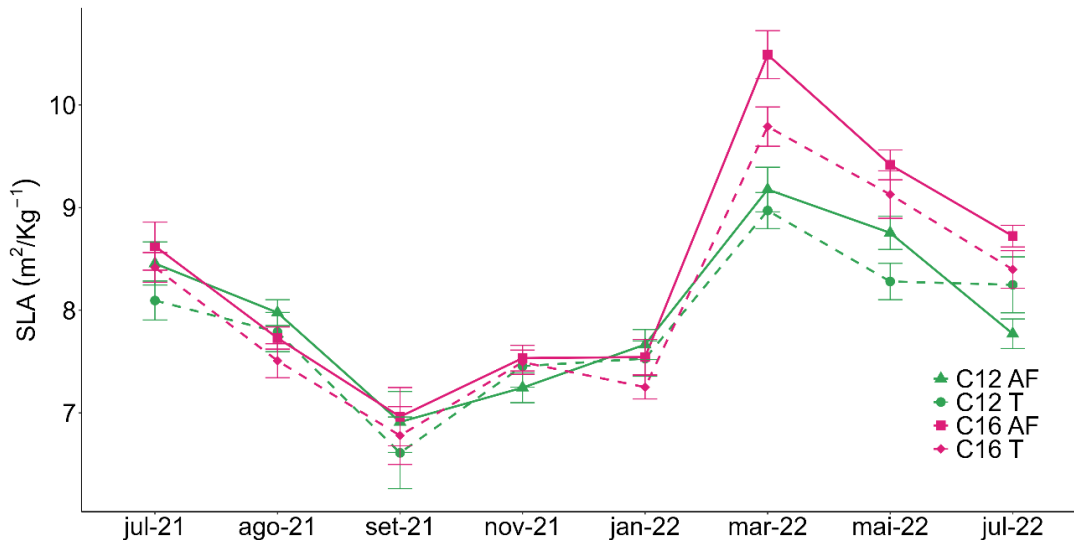
Tratamentos	V_{cmax} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	J_{max} ($\text{mol}(\text{elétrons}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	R_d ($\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_m (mm s^{-1})	R^2	RMSE
C16 T	105,5 a	186,5 a	2,4 a	58,6 ab	0,97	0,07
C16 AF	92,9 a	151,2 b	0,3 b	59,3 a	0,98	0,09
C12 T	106,9 a	151,8 b	0,5 b	57,2 ab	0,95	0,06
C12 AF	97,4 a	147,3 b	0,4 b	55,4 b	0,94	0,06

Médias seguidos pela mesma letra na coluna entre os clones C12 e C16 em talhadia ou alto fuste são semelhantes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A área foliar específica (SLA) (relação entre a área foliar e a massa seca da folha ($\text{m}^2/\text{kg}^{-1}$) também foi determinada para os clones nos manejos, por se tratar de um atributo chave nas relações dos parâmetros fisiológicos com o ambiente. O Ano de 2022 (período chuvoso), obteve a maior SLA ($8,6 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$), com destaque para o mês de mar/22 ($9,6 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$), quando comparado a 2021 (Figura 11).

Em relação aos clones e manejos, os indivíduos no manejo por alto fuste apresentaram maior SLA ($8,2 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$). Entre os tratamentos no geral, o ano de 2022 a partir de março, proporcionou maior SLA para todos os tratamentos independente de manejo, com destaque para o clone C16 no manejo por alto fuste ($10,4 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$). O ano de 2021 (período seco), apresentou os menores resultados para SLA nos meses de setembro e novembro com C12 na talhadia ($6,6 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$) e alto fuste ($7,0 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$) respectivamente (Figura 11).

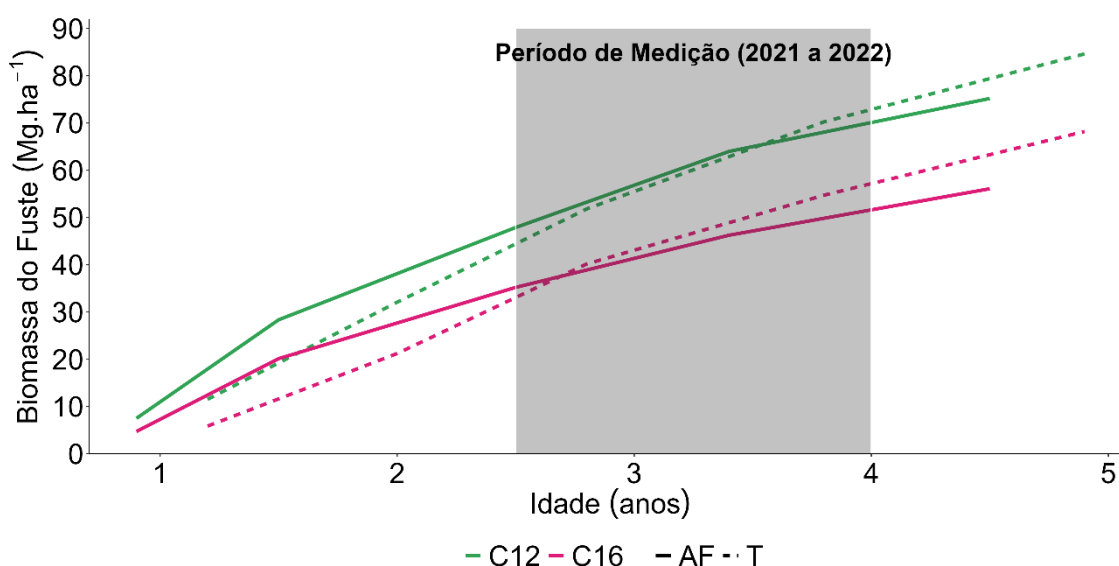
Figura 11 — Comportamento ao longo dos meses da Área foliar específica (SLA $\text{m}^2/\text{Kg}^{-1}$) para os clones C12 e C16 nos manejos por alto fuste (C12 AF; C16 AF), e talhadia (C12 T; C16 T) no período seco, e período chuvoso)



Para visualizar como o comportamento fisiológico dos clones refletiu no crescimento em biomassa de fuste, observa-se que início da medição (julho de 2021), o alto fuste com 2,5 anos, encontravam-se no período de crescimento inicial dos clones, com C12 obtendo a maior biomassa ($47 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$). As diferenças nesse ponto entre os manejos ocorreu em decorrência da diferença de datas de inventários e idade, a talhadia no início das medições estava com 2,8 anos, e biomassa de tronco de $51 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 12).

Durante o período de medição, entre 2,5 e 4 anos, e também de arranque em crescimento de biomassa, o comportamento seguiu de forma semelhante, com o maior crescimento em fuste para C12, porém, o manejo por talhadia ultrapassou o alto fuste, não apenas para C12+T ($70 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), mas também para o C16+T ($54,7 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) aos 3,8 anos. Verifica-se que houve tendência de redução no crescimento em biomassa em madeira para o alto fuste com 3,4 anos em ambos os clones, com destaque para o C16 +AF que obteve menor ganho em biomassa ao longo do período a partir dos 2,5 anos (Figura 12).

Figura 12 — Biomassa acumulada do fuste ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para os clones C12 e C16 manejados por talhadia (linha tracejada) e alto fuste (linha contínua) em função da idade. A área sombreada indica o período de medição dos parâmetros fisiológicos entre julho de 2021 e julho de 2022



1.5 DISCUSSÃO

Entre os resultados encontrados nesse estudo, o mais evidente e enfático é de que não existiram diferenças fisiológicas entre os manejos ou seja, não houve influência do manejo nas respostas fisiológicas. As condições climáticas no período seco e chuvoso evidenciaram as diferenças no comportamento fisiológico dos clones, além de suas características.

Sob condições ambientais adversas, como no mês de setembro/2021, que apresentou aumento considerável nos fatores climáticos, intensificando o período seco, o C16, diminuiu a condutividade estomática e a capacidade fotossintética, e sob condições de maior disponibilidade de água no solo e temperatura mais amenas conseguiu obter desempenho superior, como no mês de março/2022. O C12, apesar de ser um clone com características produtivas, conseguiu resistir ao período seco mantendo baixa transpiração com melhor regulação estomática e fotossintética em comparação ao C16 (Figura 7).

O C12 utilizou de forma mais “inteligente” a água em condições climáticas intensas, ao contrário do C16 que demonstra maior sensibilidade estômática, exibindo

maior transpiração em quase todos os meses de medição, principalmente no período com maior disponibilidade de água (chuvoso) (Figura 7c). A elevada transpiração do C16, pode estar está ligada a alguns fatores como folhas anfiestomáticas, ou seja, possui estômatos tanto na lâmina superior quanto na inferior da folha, maior densidade de estomática (Pech, 2020), além de ângulos foliares mais acentuados (65°) em comparação com C12 (30°). Esses fatos podem conferir vantagem, como aproveitar ângulos baixos de iluminação, e poder fotossintetizar durante o início e fim do dia, e desvantagens, como redução da carga de radiação durante o meio-dia a planta (King, 1997; Drake *et al.*, 2019), porém é um fator que pode influenciar o uso de água e produtividade, carecendo de mais estudos com essa abordagem.

O C16, foi mais responsivo a aumento do VPD, demonstrando comportamento isohídrico, que são plantas que regulam de forma mais estrita o fechamento dos estômatos devido o aumento no VPD, causado pelo déficit de vapor do ar, que eleva a demanda evaporativa, onde ocorre o fechamento dos estômatos para evitar a dessecação (Amitrano *et al.*, 2019). A redução estomática é considerada uma estratégia segura, porém influencia o crescimento (LAMOUREUX *et al.*, 2018).

As respostas estomáticas do C12 em relação ao aumento do VPD foram menos rígidas e resultaram em níveis mais baixos de condutância estomática, porém, permitiram que as plantas continuassem a crescer no período seco, demonstrando características anisohídricas. Esse fato deve estar ligado a maior eficiência no uso da água, que permitiu a continuação da fotossíntese enquanto a perda de água por transpiração foi minimizada.

Apesar do parâmetro g_1 , não ter sido superior estatisticamente para nenhum dos clones nos manejos, observamos maior tendência de valores de aumento para C16, e menores para C12, e sabe-se que o parâmetro g_1 tem forte ligação teórica com a eficiência intrínseca do uso de água pelas plantas (LI *et al.*, 2022), estando relacionado ao custo de água para fixação do CO_2 , sendo assim, um alto valor indica maior perda, e mais baixo indica comportamento conservador e elevada eficiência no uso de água (COWAN: FARQUHAR, 1977). Flo *et al.* (2021), trabalhando com uso de água em 142 espécies descobriram maior sensibilidade estomática em angiospermas ao aumento de VPD, com valores elevados apenas na faixa considerada referencia (g_s quando $VPD=1$ kPa). Ouyang *et al.* (2022), observaram menor g_s e menor sensibilidade ao VPD para a espécie de gimnosperma (*C.lanceolata*) independente da estação seca ou chuvosa, e para o *E.urophylla*

verificou-se maior sensibilidade para a transpiração e g_s em relação ao VPD, denotando que a espécie não adotou estratégias de uso de água.

Observamos que o potencial hídrico foliar foi susceptível a disponibilidade de água de acordo com os meses secos e chuvosos. Nos meses mais secos ψ_{pdwn} dos clones foram mais negativos, refletindo as condições do solo, e o ψ_{mind} foi menos negativo, principalmente C16 devido a tolerância a seca. Algumas das explicações para esse comportamento do C16 está relacionado a maior alocação de carbono para produção de raízes, o que lhe confere maior acesso as camadas mais profundas do solo (Campoe *et al.*, 2018), além de um ponto de perda de turgescência menor que o C12 no período seco (Conti *et al.*, 2020).

Nos meses chuvosos e pós chuvosos, com maior disponibilidade de água o comportamento do ψ_{mind} foi menos negativo para os clones. O C16, demonstrou maior proveito das boas condições climáticas em relação a precipitação, para máxima absorção de carbono, permitindo elevadas taxas de transpiração (Stape *et al.*, 2010; Gleason *et al.*, 2013), que foram observadas nas folhas com ψ_{mind} mais negativo, no mês de março/22.

Conti *et al.* (2020), em estudo com os mesmos clones, observaram resultados diferentes para o ψ_{pdwn} , que não diferiu entre período seco e chuvoso, onde segundo eles, houve elevada precipitação no período seco, ao contrário do nosso estudo. Os diferentes períodos proporcionaram resultados semelhantes, com a estação chuvosa apresentando ψ_{mind} e ψ_{pdwn} menos negativo para ambos os clones.

A área foliar específica (SLA), também respondeu aos meses de maior disponibilidade de água, com superioridade para o mês de mar/22 e em seguida mai/22, principalmente para o C16+AF, respondendo a maior recarga de precipitação que ocorre na região sempre no mês de janeiro, já que a água, temperatura, são os principais fatores que explicam a variação na SLA (Poorter *et al.*, 2009). Assim, em resposta a maior quantidade de água no solo, e consequente aumento no potencial hídrico das folhas, houve o investimento em folhas novas pelos clones. A redução da SLA no período seco, ocorre devido a ajustes ecofisiológicos em consequência da redução do crescimento, em resposta ao deficit hídrico, que altera a proporção de biomassa entre folhas jovens e velhas, uma vez que folhas velhas possuem geralmente SLA inferiores à folhas jovens (Inglatterra; Attiwill, 2008; Laclau *et al.*, 2009).

Costa *et al.* (2024), encontraram resultados diferentes em estudo na Austrália com o *E.ovata*, onde observaram que a SLA da espécie aumentou no período seco, em comparação com o úmido. Nouvellon *et al.* (2010), observaram comportamento semelhante com *E.urophylla* e *E.grandis*, reduzindo as SLAs no final da estação seca ($10,2 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$ e $10,2 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$) e aumentando após três meses do período chuvoso ($13 \text{ m}^2/\text{kg}^{-1}$ e $12,5 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$).

Em relação aos parâmetros extraídos das curvas A/C_i , observou-se que para V_{cmax} , não houve diferenças significativas para clones e manejos, ou seja, eles são semelhantes em termos de eficiência enzimática e velocidade de carboxilação, porém para J_{max} , e R_d , C16+T foi superior aos demais, demonstrando maior capacidade de converter energia luminosa em energia química durante a fotossíntese, o que pode estar ligado a tolerância a seca.

O J_{max} é limitado pela taxa de elétrons que por sua vez é regulado pela intensidade de luz (SHARKEY *et al.*, 2007), que por sua vez, dependendo da intensidade pode aumentar os pontos limitados pela Rubisco, e favorecer a velocidade de regeneração da RuBP (GU *et al.*, 2010). Santos (2022), ao contrário deste estudo verificou a capacidade fotossintética em condições de campo, porém com temperatura padronizada a 25° C para um grupo de espécies de Eucalipto observou resultados semelhantes para V_{cmax} ($89,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e J_{max} ($153,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Em estudo utilizando o Li-6800, em um grupo de coníferas, Coursolle *et al.* (2021), não observaram diferenças significativas para V_{cmax} ($61,49$ a $62,02 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) J_{max} (112 a $119,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) pelo método FvCB

Em resumo, em relação ao crescimento em fuste, o C12 foi mais eficiente na alocação de biomassa no fuste, independente de manejo e das condições ambientais no período de medição, assim, o clone continuou a investir recursos na produção de tecido lenhoso e crescimento vertical. Como já comprovado em estudos realizados, o C12 é altamente plástico e consegue ser produtivo em uma ampla variedade de locais (Binkley *et al.*, 2017).

Entre os fatores que o tornam altamente produtivo, estão suas estratégias fisiológicas diante do ambiente mais seco, apresentando melhor regulação de abertura e fechamento estomático, redução na transpiração para manter o conteúdo de água em seu sistema (Sinclair *et al.*, 2017), como também maior controle no balanço entre a expansão e alocação de matéria seca foliar (Martins *et al.*, 2008; Resquin *et al.*, 2020; Abreu *et al.*, 2022), quando comparado a C16, que apresentou

bons resultados apenas com maior disponibilidade de água, devido ao menor controle estomático, que causou taxas de transpiração maiores quando comparado a C12, até no período seco. Esses fatos provocam desequilíbrio entre a quantidade de água perdida e a absorção de CO₂ (Abreu *et al.*, 2015; Abreu *et al.*, 2022), restringindo a produção de biomassa.

Dessa forma, surgem reflexões, já que o clone tolerante não conseguiu desempenho fisiológico semelhante ao clone produtivo no período seco, além de apresentar elevadas taxas de transpiração e conseqüentemente, excessivo uso de água à nível foliar. Esses impactos afetam diretamente a fotossíntese, porém, poderiam ser amenizados pelo aumento na eficiência no uso da água (Martins *et al.*, 2022).

Assim, recomenda-se considerações no cultivo do C16 se o local passar por curtos períodos de déficit hídrico, em virtude do baixo desempenho fotossintético e por fim produtividade, em decorrência da eficiência estomática no trade-off de perda de água e fixação de CO₂.

O C12 demonstrou adaptações fisiológicas que minimizaram a perda de água por transpiração, com regulação mais eficaz dos estômatos maximizando o ganho em CO₂. Essas características permitiram que o clone mantivesse a produtividade, sendo assim uma escolha mais apropriada se as condições de déficit hídrico não forem extremas com o objetivo na produtividade.

1.6 CONCLUSÕES

O manejo não influenciou os parâmetros fisiológicos dos clones, ou seja, para os clones estudados em termos práticos o manejo foi indiferente à fisiologia foliar nas idades entre 2,5 e 4 anos, negando a terceira hipótese formulada.

Observou-se comportamentos distintos entre os clones de acordo com suas características e condições ambientais, corroborando com a primeira e segunda hipóteses. C12 demonstrou estratégias fisiológicas mais eficientes como baixa transpiração, melhor controle estomático em relação ao ambiente mais adverso quando comparado a C16, tolerante à seca.

O período chuvoso favoreceu o desempenho dos parâmetros fisiológicos dos clones, principalmente do C16, que demonstrou maior condutância estomática, e

consequentemente maior assimilação de CO₂, obtendo resultados superiores no período e ambiente avaliado quando comparado ao C12.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. C.; SOARES, A. A. V.; FREITAS, C. H.; MARTINS, F. B. Transpiration and growth responses by eucalyptus species to progressive soil drying. **Journal of Forestry Research**. 33 (1), 1–15, 2022.
- ANDEREGG, W. R. L.; FLINT, A.; HUANG, C. Y.; FLINT, L.; BERRY, J. A.; DAVIS, F. W.; FIELD, C. B. Tree mortality predicted from drought-induced vascular damage. **Nature Geoscience**, 8, 367–371, 2015.
- ABREU, M. C.; MARTINS, F. B.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; MELLONI, E. G. P. Valores limítrofes para transpiração desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook) KD Hill and LAS Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, 39 (5), 841–852, 2015.
- R.G. ALLEN, L. PEREIRA, D. RAES, M. SMITH. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements FAO. Irrigation and Drainage Paper, Rome (1998), p. 56.
- ALVES, A. M. M. R.; MARTINS, F. B.; REBOITA, M. S. Balanço hídrico climatológico para Itajubá-MG: Cenário atual e projeções climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**. 26, 712–732, 2020.
- ALVARES, C. A.; SENTELHAS, P. C.; CHOU, C. S. **Future climate projections in South America and their influence on forest plantations**. IPEF, Piracicaba, Brazil, 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22, 711–728, 2013.
- BAHAR, N. H. A. et al. Leaf-level photosynthetic capacity in lowland Amazonian and high-elevation Andean tropical moist forests of Peru. **New Phytologist**, v. 214, n. 3, p. 1002-1018, 2016.
- BARKHORDARIAN, A.; SAATCHI, S. S.; BEHRANGI, A.; LOIKITH, P. C.; MECHOSO, C. R. A recent systematic increase in vapor pressure deficit over tropical. South America. **Scientific Reports**, 9, 15331, 2019.
- BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R. L.; CEGATTA, I.; STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 271-283, 2017.
- BUCKLEY, T. N.; MOTT, K. A. Modelling stomatal conductance in response to environmental factors. **Plant, Cell and Environment**, 36(9), 1691–1699, 2013.
- CÂMARA, A. P.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. C. L.; PICOLI, E. A. T.; ALMEIDA, M. N. F.; ROQUE, R. M.; FILHO, M. T.; SOUZA, H. J. P.; OLIVEIRA, T. R.; CAMPOE, O. C. Changes in hydraulic architecture across a water availability gradient for two

contrasting commercial Eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**. 474 (15), 118380, 2020.

CAMPOE, O. C.; CARNEIRO, R. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; ALAVARES, C. A.; MOREIRA, G.; BRANCO, G. C.; STAHL, J.; FIGURA, M. A.; STAPE, J. L. **Changes in carbon partitioning driven by climatic gradient affects wood productivity of Eucalyptus clones**. Eucalyptus 2018: managing Eucalyptus plantation under global changes. In: IUFRO 02.08.03 Montpellier, Cirad, 2018.

CASTRO, C. A. O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 2016.

CASSON, S. A.; HETHERINGTON, A. M. Environmental regulation of stomatal development. **Current Opinion in Plant Biology**, 13, 90–95, 2010.

CONTI JUNIOR, J. L. F.; ARAÚJO, M. J.; DE PAULA, R. C.; QUEIROZ, T. B.; HAKAMADA, R. E.; HUBBARD, R. M. Quantifying turgor loss point and leaf water potential across contrasting Eucalyptus clones and sites within the TECHS research platform. **Forest Ecology and Management**, v. 475, p. 118454, 2020.

COURSOLLE, C.; HOME, G. O. P.; LAMOTHE, M.; ISABEL, N. Measuring rapid A–Ci curves in boreal conifers: black spruce and balsam fir. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1276, 2019.

COWAN, I. R.; FARQUHAR, G. D. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment, Symp. **Society Experimental Biology**, 31, 471–505, 1977.

CUNHA, T. Q. G.; SANTOS, A. C.; NOVAES, E.; HANSTED, A. L. S.; YAMAJI, F. M.; SETTE JÚNIOR, C. R. Eucalyptus expansion in Brazil: Energy yield in new forest frontiers, **Biomass and Bioenergy**, 144, 105900, 2021.

CHAVES, M. M.; COSTA, J. M.; ZARROUK, O.; PINHEIRO, C.; LOPES, C. M.; PEREIRA, J. S. Controlling stomatal aperture in semi-arid regions – the dilemma of saving water or being cool?. **Plant Science**. 251, 54–64. 2016.

CHEN, S.; WENG, Q.; LI, F.; LI, M.; ZHOU, C.; S. GAN, S. Genetic parameters for growth and wood chemical properties in *Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis* hybrids, **Annals of Forest Science**, 75 (16), 2018.

DING, R.; XIE, J.; MAYFIELD-JONES, D.; ZHANG, Y.; KANG, S.; LEAKEY, A. D. B. Plasticity in stomatal behaviour across a gradient of water supply is consistent among field-grown maize inbred lines with varying stomatal patterning, **Plant, Cell & Environment**, 45:2324–2336, 2022.

DRAKE, P. L.; DE BOER, H. J.; SCHYMANSKI, S. J.; VENEKLAAS, E. J. Two sides to every leaf: water and CO₂ transport in hypostomatous and amphistomatous leaves. **New Phytology**, 222, 1179–1187, 2019.

DRUMOND, M. A.; DE OLIVEIRA, V. R.; RIBASKI, J. DRUMOND, M. A. **Eucalipto no Semiárido brasileira**. Embrapa semiárido, Petrolina, P,3-42, Dez, 2016.

ELLI, E. F.; SENTELHAS, P. C.; BENDER, F. D. Impacts and uncertainties of climate change projections on eucalyptus plantations productivity across Brazil. **Forest Ecology Management**. 474, 118365, 2020.

ENGLAND, J. R.; ATTIWILL, P. M. Patterns of growth and nutrient accumulation in expanding leaves of *Eucalyptus regnans* (Myrtaceae). **Australian Journal of Botany**, 56, 44–50, 2008.

FAGUNDES, F. F. A.; REIS, Y. F. S.; MARTINS, F. B. A model for predicting the initial development of two native forest species under current and future climates. **Environmental Experimental Botany**. 192, 104662, 2021.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Faostat: database – crop production. 2021. Disponível em <: <http://faostat.fao.org/>> acesso em 23 de outubro de 2022).

FARQUHAR, G. D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. **Planta**, 149, 78–90, 1980.

FARQUHAR, G. D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. **Planta**, 149, 78–90, 1980.

FAUSET, S.; OLIVEIRA, L.; BUCKERIDGE, M. S.; FOYER, C. H.; GALBRAITH, D.; TIWARI, R.; GLOOR, M. Contrasting responses of stomatal conductance and photosynthetic capacity to warming and elevated CO₂ in the tropical tree species *Alchornea glandulosa* under heatwave conditions. **Environmental and Botany**, 158, 28-39, 2019.

FURTAK, A.; NOSALEWICZ, A. Leaf-to-air vapor pressure deficit differently affects barley depending on soil water availability. **South African Journal of Botany**, v. 146, p. 497-502, 2022.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016.

FRIEDLINGSTEIN et al. Global Carbon Budget 2020. **Earth System Science Data**, 12, 3269– 3340, 2020.

FREITAS, C. H.; MARTINS, F. B.; ABREU, M. C. Cardinal temperatures for the leaf development of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 52 (5), 283–292, 2017.

GAO, G. L.; ZHANG, X. Y.; CHANG, Z. Q.; YU, T. F.; ZHAO, H. Environmental response simulation and the up-scaling of plant stomatal conductance. **Acta Ecologica Sinica**, 36, 1491–1500, 2016.

GONÇALVES, J. L.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Journal of Forest Science**, 79, 169–183, 2017.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, 301, 6-27, 2013.

GU, L.; PALLARDY, S. G.; TU, K.; LAW, B. E.; WULLSCHLEGER, S. D. Reliable estimation of biochemical parameters from C3 leaf photosynthesis–intercellular carbon dioxide response curves. **Plant, Cell and Environment**, 33, 1852–1874, 2010.

GLEASON, S. M.; BUTLER, D. W.; WARYSZAK, P. Shifts in leaf and stem hydraulic traits across aridity gradients in eastern Australia. **International Journal of Plant Sciences**, v. 174, n. 9, p. 1292-1301, 2013.

GROSSIORD, C.; BUCKLEY, T. N.; CERNUSAK, L. A.; NOVICK, K. A.; POULTER, B.; SIEGWOLF, R. T. W.; SPERRY, J. S.; MACDOWELL, N. G. Plant responses to rising vapor pressure deficit. **New Phytologist**, 226, 1550–1566, 2020.

HERNANDEZ-SANTANA, V.; FERNÁNDEZ, J. E.; RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C. M.; ROMERO, R.; DIAZESPEJO, A. The dynamics of radial sap flux density reflects changes in stomatal conductance in response to soil and air water deficit. **Agricultural and Forest Meteorology**, 218–219, 92–101, 2016.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores: **Relatório 2023**. São Paulo, Brasil, 2023.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Árvores Plantadas: Agroindústria sustentável**. Ano 01. Ed. 01. Set. 2016.

JUNIOR, J. L. F.; ARAUJO, M. J.; DE PAULA, R. C.; QUEIROZ, T. B.; HAKAMADA, R. E.; HUBBARD, R. M. Quantifying turgor loss point and leaf water potential across contrasting Eucalyptus clones and sites within the TECHS research platform. **Forest Ecology and Management**, v. 475, p. 118454, 2020.

KING, D.A. **The functional significance of leaf angle in Eucalyptus**. *Aust. J. Bot.* 45, 619–639, 1997.

KÖRNER, C. Leaf diffusive conductances in the major vegetation types of the globe. In: SHULZE, E.; CALDWELL, M. M. (Eds.), **Ecophysiology of Photosynthesis**. Springer, Berlin and Heidelberg, Germany, pp. 463–490, 1995.

LAMOUR, J.; DAVIDSON, K. J.; ELY, K. S.; MOGUÉDEC, G. L.; LEAKEY, A. D. B.; LI, Q.; SERBIN, S. P.; ROGERS, A. An improved representation of the relationship between photosynthesis and stomatal conductance leads to more stable estimation of conductance parameters and improves the goodness-of-fit across diverse data sets. **Global Change Biology**, 28:3537–3556, 2022.

LAMOUREUX, S. C.; POOT, P.; VENEKLAAS, E. J. Shallow soils negatively affect water relations and photosynthesis in two semi-arid Eucalyptus species. **Environmental and Experimental Botany**, 155, 239-250, 2018.

LACLAU, J. P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; SAINT-ANDRE, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R. M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations. **Tree Physiology**, 29, 111–124, 2009.

LAWSON, T.; MATTHEWS, J. Guard cell metabolism and stomatal function. **Annual Review of Plant Biology**, 71, 273–302, 2020.

LI, Q.; SERBIN, S. P.; LAMOUR, J.; DAVIDSON, K. J.; ELY, K. S.; ROGERS, A. Implementation and evaluation of the unified stomatal optimization approach in the Functionally Assembled Terrestrial Ecosystem Simulator (FATES). **Geoscientific Model Development**, 15, 4313–4329, 2022.

LIN, Y. S et al. Optimal stomatal behaviour around the world, **Nature Climate Change**, 5, 459–464, 2015.

LIN, Y. S.; MEDLYN, B. E.; ELLSWORTH, D. S. Temperature responses of leaf net photosynthesis: the role of component processes. **Tree Physiology**. 32 (2), 219–231, 2012.

LOMBARDOZZI, D. L.; SMITH, N. G.; CHENG, S. J.; DUKES, J. S.; SHARKEY, T. D.; ROGERS, A.; FISHER, R.; BONAN, G. B. Triose phosphate limitation in photosynthesis models reduces leaf photosynthesis and global terrestrial carbon storage. **Environmental Research Letters**, 13(7), 074025, 2018.

LOMBARDINI, L. **Ecophysiology of plants in dry environments**. In: D'ODORICO, P.; PORPORATO, A. (Eds.), *Dryland Ecohydrology*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp.47–65, 2006.

LLOPART, M.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Assessment of multi-model climate projections of water resources over South America CORDEX domain. **Climates Dynamics**, 54, 99–116, 2020.

MARTINS, F. B.; BENASSI, R. B.; TORRES, R. R.; BRITO NETO, F. A. Impacts of 1.5°C and 2°C global warming on Eucalyptus plantations in South America. **Science of the Total Environment**. 825, 153820, 2022.

MAKINO, A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. **Plant Physiology**, 155, 125–129, 2010.

DE MATTOS, E. M.; BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C. A.; STAPE, J. L. Variation in canopy structure, leaf area, light interception and light use efficiency among Eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**, v. 463, p. 118038, 2020.

MCDOWELL, N. G.; ALLEN, C. D. Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 7, p. 669-672, 2015.

MARTIN-STPAUL, N.; DELZON, S.; COCHARD, H. Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. **Ecology Letters**, 20, 1437–1447, 2017.

MARTINS, F. B.; BENASSI, R. B.; TORRES, R. R.; BRITO NETO, F. A. Impacts of 1.5 C and 2 C global warming on Eucalyptus plantations in South America. **Science of The Total Environment**, v. 825, p. 153820, 2022.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A.; DA SILVA, J. C.; MORAIS, W. W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M. C.; VIVIAN, M. A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32(3):1297–1306, 2008.

MEDLYN, B. E.; DUURSMA, R. A.; EAMUS, D.; ELLSWORTH, D. S.; PRENTICE, I. C.; BARTON, C. V. M.; CROUS, K. Y.; DE ANGELIS, P.; FREEMAN, M.; WINGATE, L. Reconciling the optimal and empirical approaches to modelling stomatal conductance. **Global Change Biology**, 17(6), 2134–2144, 2011.

NOUVELLON, Y.; LACLAU, J. P.; EPRON, D.; KINANA, A.; MABIALA, A.; ROUSPARD, O.; BONNEFOND, J. M.; MAIRE, G. L.; MARSDEN, C.; BONTEMPS, J. D.; SAINT-ANDRÉ, L. Within-stand and seasonal variations of specific leaf area in a clonal Eucalyptus plantation in the Republic of Congo. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 9, p. 1796-1807, 2010.

NOVICK, K. A.; MINIAT, C. F.; VOSE, J. M. Drought limitations to leaf-level gas exchange: results from a model linking stomatal optimization and cohesion–tension theory. **Plant Cell Environment**, 39, 583–596, 2016.

OLIVEIRA, R. S.; SANTOS, L. T. V.; MELO, S. C.; CHAGAS, M. P.; RIBEIRO, D.; REIS, C. A. F.; NOVAES, E.; SETTE JR, C. R. Wood energy yield for *Eucalyptus* clones growing under seasonal drought-stress in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, 154 106264, 2021.

OUYANG, L.; ZHAO, P.; RAO, X.; ZHU, L.; NI, G. Interpreting the water use strategies of plantation tree species by canopy stomatal conductance and its sensitivity to vapor pressure deficit in South China. **Forest Ecology and Management**, 505, 11994, 2022.

PAYN, T.; CARNUS, J. M.; SMITH, P. F.; KIMBERLEY, M. O. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 57–67, 2015.

PENNA, A. C.; TORRES, R. R.; GARCIA, S. R.; MARENGO, J. A. Moisture flows on Southeast Brazil: present and future climate. **International Journal of Climatology**, 41, E935–E951, 2021.

PEREIRA, A. R. S.; CORDEIRO, M. A.; ABREU, J. C.; SANTOS, R. O.; SILVA, J. N. M. Modelagem volumétrica para *Eucalyptus urograndis* no município de Porto Grande, Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 4, p. 10-14, 2016.

PECH, T. M. **Genética e gradiente climático como determinantes de variações estomáticas em clones de *Eucalyptus***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, SC, 2020.

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

POORTER, H.; NIINEMETS, U.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; VILLAR, R. Causes and consequences of variation in leafmass per area (LMA): a meta-analysis. **New Phytology**, 182:565–588, 2009.

REIS, L. A. C.; OLIVEIRA, J. A.; FARNESE, F. S.; ROSADO, A. M.; REIS, L. A. C. Chlorophyll fluorescence and water content parameters are good biomarkers for selecting drought tolerant eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**, 481, 118682, 2021.

RESQUIN, F.; DUQUE-LAZO, J.; ACOSTA-MUÑOZ, C.; RACHID-CASNATI, C.; CARRASCO-LETELIER, L.; NAVARRO-CERRILLO, R. M. Modelling current and future potential habitats for plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *E. dunnii* Maiden in Uruguay. **Forests**, 11 (9), 948, 2020.

ROGERS, A.; MEDLYN, B. E.; DUKES, J. S.; BONAN, G.; VON CAEMMERER, S.; DIETZE, M. C.; KATTGE, J.; LEAKEY, A. D. B.; MERCADO, L. M.; NIINEMETS, Ü.; PRENTICE, I. C.; SERBIN, S. P.; SITCH, S.; WAY, D. A.; ZAEHLE, S. A roadmap for improving the representation of photosynthesis in Earth system models. **New Phytology**. 213, 22–42, 2017.

SANTOS, J. A. DOS. Fisiologia de florestas plantadas no Brasil: efeitos climáticos e genéticos. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

E SILVA, J. C.; POTTS, B. M.; PROBER, S. M. Performance-based inference of selection on stomatal length and specific leaf area varies with climate-of-origin of the forest tree, *Eucalyptus ovata*. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 62, p. 125765, 2024.

SINCLAIR, T. R.; DEVI, J.; SHEKOOFA, A.; CHOUDHARY, S.; SADOK, W.; VADEZ, V.; RIAR, M.; RUFTY, T. Limited-transpiration response to high vapor pressure deficit in crop species. **Plant Science**, v. 260, p. 109-118, 2017.

SHARKEY, T. D.; BERNACCHI, C. J.; FARQUHAR, G. D.; SINGSAAS E. L. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C3 leaves. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 9, p. 1035-1040, 2007.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; 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 Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.

STEFANSKI, A.; BERNUDEZ, R.; SENDALL, K. M.; MONTGOMERY, R. A.; REICH, P. B. Surprising lack of sensitivity of biochemical limitation of photosynthesis of nine tree species to open-air experimental warming and reduced rainfall in a southern boreal forest. **Global Change Biology**, 26:746–759, 2020.

STINZIANO, J. R.; BAUERLE, W. L.; WAY, D. A. Modelled net carbon gain responses to climate change in boreal trees: Impacts of photosynthetic parameter selection and acclimation. **Global Change Biology** v. 25, n. 4, p.1445-1465, 2018.

TCHERKEZ G.; BLIGNY R.; GOUT E.; MAHE A.; HODGES M.; CORNIC G. Respiratory metabolism of illuminated leaves depends on CO₂ and O₂ conditions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 105, 797–802, 2008.

THORNHILL, A. H.; CRISP, M. D.; KÜLHEIM, C.; LAM, K. E.; NELSON, L. A.; YEATES, D. K.; MILLER, J. T. A dated molecular perspective of eucalypt taxonomy, evolution and diversification. **Australian Systematic Botany**, v. 32, n. 1, p. 29-48, 2019.

UBIERNA, N.; GANDIN, A.; COUSINS, A. The response of mesophyll conductance to short-term variation in CO₂ in the C₄ plants *Setaria viridis* and *Zea mays*. **Journal of Experimental Botany**, 69, 1159–1170, 2018.

VENEGAS-GONZÁLEZ, A.; ROIG, F. A.; LISI, C. S.; ALBIERO-JUNIOR, A.; ALVARES, C. A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Drought and climate change incidence on hotspot Cedrela forests from the Mata Atlântica biome in southeastern Brazil. **Global Ecology and Conservation**, v. 15, p. e00408, 2018.

VON CAEMMERER S. Biochemical Models of Leaf Photosynthesis. **Techniques in Plant Sciences**, v. 2, p. 165, 2000.

WALKER, A. P et al. Multi-hypothesis comparison of Farquhar and Collatz photosynthesis models reveals the unexpected influence of empirical assumptions at leaf and global scales. **Global Change Biology**, 27: 804–822, 2021.

WANG, Y.; SPERRY, J. S.; ANDEREGG, W. R. L.; VENTURAS, M. D.; TRUGMAN, A. T. A theoretical and empirical assessment of stomatal optimization modeling. **New Phytology**, 227, (2), 311-325, 2020.

WU, X.; LI, X.; CHEN, Y.; BAI, Y.; TONG, Y.; WANG, P.; LIU, H.; WANG, M.; SHI, F.; ZHANG, C.; HUANG, Y.; MA, Y.; HU, X.; SHI, C. Atmospheric water demand dominates daily variations in water use efficiency in alpine meadows, northeastern Tibetan Plateau. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.124, p.2174–2185, 2019.

WULLSCHLEGER, S. D. "Biochemical limitations to carbon assimilation in C3 plants— A retrospective analysis of the A/Ci curves from 109 species," **Journal of Experimental Botany**, vol. 44, no. 5, pp. 907–920, 1993.

YAARAN, A.; NEGIN, B.; MOSHELION, M. Role of guard-cell ABA in determining steady-state stomatal aperture and prompt vapor-pressure-deficit response, **Plant Science**, 281, 31-40, 2019.

YIN, X.; BUSCH, F. A.; STRUIK, P. C.; SHARKEY, T. D. Evolution of a biochemical model of steady-state photosynthesis. **Plant Cell & Environment**, 44:2811–2837, 2021.

ZHANG, D.; JIAO, X.; DU, Q.; SONG, X.; LI, J. Reducing the excessive evaporative demand improved photosynthesis capacity at low costs of irrigation via regulating water driving force and moderating plant water stress of two tomato cultivars. **Agricultural Water Management**, 199, 22-33, 2018.

ZHOU, S.; MEDLYN, B.; SABATE, S.; SPERLICH, D.; PRENTICE, I. C. Short-term water stress impacts on stomatal, mesophyll and biochemical limitations to photosynthesis differconsistently among tree species from contrasting climates. **Tree Physiology**, 34 (10), 1035–1046, 2014.

ZHU, R.; TIESONG, H.; ZHANG, Q.; ZENG, X.; FENGYAN, W.; YONG, L.; WANG, Y. A stomatal optimization model adopting a conservative strategy in response to soil moisture stress. **Journal of Hydrology**, 617, 128931, 2023.

USO E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA EM CLONES DE *Eucalyptus* CONTRASTANTES SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

RESUMO

Esse estudo buscou de forma pioneira comparar o uso e eficiência do uso de água entre alto fuste e talhadia e suas relações com clones de características contrastantes. A medição do uso e eficiência no uso foi realizada através do método de fluxo de seiva em 10 árvores selecionadas de cada clone em um bloco por talhadia e outro por alto fuste (C12 talhadia, C12 Alto fuste, C16 talhadia, C16 Alto fuste), totalizando 40 árvores. A quantificação das transpirações diárias foi determinada para todos os indivíduos da parcela em cada tratamento a partir transpiração (área do alburno) e seus respectivos CAPs (circunferência à altura do peito). Já a eficiência de uso de água (EUA) foi calculada através da divisão dos períodos de uso de água pelo incremento corrente anual em biomassa do mesmo período. O incremento médio anual em biomassa (IMA) foi obtido para as parcelas e depois extrapolado para todos os blocos em cada manejo com os indivíduos de mesma idade nos períodos estabelecidos de medições da EUA. A transpiração no período entre 2020 a 2021 foi maior para os clones na talhadia, principalmente C16 (1741mm), que transpirou 35% a mais do que no alto fuste (1282 mm), excedendo em 40% a precipitação do período. No segundo período entre 2021 e 2022, o aumento observado na taxa de transpiração foi para o alto fuste, com C16 elevando a transpiração (1668 mm) em mais de 30% e C12 em 17%. No terceiro período, o C16 apresentou maior transpiração independente de manejo (1800 mm) excedendo em 30% a precipitação do período, e o C12, 37% a menos no alto fuste (1300 mm), e 72% na talhadia (1043 mm). A talhadia antecipou a exigência de água (1666 mm) em 25%, e no restante das medições o alto fuste ultrapassou e manteve 8% e 9% de diferença até o final. Em relação a eficiência de uso, no segundo e terceiro períodos de medições, a associação do C12, clone produtivo com a talhadia foi significativamente elevada comparado aos demais tratamentos com 1,1 Kg.m³ e 1,8 Kg.m³ respectivamente. A relação do clone tolerante com a talhadia, maximizou o uso de água no arranque de crescimento inicial, porém, ao final o clone apresentou maior uso em ambos os manejos. Para o clone produtivo, após o segundo ano de medição a talhadia proporcionou menores taxas de transpiração e elevada eficiência de uso de água. A associação do genótipo adequado com a talhadia proporcionou o menor uso de água e a maior eficiência no uso, produzindo de forma semelhante ao alto fuste, demonstrando que a sua utilização ainda pode ser viável para regiões de déficit hídrico intermediário, sobretudo por se tratar de um manejo economicamente mais rentável para os gestores e empresas do setor.

Palavras-chave: uso de água; talhadia; alto fuste; eficiência de uso de água; produtividade

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui 76% de áreas cultivadas com florestas de *Eucalyptus*, o que ocupa aproximadamente 7,6 milhões de hectares, concentrados sobretudo na região sudeste e centro-oeste do país. Os plantios de *Eucalyptus* brasileiros estão entre os mais produtivos do mundo, com média de 32,7 m³/ha/ano, porém em alguns estados, a produtividade pode atingir 42 m³/ha/ano (IBÁ, 2023).

A expressiva produtividade desses plantios, está aliada a elevadas taxas de transpiração, que ocorrem inevitavelmente no processo de fixação de CO₂ em espécies com alta capacidade fotossintética. As questões envolvendo o uso de água nos plantios de *Eucalyptus*, principalmente em rotações curtas (6 a 7 anos), que intensificam o uso sem espaços para que ocorram as recargas de água no solo, vem sendo debatidas nos últimos anos, devido aos conflitos de uso com outros usuários da bacia, como a agricultura (Ferraz *et al.*, 2019; Gonçalves *et al.*, 2013).

Com os períodos de escassez de chuvas aumentando a cada ano (Elli *et al.*, 2020), e conflitos com as populações cada vez mais eminentes pelo uso de água (Ferraz *et al.*, 2019), o setor florestal precisa de alternativas para manter a produtividade, como também o equilíbrio hídrico. Uma das alternativas mais promissoras e ainda pouco exploradas é buscar clones que possam produzir com boa eficiência de uso de água. O C16, clone tolerante, demonstrou em estudo anterior, elevadas taxas de transpiração em locais secos e baixa eficiência no uso de água, quando comparado ao clone produtivo C12, que teoricamente demonstraria maior dificuldade de adaptação nesse tipo de ambiente (Hubbard *et al.*, 2020).

Entretanto, ainda existem lacunas que não foram exploradas em relação ao comportamento desses clones contrastantes, como períodos de monitoramentos de uso de água mais longos (Hakamada *et al.*, 2020), medições no mesmo local (Hubbard *et al.*, 2020) e principalmente a interação desses materiais com diferentes sistemas de manejos. Alguns estudos destacam que a talhadia poderia ser uma solução para os cenários futuros de períodos cada vez mais longos de déficits hídricos nos plantios florestais, devido ao sistema radicular já formado propiciar acesso a água em camadas profundas, onde a disponibilidade seria maior, do que nas camadas superficiais que as árvores em formação como no alto fuste teriam acesso (Germon *et al.*, 2019). Entretanto outros estudos relataram que o sistema radicular já

estabelecido intensificaria o uso da água, principalmente em regiões de déficit hídrico (Laclau *et al.*, 2013).

Algumas perguntas surgem a esse respeito como: A talhadia realmente seria uma solução para o déficit hídrico diante dos cenários futuros nos plantios de eucaliptos? A relação genótipo e manejo pode fornecer respostas para o equilíbrio entre produtividade e o uso mínimo do recurso hídrico? Sendo assim, as hipóteses formuladas para tentar responder essas questões são: (1) O clone tolerante usa mais água em comparação com o clone de alta produtividade independente do sistema de manejo; (2) A talhadia potencializa o maior uso de água no clone tolerante em virtude de suas características de maior investimento em biomassa de raízes; (3) O sistema de manejo por talhadia consome mais água em todos os períodos de medição, quando comparado ao alto fuste; (4) A interação do clone produtivo com o sistema de manejo na talhadia favorece sua maior eficiência do uso da água em função da sua característica de maior alocação de carbono acima do solo.

Esse estudo buscou de forma pioneira trazer informações em um período de três anos de monitoramento em um mesmo sítio, possíveis diferenças em relação ao uso e eficiência do uso de água entre diferentes manejos e clones contratantes, e analisar a relação dos mesmos. Diante do exposto, o objetivo do estudo foi comparar o uso e eficiência do uso de água entre alto fuste e talhadia e suas interações com clones de características contrastantes.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Manejo por alto fuste e talhadia de *Eucalyptus ssp*

O manejo das florestas de *Eucalyptus*, pode ser realizado pela reforma ou alto fuste, e talhadia. O sistema por alto fuste, é formado por povoamentos provenientes de mudas ou sementes, assim, quando a escolha é a substituição do povoamento após a rotação, o processo é chamado de reforma. Já a talhadia consiste em conduzir as brotações advindas do toco, posteriormente a realização do corte raso da floresta (Virgens *et al.*, 2018; Freitag, 2013).

A reforma de um povoamento ou condução de brotação é uma das decisões cruciais para as empresas florestais. Alguns fatores são determinantes neste processo como disponibilidade de terras para implementação, objetivo do plantio, tecnologia

disponível, e principalmente critérios econômicos, em virtude do alto fuste demanda custos elevados em relação à condução por talhadia (Camargo *et al.*, 1997; Rezende *et al.*, 2005).

A utilização da talhadia, possui algumas vantagens em relação ao alto fuste como melhor crescimento inicial de brotações, que pode proporcionar a antecipação da produtividade máxima, em razão do sistema radicular já estabelecido, que facilita a absorção imediata de água e nutrientes, como também as boas condições de reserva na cepa ou raízes (Bazani *et al.*, 2016; Godoi *et al.*, 2021).

Além da clara redução de custos na formação, por não ter etapas como: produção de mudas, plantio, preparo do solo e outros tratos culturais necessários aos sistemas de alto fuste (Godoi *et al.*, 2021; Chaves; Marrichi, 2015).

Porém, com o aperfeiçoamento da silvicultura clonal, no desenvolvimento de genótipos com alta produtividade e qualidade de madeira, a reforma passou a ser a mais adotada, porém em decorrência da crise econômica de 2008, muitas empresas florestais, em tentativa de conter os custos, já que no primeiro ano a redução era de 50% diminuíram consideravelmente os programas de reforma e plantio de novas terras, dando espaço novamente para a talhadia, que em 2009 já contava com 25% das áreas plantadas (ABRAF, 2013; Rocha *et al.*, 2019).

Árvores com boa capacidade de rebrota e rápido crescimento, como no caso da grande maioria das espécies de Eucalipto, obtém resultados satisfatórios com o uso da talhadia, que é considerado um sistema de manejo economicamente viável, atrativo e sustentável (Rocha *et al.*, 2019), principalmente para as empresas, que necessitaram de grande demanda na indústria de celulose (Costa; Oliveira, 2019).

O bom desempenho das florestas de *Eucalyptus* manejadas por talhadia é advinda da seleção de materiais genéticos adaptados a diversas regiões produtoras, solos, controle de mato competição, adubação, dentre outros (Gonçalves *et al.*, 2014).

Entretanto, condições edafoclimáticas, tratos silviculturais no processo de rebrota, danos aos tocos na fase de colheita, e material genético, muitas vezes, resultam na redução de produtividade da primeira para a segunda rotação, influenciando na escolha de reformar o plantio com um novo material (Rocha *et al.*, 2019).

Dessa forma, para um melhor planejamento para implementação do manejo por talhadia é necessário a utilização de matérias genéticos produtivos, e que apresentem alto vigor principalmente na primeira rotação, na busca de maior potencial

de crescimento. A escolha de cortar ou substituir um povoamento florestal, reflete em custos de produção em relação à condução por brotação, assim, a escolha deve ser fundamentada em uma criteriosa análise econômica (Virgens *et al.*, 2018). Haja visto, que tanto o manejo por alto fuste, quanto por talhadia, em relação a produtividade acabam se equivalendo, o que de fato irá afetar na realidade será a diferença do padrão de crescimento de um para o outro e disponibilidade de nutrientes e água (Vale *et al.*, 2014).

Várias características tornam o sistema de manejo por talhadia uma excelente alternativa para os próximos anos, diante dos cenários futuros, como: curtos períodos de rotação, maiores taxas de fixação de carbono, maior tolerância a seca em virtude do sistema radicular, que auxilia nos períodos de irregularidades de chuvas, secas prolongadas, e estresse hídrico (Hakamada *et al.*, 2015; Cutini *et al.*, 2021).

Na literatura existem pesquisadores que realizaram estudos semelhantes em outros países, analisando o uso de água nos sistemas de alto fuste e talhadia no início de uma rotação de *E. globulus* (até 2,8 anos) como Drake *et al.* (2012) e (2009) no aspecto foliar, através de alguns parâmetros fisiológicos e morfológicos, e de produtividade (EUA) em um período inverno e outro verão. Alguns resultados encontrados apontaram que a talhadia utilizou mais água na produção de biomassa, porém com maior eficiência, além de maior transpiração, maior IAF. Em relação a assimilação líquida de CO₂ não houve diferenças entre os sistemas de manejo.

2.2.2 Uso e eficiência do uso de água

As espécies de Eucaliptos que compõem as maiores florestas plantadas do país, utilizam grandes quantidades de água para manter a elevada produção de madeira, devido ao seu rápido crescimento (Ferreto *et al.*, 2021).

Dessa forma, a expansão em grande escala no país, acentua a necessidade de mais estudos sobre como o uso de água varia em relação a produtividade, intensidade e manejo (Hubbard *et al.*, 2010).

A relação da disponibilidade de água e as respostas em termos de crescimento em madeira é demonstrado através da eficiência no uso da mesma, onde a produção de biomassa seca é dividida pela quantidade de água transpirada ou transpiração mais evaporação da água interceptada (Stape *et al.*, 2004; Hakamada *et al.*, 2020).

Devido as mudanças climáticas, os períodos secos aumentaram em regiões onde esperava-se que as áreas plantadas aumentassem. Dessa forma, torna-se imprescindível a seleção de materiais genéticos adaptados a áreas sujeitas ao déficit hídrico e que ao mesmo tempo, possam produzir de maneira satisfatória e eficiente utilizando o mínimo de água possível (Bouvet *et al.*, 2020).

Uma das formas de compreender as repostas fisiológicas das plantas as mudanças no ambiente é a medição do fluxo de seiva, através da estimativa de transpiração (Allen *et al.*, 2016).

O fluxo de seiva é fundamental para manutenção da conexão hidráulica entre o solo e a atmosfera, e é costumeiramente utilizado, por fornecer uma estimativa indireta da transpiração, mesmo com a complexidade intrínseca a maioria das espécies, que muitas vezes dificulta a medição direta (Steppe *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015).

Assim, sob condições ambientais extremas, a comparação de espécies que estejam em condições edafoclimáticas semelhantes através do fluxo de seiva, pode determinar quais podem lidar da melhor forma a estes ambientes (Doronila; Forster, 2015).

Há várias formas e métodos de se medir o fluxo de seiva, e uma das mais utilizadas de baixo custo e simplicidade, que interfere de forma mínima na planta (Poyatos *et al.*, 2021), e tem como base a dissipação de calor, é o método desenvolvido por Granier (1985).

O mesmo relaciona a velocidade de dissipação de calor provocado pelo transporte, através do fornecimento de uma certa quantidade de calor de forma constante através de uma sonda de dissipação térmica, com a variação temporal da diferença de temperatura entre um ponto e outro abaixo, que é provocado pelo transporte convectivo do calor pela seiva (Granier *et al.*, 1996; Shahidian *et al.*, 2016).

Porém, observa-se muita variabilidade no método de dissipação de calor devido a calibração do método de Granier superestimar (6%) ou subestimar (90%) o fluxo de seiva de algumas espécies (Hultine *et al.*, 2010; Peters *et al.*, 2018). Esse fato é atribuído, segundo alguns estudos, a curva de calibração, que calcula a densidade de fluxo de seiva (Dix; Aubrey, 2021).

Uma das soluções encontradas para a resolução desse problema, foi a elaboração de calibrações específicas para determinadas espécies, como pode-se analisar em alguns estudos (Flo *et al.*, 2019; Peters *et al.*, 2018), porém, o processo

de calibração pode ser difícil, e trabalhoso, necessitando de medição direta de captação de água por métodos gravimétricos ou potenciométricos, através de análises destrutivas (Yi; Xu, 2023).

O método gravimétrico de calibração, foi eficiente em um estudo realizado com clones de *E.grandis* e *E.urophylla*, mostrando médias cinco vezes maiores, quando comparadas a calibração original de Granier (Hubbard *et al.*, 2010;).

O fator que provoca diferenças entre as espécies para que seja preciso realizar a calibração está nas características da madeira (Yi; Xu, 2023) como densidade (Bush *et al.*, 2010), diâmetro (Nadezhdina *et al.*, 2002), dentre outras, que são inerentes a cada espécie, e sendo assim, alteram o teor água no tronco (Vergeynst *et al.*, 2014), fazendo-se necessário a calibração para que a medições sejam mais precisas (Yi; Xu, 2023).

A transpiração é responsável pela sucção nas folhas, que impulsona a água do solo até as raízes. Assim, quando o solo está seco, seu potencial hídrico e condutividade hidráulica reduzem, sendo necessário que o potencial hídrico das folhas esteja o mais negativo possível para que elevadas taxas de transpiração ocorram sem danificar o sistema (Hayat *et al.*, 2019).

Essa dinâmica do solo-planta- atmosfera pode ser observada através do potencial hídrico (Ψ_w), que é considerado fundamental para compreensão das relações hídricas nas plantas, e principalmente entre as mesmas e o meio exterior (solo e atmosfera). Por conceito o (Ψ_w), é a medida da capacidade das moléculas de água de movimentarem livremente em meio solúvel, ou seja, trata-se da energia livre das moléculas de água para realizar trabalho (TAIZ; ZEIGER, 2017). A unidade de potencial hídrico é apresentada em unidade de pressão (1 bar = 0,987 atm = 0,1 MPa).

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) é geralmente medido com câmara de pressão de Sholander (Scholander *et al.*, 1965). A medição do potencial hídrico antes do sol nascer (Ψ_{pwd}), pode representar a condição hídrica de equilíbrio entre o solo e a rizosfera, por ser considerado antes da abertura estomática (Bergonci *et al.*, 2000). O potencial mínimo ou do meio-dia (Ψ_{mind}), considera não só o potencial de água no solo, como também a condutância hidráulica, e demanda de evapotranspiração). Dessa forma, as medições de ambos os períodos fornecem dados sobre a força que move o fluxo de seiva e indiretamente o nível de transpiração (Brisson *et al.*, 1993; Cruziat *et al.*, 2002).

A maioria dos estudos das espécies cultivadas com registros na literatura citam que o potencial hídrico foliar varia normalmente de 0,0 a -12 Mpa (Martínez-Vilalta *et al.*, 2014). Hakamada *et al.* (2017), encontraram para o *Eucalyptus*, valores médios de potencial hídrico antemanhã (período de máxima turgidez) de 0,25 Mpa e -1,7 Mpa ao meio dia, -1,4 Mpa na estação chuvosa, e -2,7 Mpa nas estações mais secas.

Por fim, as análises dos processos fisiológicos que controlam absorção e perda de água nas plantas, propicia a quantificação do uso de água pelas mesmas. O potencial hídrico foliar pode ser considerado um parâmetro fonte de dados robustos e de fácil determinação, onde vários estudos foram conduzidos relacionando diferentes condições hídricas com a produção de biomassa, tendo como foco as espécies de *Eucalyptus* (Medrano *et al.*, 2007; Hakamada *et al.*, 2017).

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido na área experimental localizada na Fazenda Americana (22° 58' 04" S, 48° 43' 40" O), Itatinga, SP, do projeto EUCFLUX em parceria com o Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais – IPEF, Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento – CIRAD (França), UFLA, ESALQ/USP, E FCA/UNESP, e empresas do setor florestal.

O relevo da área é do tipo plano a suave ondulado, com altitude de 714 m, localizada na região central do estado de São Paulo (20km da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – Esalq/USP). O clima da região é do tipo Cwa, úmido e quente, com invernos secos, com temperatura média anual de 19,4° C, sendo a média dos meses mais frios (junho a julho) 15,7° C e mais quentes (janeiro e fevereiro) 22,3° C. Já a precipitação média anual é de 1319 mm concentrada nos meses de janeiro e fevereiro (ALVARES *et al.*, 2013).

Todos os tratos silviculturais implantados antes do plantio no alto fuste e condução da talhadia podem ser encontrados de forma detalhada em (Sbardella, 2021). Resumidamente, a implantação foi realizada em novembro de 2018 em espaçamento 3m x 2m, com replantio com 20 a 30 dias após o primeiro plantio.

5 meses antes, em junho do mesmo ano, iniciou-se a condução da talhadia também em espaçamento 3m x 2m, com a desbrota sendo realizada de forma

semimecanizada 14 meses depois do início da condução, seguindo o manejo comercial de um fuste por cepa, porém, em algumas parcelas foram deixados dois fustes por cepa para compensar possíveis falhas e mortalidades.

O monitoramento do fluxo de seiva foi instalado em 10 indivíduos de cada clone, na parte central de cada parcela, em um bloco manejado por talhadia (Bloco 6) e outro por alto fuste (Bloco 7) (Figura 1).

Figura 1 — Localização dos blocos de talhadia e alto fuste com o monitoramento de fluxo de seiva nos clones 12 e 16 na área de estudo, localizada na Fazenda Americana, Itatinga, SP

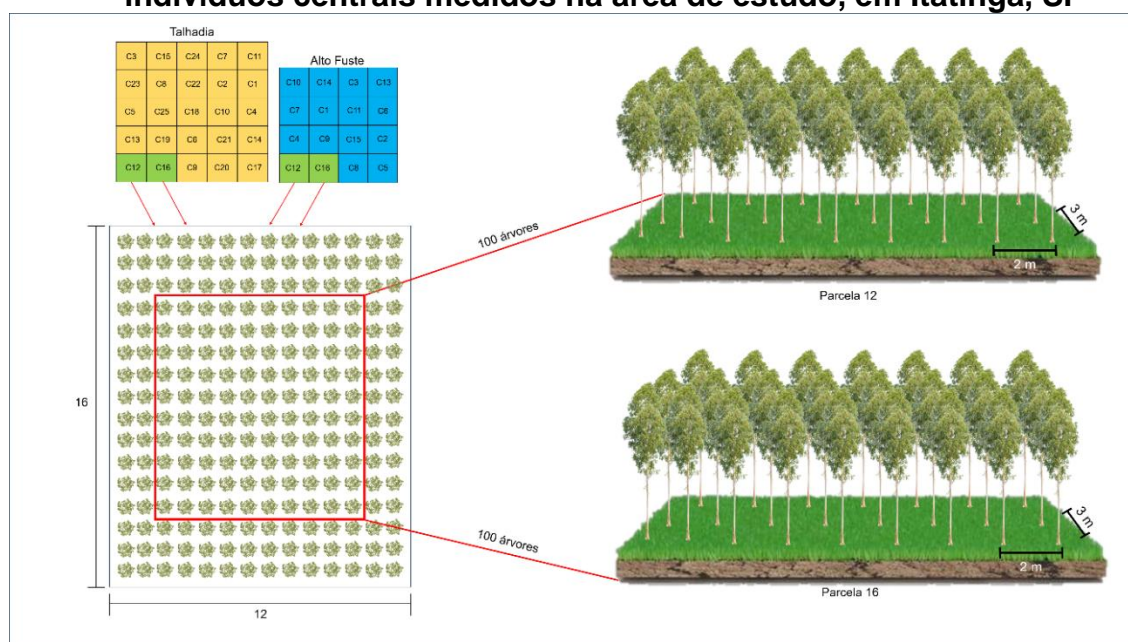


Roberta Patrícia de Sousa Silva- 2024

O sistema de manejo por talhadia é composto por 16 materiais genéticos e no alto fuste, 25. As parcelas estudadas são as formadas pelos clones C12 (*Eucalyptus urophylla* sp.), uma das espécies mais plantadas no país, devido a sua boa produtividade e plasticidade aos mais variados ambientes, e o C16 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus calmadulensis*), que é geralmente implantado em áreas mais secas, por ser tolerante a esse tipo de ambiente.

As parcelas estudadas em ambos os manejos são compostas por 12 linhas de 16 árvores em espaçamento 3x2, totalizando 192 indivíduos. Porém a área de medição considerada útil era formada por 10 linhas com 10 plantas, totalizando 100 indivíduos centrais, e o restante era considerado borda (Figura 2).

Figura 2 — Croqui da área experimental com as parcelas 12 e 16 nos manejos por alto fuste e talhadia, com destaque para representação espacial dos 100 indivíduos centrais medidos na área de estudo, em Itatinga, SP



Roberta Patrícia de Sousa Silva- 2024

2.3.2 Calibração

A equação de calibração utilizada foi proposta por (Rojas *et al.*, 2010) que foi desenvolvida para espécies de Eucaliptos em decorrência de observarem subestimações nos seus resultados utilizando a equação genérica de (Granier, 1987).

De forma resumida, o ensaio apresentado por Rojas *et al.*, (2010) foi realizado na mesma área do presente estudo, na cidade de Itatinga, utilizando espécies *E.grandis* através de medições diretas do consumo de água em 3 indivíduos com idades entre 19, 45, 54 e 72 meses, totalizando 12 árvores.

As árvores foram cortadas e mantidas no local depositadas em um reservatório com água para medição do volume utilizado diariamente por cada indivíduo. Concomitantemente, utilizando a metodologia de Granier (1987), foram monitorados os valores térmicos gerados por três sensores de cada árvore e que serviram para gerar os coeficientes de calibração que são apresentados a seguir:

$$SF = 478.017 * 10^{-6} \cdot k^{1.231} A \dots \left(\frac{m^3}{s}\right) \quad (1)$$

Onde:

SF= Fluxo de seiva;

K = Fator térmico (índice de fluxo);

A = Área de alburno (m²)

Após a obtenção da equação de calibração, foi realizada validação do modelo utilizando a mesma metodologia, mas, desta vez, com árvores de 29 e 65 meses de idade, sendo três indivíduos por idade.

Com o intuito de verificar a coerência da metodologia, ainda foi realizada uma avaliação qualitativa com um método independente (Eddy Covariance) em nível de povoamento. Foram instalados sensores em 15 árvores de diversos tamanhos durante 8 meses num povoamento comercial de 6 anos de idade. A transpiração pelo método da Sonda de Dissipação Térmica foi estimada ponderando a transpiração dos indivíduos pela proporção de sua classe de tamanho. Por outro lado, a medição da transpiração direta pelo povoamento foi obtida utilizando sensores de Eddy Covariance (IRGA-Licor Mod.7500 e Anemómetro Sônico Yong-Mod.8100).

2.3.3 Área do alburno e fluxo de seiva

Nos blocos de talhadia e alto fuste, nos inventários nas parcelas 12 e 16 foram retirados 6 indivíduos para os testes destrutivos, onde foram retirados segmentos de troncos a altura do peito para a posterior determinação da área do alburno (condução de água) usando um sistema hidráulico.

Logo após a área do alburno ser identificada visualmente, eram escaneadas e pintadas para serem digitalizadas utilizando um programa específico, do MatLab para determinar a área (cm²) para cada clone e manejo, através de inventários realizados entre 2020 e 2023. A quantificação área de alburno das 6 amostras resultou no equacionamento da relação Área de Alburno Vs Área Total de cada árvore e em cada inventário. As equações resultantes foram utilizadas para aplicar na determinação do fluxo de seiva (Rojas *et al.*,2010).

Foram selecionadas 10 árvores em cada clone+manejo (C12 talhadia, C12 Alto fuste, C16 talhadia, C16 Alto fuste) que representassem a amplitude de diâmetros da maioria dos indivíduos das parcelas (n=100). Dessa forma, foram instaladas pares de

sondas de dissipação térmica, de 2 cm com 15 cm de distância vertical entre uma e outra, contendo fio aquecedor no interior da agulha superior. As sondas foram protegidas por lâmina refletora, para evitar aquecimento excessivo da radiação solar (Granier, 1985),

As sondas eram conectadas a um datalogger equipado com um multiplexador (CR1000 e AM16/32, Campbell Scientific, Logan Utah), alimentado por rede de energia local o qual passa por um transformador controlando a tensão para 12 volts, onde as diferenças entre temperaturas da agulha superior e inferior em relação ao fluxo de seiva eram medidas a cada 15 segundos e médias eram geradas de 30 em 30 minutos (Figura 3).

Figura 3 — Indivíduos dos clones 12 e 16 na área de estudo com os sensores de fluxo de seiva (a), datalogger (CR1000) utilizado para registro dos dados (b)



Roberta Patrícia de Sousa Silva – 2024

Os sensores eram movidos do ponto de inserção em determinados períodos de acordo com o crescimento, devido a variação na velocidade do fluxo de seiva, além da necessidade de manutenção em decorrência das deformações causadas pela injúria do furo para os sensores na madeira, que acabavam limitando o contato das sondas com o xilema.

2.3.4 Transpiração dos clones no alto fuste e talhadia

Foram 3 anos de monitoramento (maio de 2020 a maio de 2023) em 10 indivíduos centrais por clone e manejo sem falhas nas proximidades (Talhadia - C12 T, C16 T e Alto fuste - C12 AF, C16 AF), totalizando 40 árvores. As árvores escolhidas para o monitoramento na talhadia, seguiam o padrão comercial adotado com um fuste por cepa.

As parcelas (clones) eram formadas por 100 indivíduos em espaçamento 3 m x 2 m. A quantificação das transpirações diárias (T) em L/árvore dia⁻¹ foi extrapolada para todos os indivíduos da parcela em cada tratamento por meio da equação $T = \beta_0 + \beta_1 * CAP^2$, em que os parâmetros β_0 e β_1 foram obtidos da relação da transpiração (área do alburno) de cada tratamento (clone e manejo) e seus respectivos CAPs (cm).

Para transformar a transpiração em mm, foi realizada a soma da transpiração diária em litros dos 100 indivíduos de cada parcela (clones) em cada manejo, dividindo pela área ocupada por cada árvore (6m² x 100). Posteriormente, a média mensal em mm foi determinada para os 4 tratamentos (C12 AF, C12 T, C16 AF, C16 T), como também o acumulado mensal.

2.3.5 Eficiência do uso de água dos clones nos manejos

Com monitoramento de fluxo de seiva e CAP dos 10 indivíduos em cada tratamento, também foi calculada a eficiência do uso de água (EUA). Com os CAPs dessas árvores medidos mensalmente e em posse das equações de extrapolação e transpiração para os clones nos manejos já anteriormente determinadas, obteve-se a transpiração mensal das árvores. Já para o cálculo da biomassa (kg de biomassa do fuste) foram utilizados os parâmetros das equações de biomassa de tronco para cada clone e manejo, demonstradas no capítulo 1.

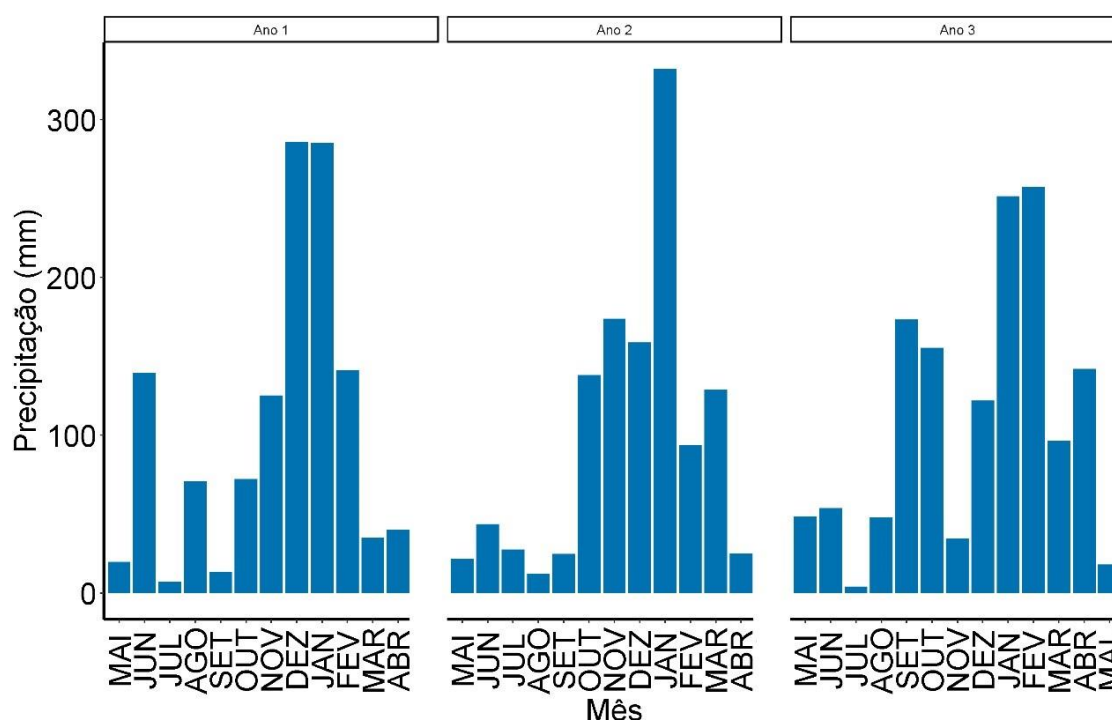
Com base nos períodos estabelecidos: Ano 1 (maio de 2020 a abril de 2021); Ano 2 (maio de 2021 a abril de 2022); e Ano 3 (maio de 2022 a maio de 2023), quantificou-se o incremento corrente anual em biomassa (ICA kg biomassa do fuste) referente ao uso de água em m³ para obtenção da EUA (kg.m³), em que dividiu-se o ICA pelo uso de água em cada período (ano) (Hubbard *et al.*, 2010).

2.3.6 Caracterização da precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos anos utilizando dados da torre de monitoramento entre 2020 a 2023. Observa-se que o período de maior precipitação na região concentra-se nos meses entre novembro e fevereiro, com maior pico em janeiro (250 a 330 mm) (Figura 4).

Observa-se que o período de maior precipitação na região concentra-se nos meses entre novembro e fevereiro, com maior pico em janeiro (250 a 330 mm) (Figura 4). Além do mais, a precipitação acumulada para o ano 1 (maio de 2020 a abril de 2021) foi de 1236 mm, e para o ano 2 (maio de 2021 a abril de 2022) de 1181 mm, abaixo da média anual da região, e o Ano 3 (maio de 2022 a maio de 2023) de 1400 mm. O ano 3 apresentou a maior precipitação acumuladas entre os períodos de medição, valor este que está acima da média anual esperada para a área de estudo (Figura 4).

Figura 4 — Precipitação (mm) nos períodos de medição na área de estudo localizada na cidade de Itatinga, SP. Ano 1 (maio de 2020 a abril de 2021); Ano 2 (maio de 2021 a abril de 2022), e Ano 3 (maio de 2022 a maio de 2023)



2.3.7 Determinação do IMA

O IMA referente a cada tratamento foi calculado a partir das parcelas, e em seguida, extrapolado para os oito blocos (Talhadia - 4 blocos e alto fuste - 4 blocos). Para isso, foram considerados os indivíduos nas idades em que houveram medições de todos os blocos de cada manejo, nos mesmos períodos anteriormente determinados para transpiração e EUA. O IMA foi obtido dividindo a biomassa em $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ pela idade dos clones.

2.3.8 Análises estatísticas

Avaliou-se as diferenças entre médias dos tratamentos (clone+manejo) através de um fatorial triplo $2 \times 2 \times 3$ (2 clones, 2 manejos e 3 anos de medição), utilizando o pacote ExpDes.pt (Experimental Designs portuguese) do software R, para comparação das médias com base nos testes de Tukey ($p < 0,05$).

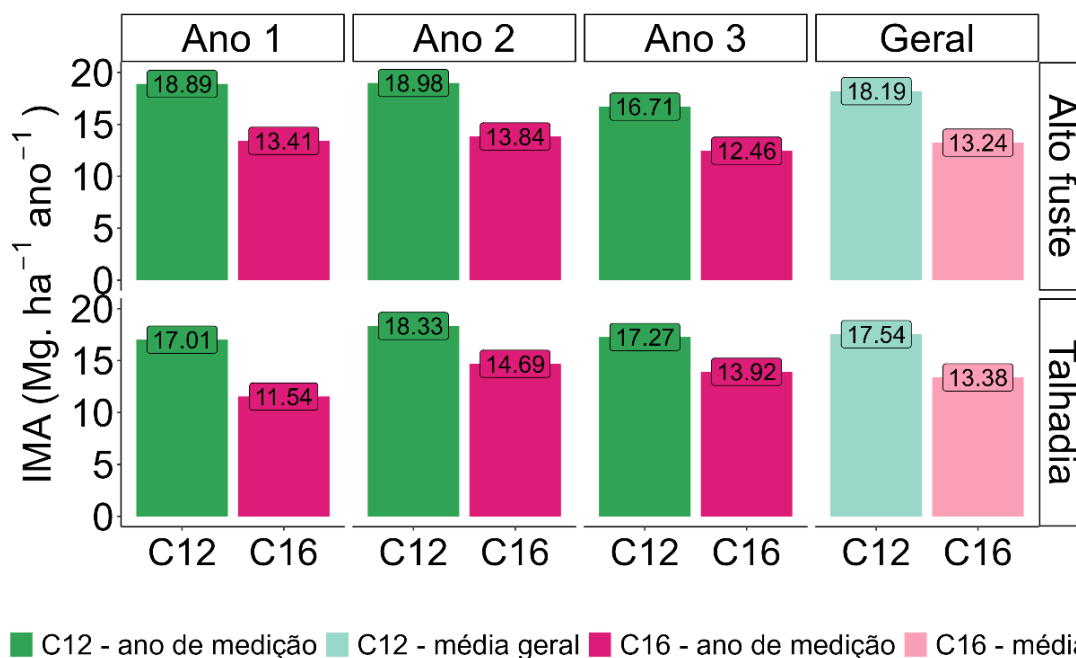
Toda a manipulação dos dados e construção das figuras e gráficos em relação a transpiração, eficiência do uso de água e o IMA, foram realizados no software R versão 4.3.2.

2.4 RESULTADOS

O incremento em biomassa para C12 foi maior em todos os três períodos de medição no alto fuste em 41%, 37% e 34%, para os anos 1, 2 e 3, quando comparado ao C16 respectivamente (Figura 5).

Na talhadia, houve uma disparidade entre os clones apenas no ano 1, com um incremento de 47% a mais para o clone C12 em relação ao C16. No entanto, ao longo dos anos subsequentes, apesar do maior incremento para C12, observou-se uma tendência de redução nas diferenças de crescimento entre os clones em relação ao alto fuste, com 25% no ano 2 e 24% no ano 3 (Figura 5).

Figura 5 — Incremento Médio anual (IMA $\text{Mg. ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) entre os clones (C12 e C16) e manejos (alto fuste e talhadia) por períodos de medição e geral



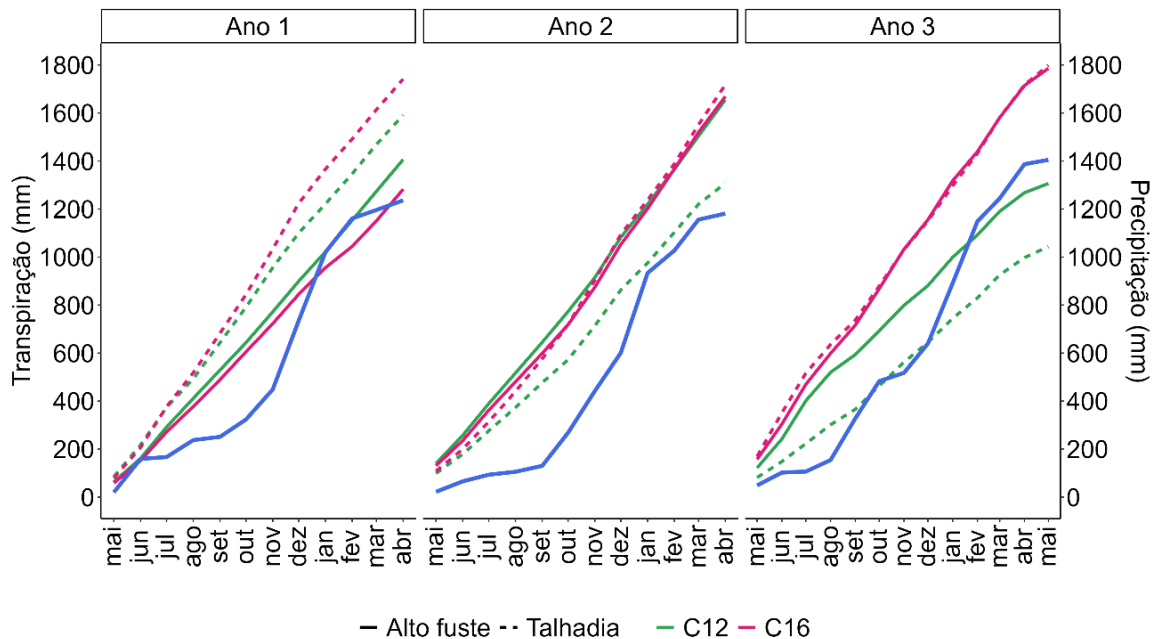
Em relação ao uso de água para os clones nos manejos, verifica-se que a transpiração no período entre 2020 a 2021 foi maior para os clones na talhadia, principalmente para C16 (1741 mm), que transpirou 35% a mais do que no alto fuste (1282 mm) e 40% a mais do valor da precipitação para o período (1236 mm) (Figura 4). A diferença entre talhadia e alto fuste foi menor para o C12. Nesse período, os clones estavam entre 9 meses e 1,5 anos de idade no alto fuste e no pico de crescimento na talhadia, 1,2 a 2 anos (Figura 6).

No segundo período entre 2021 e 2022, destaca-se o aumento na taxa de transpiração para o alto fuste em relação ao primeiro período, com C16 aumentando a transpiração em mais de 30% no segundo período e C12 em apenas 17%. Os clones transpiraram em torno de 1670 mm, excedendo precipitação no período em 41%. O pico de crescimento aumentou a demanda de água dos clones no alto fuste, que se encontravam entre 2,5 e 3,4 anos (Figura 6).

No período final, com os clones com o crescimento mais lento, entre 4,5 no alto fuste e 4,9 de idade na talhadia, observa-se que o C16 apresentou maior transpiração independente de manejo, aproximadamente 1800 mm, excedendo em 28% a precipitação do período (1400 mm). O C12, exibiu comportamento oposto

transpirando 37% (1300 mm) no alto fuste, e 72% na talhadia (1043 mm) a menos quando comparado ao C16, além de não exceder a precipitação em ambos os manejos, com destaque para a talhadia que ficou 32% abaixo no consumo (Figura 6).

Figura 6 —Transpiração (mm) dos clones 12 e 16 na talhadia e no alto fuste, juntamente com a precipitação (mm) (linha azul), por ano medição na área de estudo

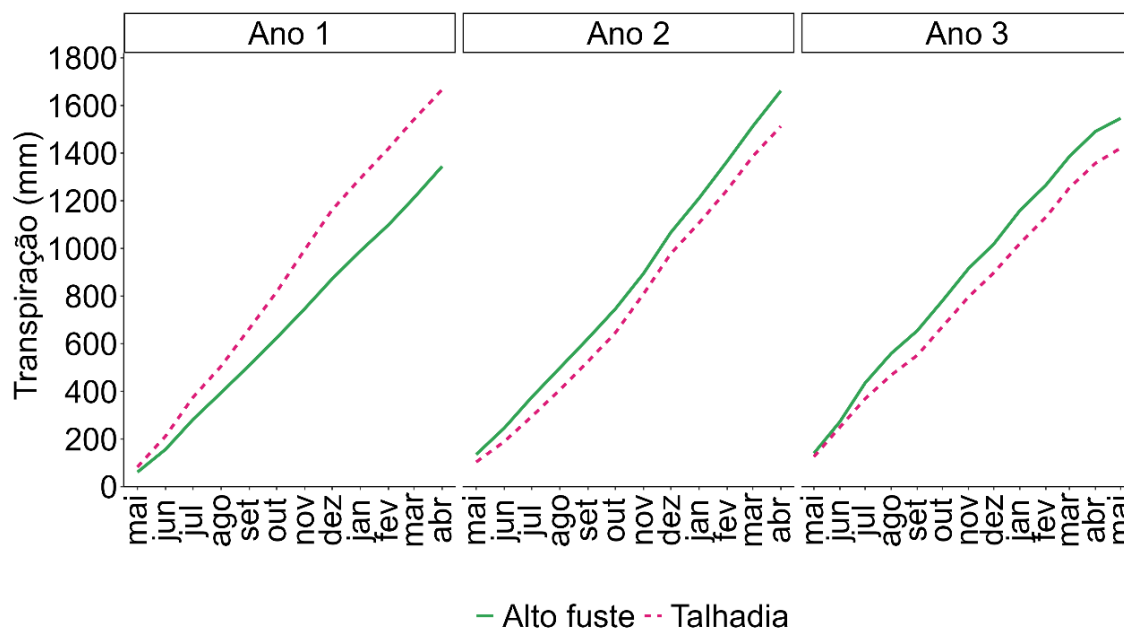


Quando se analisa os sistemas de manejos separadamente, a talhadia antecipou a exigência de água (1666 mm) em 25% para o período de arranque inicial de crescimento dos clones, entre 2020 e 2021, quando comparado aos indivíduos no alto fuste, os quais eram 5 meses mais novos (1344 mm) (Figura 7).

O alto fuste aumentou e ultrapassou em 8% (1546 mm), a taxa de transpiração do sistema de manejo em talhadia (1420 mm) no período entre 2021 e 2022, quando os clones estavam entre 2,5 e 3,4 anos, em decorrência da demanda tardia de água para o pico de crescimento dos clones (Figura 7).

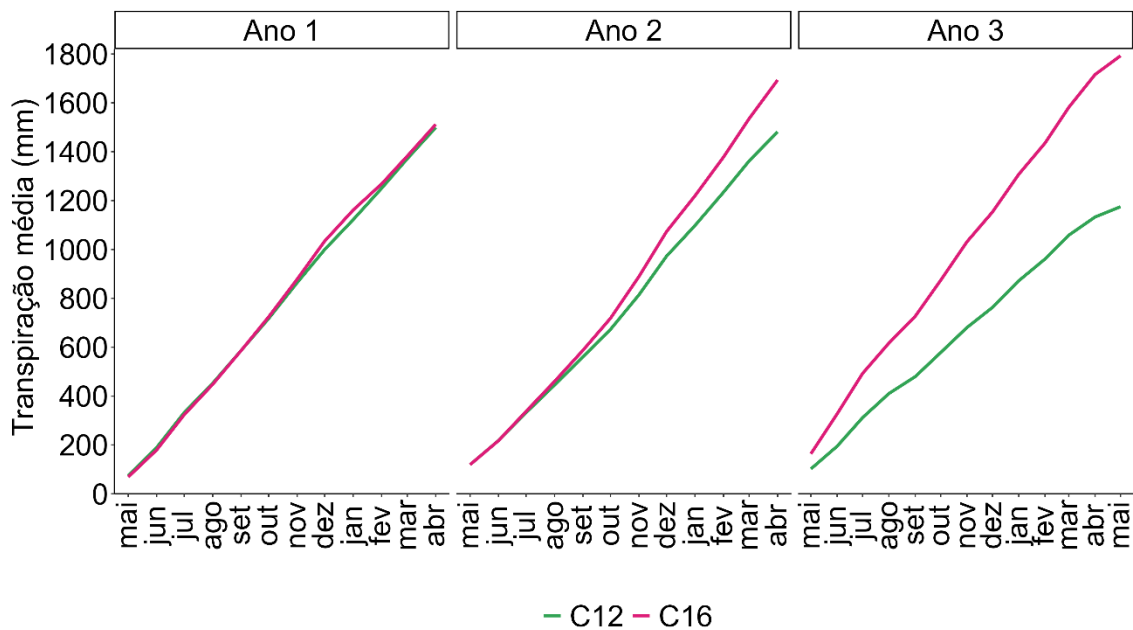
No período final de medição o comportamento permaneceu o mesmo, com o alto fuste (1546 mm) mantendo 9% a mais de transpiração comparado a talhadia (1420 mm) (Figura 7).

Figura 7 — Transpiração média (mm) dos clones 12 e 16 nos manejos por alto fuste e talhadia em cada ano medição



Já ao isolar os clones, nota-se que para o primeiro período, em fase arranque de crescimento inicial, os mesmos exibiram médias de transpiração semelhantes, C16 com 1511 mm e C12 com 1498 mm. Entretanto ao final do segundo período, o C16 elevou a média de transpiração em mais de 14% (1693 mm) quando comparado ao C12, que manteve a transpiração em torno de 1400 mm. Maiores diferenças na transpiração entre os clones podem ser verificadas para o período entre 2022 a 2023. O clone tolerante aumentou em 53% sua taxa de transpiração em relação a C12 (Figura 8).

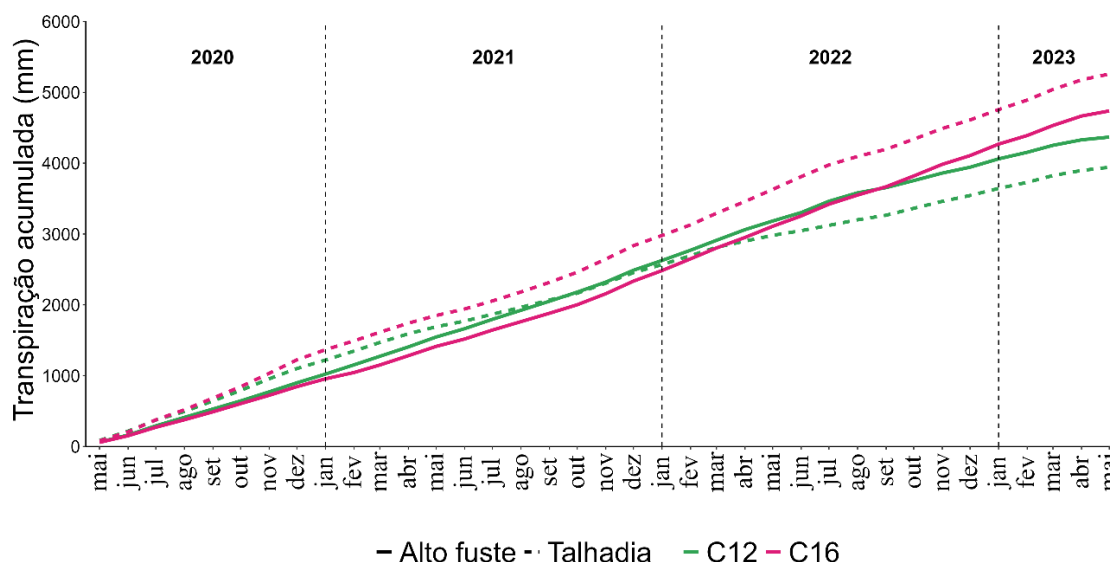
Figura 8 — Transpiração média (mm) dos clones C12 e C16 por períodos de medição



Em relação a transpiração acumulada durante os anos de medição, o C16 na talhadia apresentou maior taxa de transpiração em todo o período (5258 mm), porém, os clones no alto fuste a partir de 2022 aumentaram a demanda de transpiração, principalmente o C16 que tinha as menores taxas ao longo do período, e no final em maio/23 apresentou um total de (4737 mm). Já C12 apresentou menores taxas acumuladas na talhadia (3942 mm), principalmente a partir de 2022, como também no alto fuste (Figura 9).

O clone tolerante C16 transpirou 33% mais ao final do período em relação ao clone produtivo C12 na talhadia, e no alto fuste 9%, evidenciando as diferenças não só entre manejos, mas principalmente clones (Figura 9).

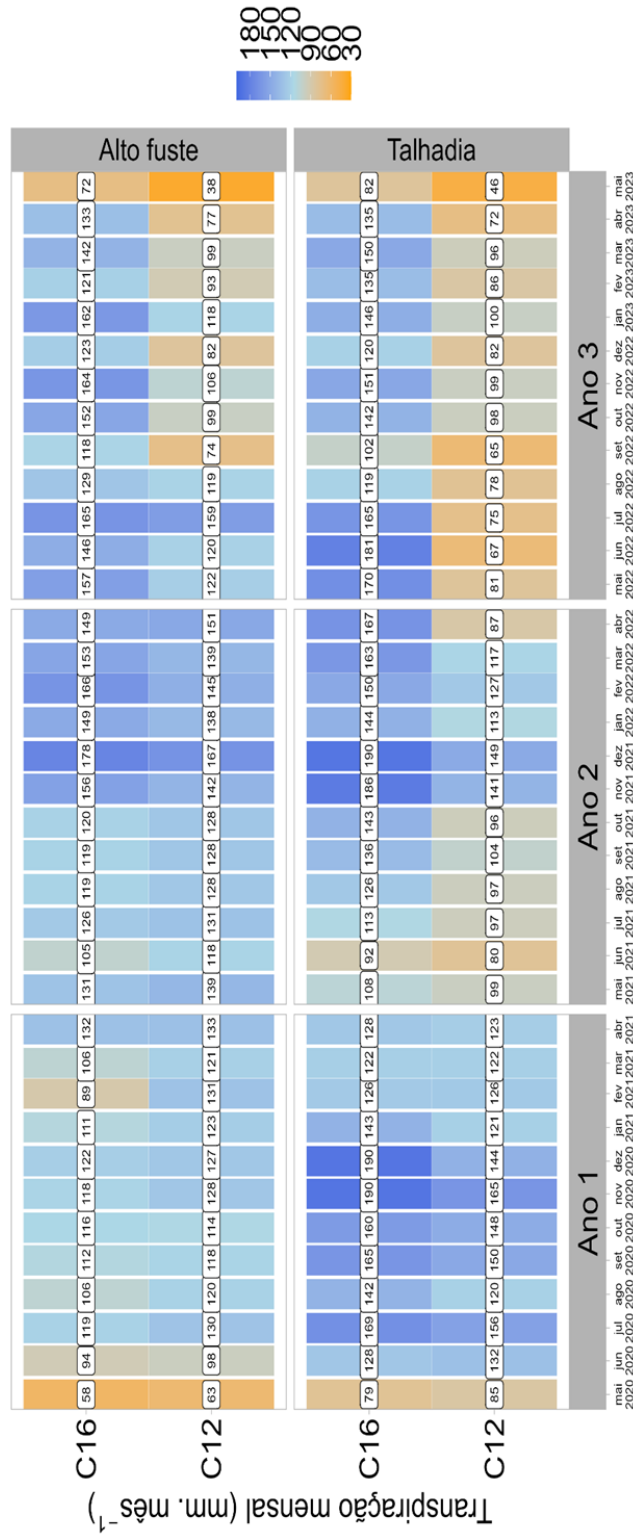
Figura 9 — Transpiração acumulada (mm) ao longo dos anos de medição (2020 a 2023) para os clones C12 e C16 na talhadia e no alto fuste



Em relação a transpiração mensal, verifica-se que no alto fuste, no ano 1, em decorrência do pico tardio de crescimento em relação a talhadia, as taxas de transpirações mensais dos clones são moderadas, essencialmente nos meses de baixa precipitação (maio a outubro). Entre os anos 2 e 3 observa-se maior demanda de transpiração, sobretudo nos meses de maior precipitação, no qual o C16 em dezembro transpirou 178 mm e C12 (167 mm). No ano 3, as disparidades na transpiração mensais entre os clones se tornam evidentes. O clone C16 demonstra taxas de transpiração mensais quase duas vezes maiores que C12, que se manteve estável nos meses de maior precipitação na região (novembro a março) (Figura 10).

Os padrões para a talhadia são bem evidenciados na transpiração mensal. A demanda de água no crescimento inicial é maior do que no alto fuste mesmo em meses mais secos como setembro, com C16 apresentando (165 mm) transpirados e C12 150 mm (Figura 10). A partir dos meses do ano 2, o C12 moderou e controlou as taxas de transpiração, sobretudo no ano 3, com taxas abaixo de 100 mm em quase todos os meses, comparado com C16 que exibiu comportamento contrário, aumentando a demanda de transpiração, tanto em meses de baixa e elevada precipitação como em dezembro de 2021 (180 mm) e junho de 2022 (190 mm) (Figura 10).

Figura 10 — Mapa de calor (Heatmap) da transpiração mensal (mm) para os clones C12 e C16 no alto fuste e talhadia por períodos de medição



Após as análises de uso de água, também foi comparada a eficiência de uso de água para clones e manejos nos anos de medições. No ano 1, referente a fase inicial de crescimento não houve redução diferenças entre os tratamentos (Figura 11).

No ano 2, o C12, clone produtivo, apresentou maior alocação de carbono e menor perda de água no período de investimento como pode-se verificar na figura de linhas (Figura 11), com médias superiores ($p < 0,05$) tanto na talhadia ($1,1 \text{ kg.m}^3$), como no alto fuste ($0,72 \text{ kg.m}^3$) em relação ao C16, clone tolerante ($0,47 \text{ kg.m}^3$) e ($0,45 \text{ kg.m}^3$) respectivamente (Figuras 12a).

No ano 3, período de crescimento mais lento dos clones por estarem próximo ao final da rotação (5 anos) em ambos os manejos, o C12 na talhadia demonstrou superioridade ($p < 0,05$) acentuada na eficiência do uso de água em relação aos demais tratamentos com média de $1,8 \text{ kg.m}^3$, entretanto, o desempenho observado no alto fuste foi de apenas $0,96 \text{ Kg.m}^3$ (Figura 12b). O C16 no alto fuste apresentou redução para EUA entre os anos 1 e 2, e estagnação no último período, porém, na talhadia, entre os anos 2 e 3, houve um ganho de eficiência de 88% em relação ao Ano 2 (Figura 11).

Figura 11 — Comparação da Eficiência de Uso de Água (EUA kg.m^3) entre os clones (C12 e C16) e manejos (alto fuste e talhadia). Árvores ($n=10$) em cada tratamento monitoradas com o fluxo de seiva por período de medição

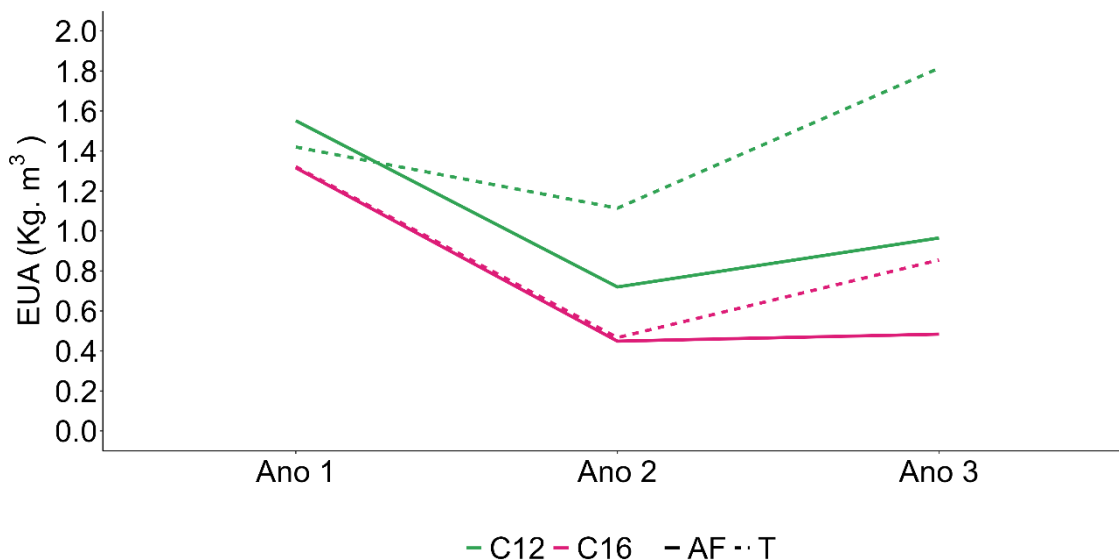
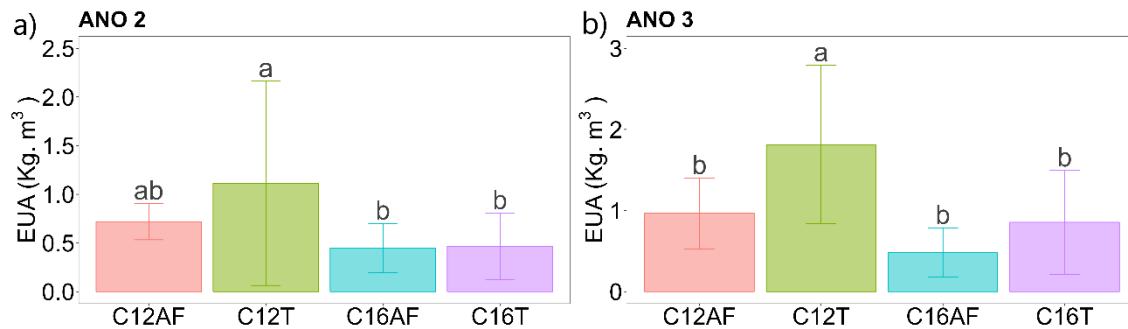
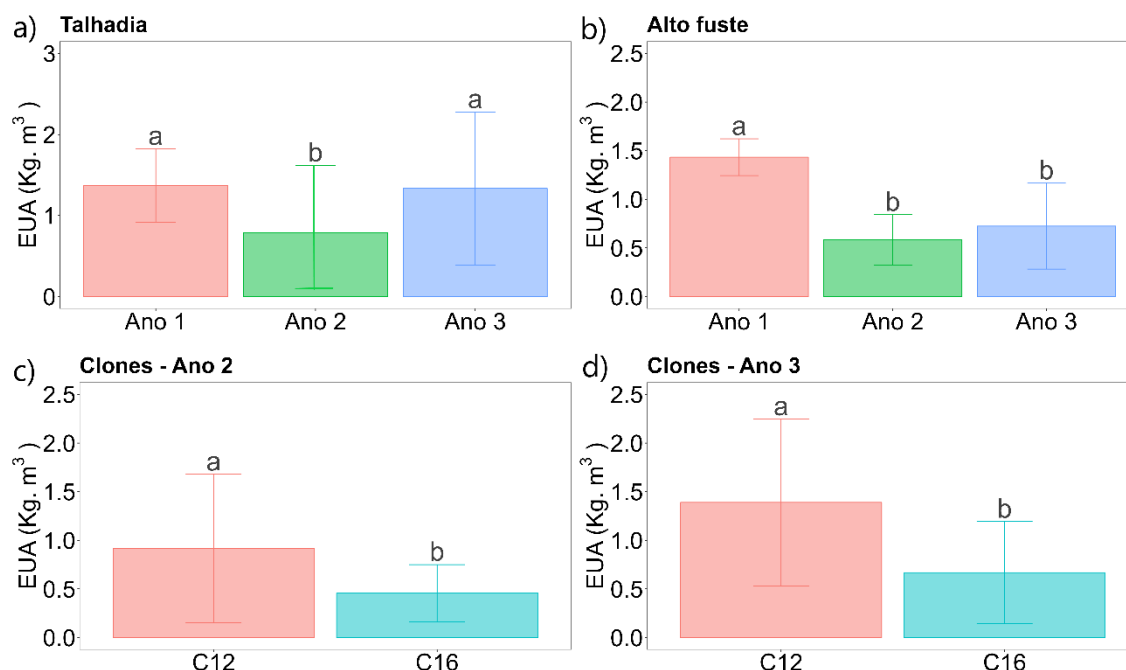


Figura 12 — Valores médios para Eficiência de Uso de Água (EUA Kg.m³ ano⁻¹) para os tratamentos entre os anos 2 (a) e 3 (b) de medição. As barras representam o desvio padrão, e as letras iguais nas barras indicam ausência de diferença estatística significativa ($p > 0,05$)



Quando se analisa as médias para os manejos em cada ano, a talhadia apresentou melhores desempenhos para EUA nos anos 3 (1,37 kg.m³) e 1 (1,33 kg.m³). Para o alto fuste, apenas o ano 1 (1,43 kg.m³), obteve média significativa superior quando comparado aos demais anos (Figuras 13a e 13b). Além do mais é possível notarmos uma redução na eficiência do uso da água ao longo dos anos de estudo. Enquanto que na talhadia, o ano 2, com os clones entre 2,8 e 3,8 anos, apresentou valores de eficiência do uso da água inferiores aos demais anos, e que mesmo o ano 1 adiantando o uso de água, a eficiência foi semelhante ao ano 3 (Figura 12a, 12b). Em relação aos clones, não houve diferenças no ano 1, porém no ano 2 (0,91 kg.m³) e 3 (1,38 kg.m³) as médias de EUA para C12 foram superiores ao C16 ($p < 0,05$) (Figuras 13c e 13d).

Figura 13 — Médias para Eficiência de Uso de Água (EUA kg.m³) entre os manejos de talhadia (a) e alto fuste (b) e clones (c) e (d), nos anos de medição (2 e 3). As barras representam o desvio padrão, e as letras iguais nas barras indicam ausência de diferença estatística significativa (p > 0,05)



2.5 DISCUSSÃO

O C16 utilizou mais água ao final do período de medição, independentemente de manejo, com a talhadia potencializando o uso apenas no primeiro período de medição. A relação do C16 com a talhadia em princípio, com os clones aos 2 anos, ou seja, em fase investimento em crescimento inicial propiciou maior uso de água devido a alguns fatores como o maior investimento em biomassa de raízes, o que é característico de clones tolerantes, adquirido do cruzamento com *E.camaldulensis* (Campoe *et al.*, 2020; Hakamada *et al.*, 2020), como do próprio clone.

Em estudo realizado em ambiente com restrição e sem restrição de água, o C16 em ambiente úmido, demonstrou maior profundidade média de enraizamento (8,75 m), enquanto C12 por volta de 6 m, e em ambiente mais seco, exibiram comportamento semelhante. O C16 ainda apresentou maior profundidade observada de raízes finas entre 7,9 e 12,8 aos 6 anos (Basílio, 2021).

Dessa forma, as características do clone, aliado ao sistema radicular da talhadia já formado permitiu acesso a água em camadas profundas, logo nos primeiros anos

de cultivo, fato que, não acontece com o alto fuste, visto que a árvore ainda precisa alocar carbono para a formação de raízes finas que permanece em maior parte ativo, como relatado para espécies de *E.grandis*, onde verificou-se crescimento em raízes finas a uma profundidade de 14 m logo no primeiro ano de condução, em comparação com o alto fuste, que enraizou 7 m após um ano de plantio .(Christina *et al.*, 2011; Germon *et al.*, 2019; Laclau *et al.*, 2013).

Esses fatores impulsionaram o maior uso de água no primeiro período de medição para C16 na talhadia entretanto, esse padrão não foi mantido para os anos subsequentes, e sim sua característica de maior transpiração independentemente de manejo. Os indivíduos do C16 no alto fuste entre 2,5 e 3,4 anos ao final do segundo período transpiraram aproximadamente a mesma quantidade (1700 mm), dos indivíduos da talhadia com 5 meses a mais de condução, e mesmo com o crescimento mais lento, próximos aos 5 anos, no último período, os indivíduos em ambos os manejos transpiraram aproximadamente 1800 mm.

Entretanto é importante salientar o elevado consumo de água do C16 (36%) na talhadia no primeiro período de medição, comparado aos indivíduos no alto fuste, que mesmo elevando e ultrapassando o consumo nos anos seguintes, os indivíduos da talhadia ainda apresentaram maior uso acumulado de água ao longo do tempo (5260 mm), sendo este 11% superior ao alto fuste ao final da medição.

Dessa forma, a talhadia não consumiu mais água em todos os períodos, mas antecipou uma maior demanda no primeiro período de medição, em virtude do arranque do crescimento inicial, principalmente em decorrência da relação com o clone tolerante. Já a associação da talhadia com o genótipo mais produtivo proporcionou redução na transpiração à medida que o crescimento ficou mais lento de acordo com a idade do clone, chegando ao terceiro período de medição com 34% de consumo abaixo da precipitação. Esses dados trazem novas perspectivas e informações que diferem de uma série de pesquisas anteriormente realizadas que relatavam que o manejo por talhadia, poderia consumir mais água em qualquer idade (Almeida *et al.*, 2007; Cabral *et al.*, 2010; Forrester *et al.*, 2010; Hubbard *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2017).

Destaca-se também a importância do monitoramento a longo prazo, e sua importância para compreender o ciclo água-floresta (Campbell *et al.*, 2019). Observou-se, que o pico de uso na talhadia ocorreu aos 2 anos de idade e que a partir dos 3,8 anos houve redução gradativa no uso, e para o alto fuste, o maior pico ocorreu aos

3,4 anos como esperado em florestas plantadas (Ferraz *et al.*, 2019; Forrester *et al.*, 2010). Essas informações podem sugerir que pesquisas de monitoramento mais curtas que encontraram maior uso de água no manejo por talhadia, sobretudo no período de pico (2 anos) (Drake *et al.*, 2012; Ferraz *et al.*, 2021), quando comparada a plantios de nativas e mudas de eucaliptos, poderiam ter apresentado resultados diferentes com maior tempo de monitoramento.

É nítido que mesmo com o clone de menor transpiração, o consumo de água na talhadia ainda é elevado. O uso do recurso hídrico nos plantios florestais vem sendo debatido em diversos trabalhos que visam a proteção do recurso hídrico para todos os usuários, através do monitoramento em bacias hidrográficas (Ferraz *et al.*, 2021; Ferraz *et al.*, 2019). As discussões nas últimas décadas giram principalmente em torno de mudanças no manejo florestal para que reduzam o consumo, como a utilização de mosaicos com diferentes idades, rotações com um número maior de anos (Ferraz *et al.*, 2013), redução na densidade de plantio, e seleção de materiais genéticos com melhor eficiência no uso de água (Hakamada *et al.*, 2020; Hubbard *et al.*, 2020).

Nesse sentido, os dados encontrados para interação entre o C12 de baixa transpiração e altamente produtivo com a talhadia em relação ao uso de água, trouxeram uma nova visão sobre a manutenção das raízes em camadas profundas do solo, propiciarem maior consumo de água. Observou-se nesse estudo que a associação reduziu o consumo em 22% no segundo período e 25% no último, potencializando a eficiência de uso de água nesses períodos em mais de 100%, quando comparado ao C16 em ambos os manejos, e para os seus indivíduos no alto fuste em 53% no segundo ano, e 87% ao final das medições. Esses resultados surpreendentes, demonstraram que o clone produtivo, com o sistema radicular estabelecido em camadas mais profundas, teve o suporte necessário para concentrar o investimento da energia na alocação de carbono acima do solo, reduzindo o uso de água gradativamente.

A elevada eficiência do C12 na talhadia, refletiu na média geral de incremento em biomassa, que conseguiu produzir de forma semelhante aos indivíduos do alto fuste, utilizando 60% menos água em todo período. Essa pequena diferença de 4% na média geral de incremento em biomassa para os indivíduos do alto fuste, pode ser relacionada as condições climáticas dos dois primeiros anos de medição, como a baixa precipitação, que pode ter causado essa redução na produtividade (Rocha *et*

al., 2019), além do pico de uso observado no primeiro ano, em que o consumo foi maior em detrimento da fixação de carbono.

Esses resultados também indicam que associação do C12 com a talhadia pode favorecer períodos de recarga, devido a gradativa redução no consumo ao longo do ciclo, evitando o esgotamento de água no solo causado pelas sucessivas rotações, que são motivo de preocupação em alguns estudos sobre a intensificação de uso no ciclo curto em sucessivas rotações (Christina *et al.*, 2017; Ferraz *et al.*, 2021; Rodríguez-Suárez *et al.*, 2011).

Com os futuros cenários climáticos indicando aumento de 1,5° a 2° C na temperatura na América do Sul até 2030, combinado com as irregularidades nos padrões de precipitação, ocasionará um aumento expressivo no déficit hídrico, que pode atingir 750 mm ano⁻¹ principalmente nas regiões mais susceptíveis, para onde os plantios de Eucaliptos estão se expandindo no país, como estados do nordeste e centro-oeste (Martins *et al.*, 2022; Torres *et al.*, 2022).

Diante dos impactos climáticos e conflitos no uso de água que tendem a se intensificar, os resultados apresentados trazem novas perspectivas para o setor florestal e principalmente para o manejo por talhadia, que vem sendo tratado com bastante ressalvas em relação a intensificação do uso de água observados em diversos estudos, em regiões com déficit hídrico.

Nesse estudo, em um local com déficit hídrico mediano, a talhadia conseguiu com a seleção de genótipo adequado, proporcionar o menor uso de água e a maior eficiência no uso, produzindo de forma semelhante ao alto fuste.

Recomenda-se dessa forma, que estudos futuros sejam realizados em áreas de maior e menor déficit hídrico, com outros genótipos, com características intermediárias em tolerância à seca e eficiência no uso de água, para analisar o efeito da talhadia também nessas condições, no sentido de até que ponto, o sistema radicular estabelecido potencializaria a eficiência e o uso de água nesses materiais. Com os períodos de escassez de água aumentando gradativamente também é importante testar outros genótipos médios em capacidade produtiva, principalmente visando a implantação em áreas de maior risco de conflitos pensando nos demais usuários do recurso hídrico em toda bacia.

2.6 CONCLUSÕES

A associação das características maior enraizamento do C16 com a talhadia, maximizou o uso de água no arranque de crescimento inicial, porém, nos anos subsequentes o clone apresentou maior uso independentemente de manejo, corroborando com a primeira hipótese e em parte com segunda.

A talhadia não utilizou mais água em todos os anos de medição, mas antecipou o pico de uso em decorrência do crescimento inicial dos clones no primeiro ano, principalmente em decorrência da associação com o C16. Nos demais anos, o uso diminuiu gradativamente ao longo do tempo sobretudo para C12, corroborando em parte com a terceira hipótese formulada.

A relação do clone de alta produtividade com a talhadia após o segundo ano de medição proporcionou menores taxas de transpiração e elevada eficiência de uso de água, corroborando com a quarta hipótese. Entretanto, o C16 exibiu elevada transpiração e conseqüentemente baixa eficiência em todos os anos de medições em ambos os manejos.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, S. T.; KRAUSS, K. W.; COCHRAN, J. W.; KING, S. L.; KEIM, R. F. Wetland tree transpiration modified by river-floodplain connectivity. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, 121 (3), 753–766, 2016.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, 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**, [s. l.], v. 251, n. 1–2, p. 10–21, 2007.
- BASÍLIO, J. J. N. **Raízes finas em plantações de eucalipto: efeitos genéticos e edafoclimáticos**. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) — Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, p. 74, 2021.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, A. O.; Ito et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1531-1540, 2000.
- BOUVET, J. M.; EKOMONO, C. G. M.; BRENDEL, O.; LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P. Selecting for water use efficiency, wood chemical traits and biomass with genomic selection in a Eucalyptus breeding program. **Forest Ecology and Management**, v. 465, p. 118092, 2020.
- BUSH, S. E.; HULTINE, K. R.; SPERRY, J. S.; EHLERINGER, J. R. Calibration of thermal dissipation sap flow probes for ring- and diffuse-porous trees. **Tree Physiology** 30 (12), 1545–1554, 2010.
- BRISSON, N.; OLIOSO, A.; CLASTRE, P. Daily transpiration of field soybeans as related to hydraulic conductance, root distribution, soil potential and midday leaf potential. **Plant Soil**, 154: 227-23, 1993.
- CABRAL, O. M. R.; ROCHA, H. R.; GASH, J. H. C.; LIGO, M. A. V.; FREITAS, H. C.; TATSCH, J. D. The energy and water balance of a Eucalyptus plantation in southeast Brazil. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 388, n. 3–4, p. 208–216, 2010.
- CAMPOE, O. C.; ALVARES, C. A.; CARNEIRO, R. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; HUBBARD, R. M.; STAHL, J.; MOREIRA, G.; MORAES, L. F.; STAPE, J. L. Climate and genotype influences on carbon fluxes and partitioning in Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 475, 2020.
- 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**, [s. l.], v. 2, n. 3, 2011.

CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J. P.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; LAMBAIS, G. R.; LE MAIRE, G. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 509–519, 2017.

CRUIZIAT, P.; COCHARD, H.; AMÉGLIO, T. Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. **Annals of forest science**, v. 59, n. 7, p. 723-752, 2002.

DIX, M. J.; AUBREY, DOUG, P. Calibration approach and range of observed sap flow influences transpiration estimates from thermal dissipation sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 307, p. 108534, 2021.

DORONILA, A. I.; FORSTER, M. A. Performance measurement via sap flow monitoring of three Eucalyptus species for mine site and dryland salinity phytoremediation. **International Journal of Phytoremediation**, v.17, p. 101-108, 2015.

DRAKE, P. L.; MENDHAM, D. S.; WHITE, D. A.; OGDEN, G. N.; DELL, B. Water use and water-use efficiency of coppice and seedling Eucalyptus globulus Labill.: A comparison of stand-scale water balance components. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 350, n. 1–2, p. 221–235, 2012.

ELLI, E. F.; SENTELHAS, P. C.; BENDER, F. D. Impacts and uncertainties of climate change projections on Eucalyptus plantations productivity across Brazil. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 474, 2020.

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

FERRAZ, S. F. de B.; RODRIGUES, C. B.; GARCIA, L. G.; ALVARES, C. A.; LIMA, W. de P. Effects of Eucalyptus plantations on streamflow in Brazil: Moving beyond the water use debate. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 453, 2019.

FERRAZ, S. F. B.; RODRIGUES, C. B.; GARCIA, L. G.; PEÑA-SIERRA, D.; FRANZOZI, A.; OGASAWARA, M. E. K.; VASQUEZ, K.; MOREIRA, R. M.; CASSIANO, C. C. How do management alternatives of fast-growing forests affect water quantity and quality in southeastern Brazil? Insights from a paired catchment experiment. **Hydrological Processes**, [s. l.], v. 35, n. 9, 2021.

FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; MORRIS, J. D. Transpiration along an age series of Eucalyptus globulus plantations in southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 259, n. 9, p. 1754–1760, 2010.

FERRETO, D. O. C.; REICHERT, J. M.; CAVALCANTE, R. B. L.; SRINIVASAN, R. Water budget fluxes in catchments under grassland and eucalyptus plantations of different ages. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 51, n. 4, 2021.

FLO, V.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; STEPPE, K.; SCHULDT, B.; POYATOS, R. A synthesis of bias and uncertainty in sap flow methods. **Agricultural and Forest Meteorology**, 271, 362–374, 2018.

GERMON, A.; JOURDAN, C.; BORDRON, B.; ROBIN, A.; NOUVELLON, Y.; CHAPUIS-LARDY, L.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; PRADIER, C.; GUERRINI, I. A.; LACLAU, J. P. Consequences of clear-cutting and drought on fine root dynamics down to 17 m in coppice-managed eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 445, p. 48–59, 2019.

GONÇALVES, J. L. de M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. de B.; LIMA, W. de P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.;

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

GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiology**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 309–320, 1987.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des sciences forestières**, [s. l.], v. 42, p. 193–200, 1985.

HAKAMADA, R. E.; HUBBARD, R. M.; MOREIRA, G. G.; STAPE, J. L.; CAMPOE, O.; FERRAZ, S. F. de B. Influence of stand density on growth and water use efficiency in Eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 466, 2020.

HAKAMADA, R.; HUBBARD, R. M.; FERRAZ, S.; STAPE, J. L.; LEMOS, C. Biomass production and potential water stress increase with planting density in four highly productive clonal Eucalyptus genotypes. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 79, n. 3, p. 251-257, 2017.

HAYAT, F.; AHMED, M. A.; ZAREBANADKOUKI, M.; CAI, G.; CARMINATI, A. Measurements and simulation of leaf xylem water potential and root water uptake in heterogeneous soil water contents. **Advances in water resources**, v. 124, p. 96-105, 2019.

HUBBARD, R. M.; CARNEIRO, R. L.; CAMPOE, O.; ALVARES, C. A.; FIGURA, M. A.; MOREIRA, G. G. Contrasting water use of two Eucalyptus clones across a precipitation and temperature gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 475, 2020.

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 Ecology and Management**, [s. l.], v. 259, n. 9, p. 1714–1721, 2010.

HULTINE, K. R.; NAGLER, P. L.; MORINO, K.; BUSH, S. E.; BURTCH, K. G.; 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**. 150 (11), 1467–1475, 2010.

IBÁ. **INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES**. [S. l.: s. n.], 2023.

LACLAU, J. P.; DA SILVA, E. A.; RODRIGUES LAMBAIS, G.; BERNOUX, M.; LE MAIRE, G.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; 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**, [s. l.], v. 4, n. JUL, 2013.

LIU, W.; WU, J.; FAN, H.; DUAN, H.; LI, Q.; YUAN, Y.; ZHANG, H. Estimations of evapotranspiration in an age sequence of *Eucalyptus* plantations in subtropical China. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 12, n. 4, 2017.

MARTÍNEZ-VILALTA, J. POYATOS, R.; AGUADÉ, D.; JAVIER, R.; MENCUCCINI, M. A new look at water transport regulation in plants. **New phytologist**, v. 204, n. 1, p. 105-115, 2014.

MARTINS, F. B.; BENASSI, R. B.; TORRES, R. R.; DE BRITO NETO, F. A. Impacts of 1.5 °C and 2 °C global warming on *Eucalyptus* plantations in South America. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 825, 2022.

MEDRANO, H.; J. BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, M.; RIBAS-CARBÓ, Y.; GULÍAS, J. Eficiencia en el uso de agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas**. 43: 63-84, 2007.

NADEZHDINA, N.; CERMAK, 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** 22 (13), 907–918, 2002.

NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 301, p. 6–27, 2013.

PETERS, R. L. et al. Quantification of uncertainties in conifer sap flow measured with the thermal dissipation method. **New Phytologist**, v. 219, n. 4, p. 1283-1299, 2018.

POYATOS, R et al. Global transpiration data from sap flow measurements: the SAPFLUXNET database. **Earth System Science Data Discussions**, v.13, n. 6, p. 2607–2649, 2021.

ROCHA, J. H. T.; WENZEL, A. V. A.; MELO, E. A. S. C.; LIMA, Â. S. F.; HAKAMADA, R. E.; DE VICENTE FERRAZ, A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; MOREIRA, G.; GONÇALVES, A. N. Responses of coppiced *Eucalyptus* to macro- and micronutrient application. **New Forests**, [s. l.], v. 50, n. 5, p. 717–731, 2019.

RODRÍGUEZ-SUÁREZ, J. A.; SOTO, B.; PEREZ, R.; DIAZ-FIERROS, F. Influence of Eucalyptus globulus plantation growth on water table levels and low flows in a small catchment. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 396, n. 3–4, p. 321–326, 2011.

ROJAS, J. S. D.; LACLAU, J. P.; ROUPSARD, O.; STAPE, J. L.; RANGER, J.; BOUILLET, J. P.; NOUVELLON, Y. **Calibration of home-made heat dissipation probes for a full rotation of Eucalyptus grandis trees in Brazil**. [S. l.: s. n.], 2010.

SBARDELLA, M. **Capacidade de brotação e crescimento de espécies de Eucalyptus spp. em sistema de alto fuste e talhadia**. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) — Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, p. 74, 2021.

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

SHAHIDIAN, S.; VALVERDE, P.; COELHO, R.; SANTOS, A.; VAZ, M.; RATO, A.; SERRANO, J.; RODRIGUES, S. Leaf water potential and sap flow as indicators of water stress in Crimson 'seedless' grapevines under different irrigation strategies. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 28, n. 2, p. 221–239, 2016.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and supply, use and the efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, 193, 17-31, 2004.

STEPPE, K.; VANDEGEHUCHTE, M. W.; TOGNETTI, R.; MENCUCCINI, M. Sap flow as a key trait in the understanding of plant hydraulic functioning. **Tree Physiology**, v. 35, n. 4, p. 341–345, 2015.

TAIZ, L. E.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6ª edição - Artmed, Porto Alegre; 2017. THORNHILL, A. H.; CRISP, M. D.; KÜLHEIM, C.; LAM, K. E.; NELSON, L. A.; YEATES, D. K.; MILLER, J. T. A dated molecular perspective of eucalypt taxonomy, evolution and diversification. *Australian Systematic Botany*, 32(1):29-48 2019.

TORRES, R. R.; BENASSI, R. B.; MARTINS, F. B.; LAPOLA, D. M. Projected impacts of 1.5 and 2°C global warming on temperature and precipitation patterns in South America. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 42, n. 3, p. 1597–1611, 2022.

VERGEYNST, L. L.; VANDEGEHUCHTE, M. W.; MCGUIRE, M. A.; TESKEY, R. O.; STEPPE, K. Changes in stem water content influence sap flux density measurements with thermal dissipation probes. *Trees-Struct. Funct.* 28 (3), 949–955, 2014.

YI, R.; XU, X. Species with larger vessel area have higher bias for the original Granier equation in calculating sap flux density. **Journal of Hydrology**, p. 129762, 2023.

ZHANG, J.; HE, Q. Y.; SHI, W. Y.; OTSUKI, K.; YAMANAKA, N.; DU, S. Radial variations in xylem sap flow and their effect on whole- tree water use estimates. **Hydrological Processes**, v. 5002, n. March, p. 4993–5002, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados práticos e inéditos encontrados no presente estudo terão impactos diretos no setor florestal. Foi entendido que os manejos não influenciam os parâmetros fisiológicos nas idades entre 2 e 4 anos, dessa forma, recomenda-se pesquisas focadas nas respostas na fase de crescimento inicial entre 1 e 2 anos, em virtude de ser o período de estabelecimento de plantio e início de condução, onde as raízes estabelecidas poderiam fornecer respostas foliares diferentes, principalmente fotossintéticas.

A adoção do clone tolerante à seca, em locais de déficit hídrico intermediários demonstrou ser ineficiente, tanto em termos produtivos, e principalmente ambientais em decorrência do elevado consumo, podendo acelerar os conflitos de uso entre o setor e os usuários da bacia.

Entretanto, o resultado mais impactante e surpreendente traz novas perspectivas na adoção da talhadia, até então apontada como um dos principais fatores que mais contribui para o desequilíbrio no balanço hídrico na bacia pelo maior consumo (ciclo curto). Ao contrário do que era apontado, esse estudo mostrou que a adoção da talhadia, associada ao genótipo produtivo mais plantado no país, ainda pode ser viável com as devidas recomendações em regiões com déficit hídrico intermediário, obtendo resultados satisfatórios tanto no aspecto produtivo, como ambiental, minimizando o conflito no uso de água entre os demais usuários e o setor florestal, principalmente diante dos cenários futuros de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2012. Brasília, 149 p., 2013.
- CONTI JUNIOR, J. L. F.; ARAÚJO, M. J.; DE PAULA, R. C.; QUEIROZ, T. B.; HAKAMADA, R. E.; HUBBARD, R. M. Quantifying turgor loss point and leaf water potential across contrasting Eucalyptus clones and sites within the TECHS research platform. **Forest Ecology and Management**, v. 475, p. 118454, 2020.
- BUCKLEY, T. N.; MOTT, K. A. Modelling stomatal conductance in response to environmental factors. **Plant, Cell and Environment**, 36(9), 1691–1699, 2013.
- CHAMBI-LEGOAS, R.; TOMAZELLO-FILHO, M.; LACLAU, J. P.; CHAIX, G. Potassium fertilization enhances xylem plasticity and growth recovery of *Eucalyptus grandis* trees in response to drastic changes in water availability. **Forest Ecology and Management**, 528, 120656, 2023.
- DRAKE, P. L.; MENDHAM, D. S.; WHITE, D. A.; OGDEN, G. A comparison of growth, photosynthetic capacity and water stress in Eucalyptus globulus coppice regrowth and seedlings during early development. **Tree physiology**, v. 29, n. 5, p. 663-674, 2009.
- DRAKE, P. L.; MENDHAM, D. S.; WHITE, D. A.; OGDEN, G. N.; DELL, B. Water use and water-use efficiency of coppice and seedling Eucalyptus globulus Labill.: A comparison of stand-scale water balance components. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 350, n. 1–2, p. 221–235, 2012.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, 301, 6-27, 2013.
- GROSSIORD, C.; BUCKLEY, T. N.; CERNUSAK, L. A.; NOVICK, K. A.; POULTER, B.; SIEGWOLF, R. T. W.; SPERRY, J. S.; MCDOWELL, N. G. Plant responses to rising vapor pressure deficit. **New phytologist**, v. 226, n. 6, p. 1550-1566, 2020.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores: **Relatório 2023**. São Paulo, Brasil, 2023.
- HAKAMADA, R. E.; MOREIRA, G. G.; FERNANDES, P. G.; MARTINS, S. D. S. Legacy of harvesting methods on coppice-rotation Eucalyptus at experimental and operational scales. **Trees, Forests and People**, v. 9, p. 100293, 2022.
- HAKAMADA, R. E.; HUBBARD, R. M.; MOREIRA, G. G.; STAPE, J. L.; CAMPOE, O.; FERRAZ, S. F. de B. Influence of stand density on growth and water use efficiency in Eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 466, 2020.

HUBBARD, R. M.; CARNEIRO, R. L.; CAMPOE, O.; ALVARES, C. A.; FIGURA, M. A.; MOREIRA, G. G. Contrasting water use of two Eucalyptus clones across a precipitation and temperature gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 475, 2020.

LACLAU, P. B.; DELGADO-ROJAS, J. S.; CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J.; PICCOLO, M. DE C.; MOREIRA, M. Z.; GONÇALVES, J. L. DE M.; ROUPSARD, O.; LACLAU, J. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in Eucalyptus grandis plantations. **Forest Ecology and Management**, v.364, p.77- 89, 2016.

LÉVESQUE, M.; RIGLING, A.; BUGMANN, H.; WEBER, P.; BRANG, P. Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 197, p. 1-12, 2014.

KASSAHUN, Z.; RENNINGER, H. Effects of drought on water use of seven tree species from four genera growing in a bottomland hardwood forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, 301–302, 108353, 2021.

KING, J. S.; CEULEMANS, R.; ALBAUGH, J. M.; DILLEN, S. Y.; DOMEQ, J. C.; FICHOT, R.; FISCHER, M.; LEGGETT, Z.; SUCRE, E.; TRNKA, M. et al. The Challenge of Lignocellulosic Bioenergy in a Water-Limited World. **BioScience**, v 63, 2, 102–117, 2013.

OLSON, M. E.; ANFODILLO, T.; ROSELL, J. A.; MARTÍNEZ-MÉNDEZ, N. Across climates and species, higher vapour pressure deficit is associated with wider vessels for plants of the same height. **Plant, Cell & Environment**, 43, 3068–3080, 2020.

POORTER, H.; NAGEL, O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, C[O.sub.2], nutrients and water: a quantitative review. **Aust. Journal Plant Physiology**, 27, 6, 595-607, 2000.

REICHERT, J. M.; PREVEDELLO, J.; GUBIANI, P. I.; VOVELMANN, E. S.; REINERT, D. J.; CONSENSA, C. O. B.; SOARES, J. C.; SRINIVASAN, R. Eucalyptus tree stockings effect on water balance and use efficiency in subtropical sandy soil. **Forest Ecology and Management**, 497, 119473, 2021.

ROCHA, J. H. T.; WENZEL, A. V. A.; MELO, E. A. S. C.; LIMA, Â. S. F.; HAKAMADA, R. E.; DE VICENTE FERRAZ, A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; MOREIRA, G.; GONÇALVES, A. N. Responses of coppiced Eucalyptus to macro- and micronutrient application. **New Forests**, [s. l.], v. 50, n. 5, p. 717–731, 2019.

SCOLFORO, J. R.; MAESTRI, R. **O manejo de florestas plantadas**. In J. R. S. Scolforo (Ed.), *Manejo florestal* (438 p.). Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

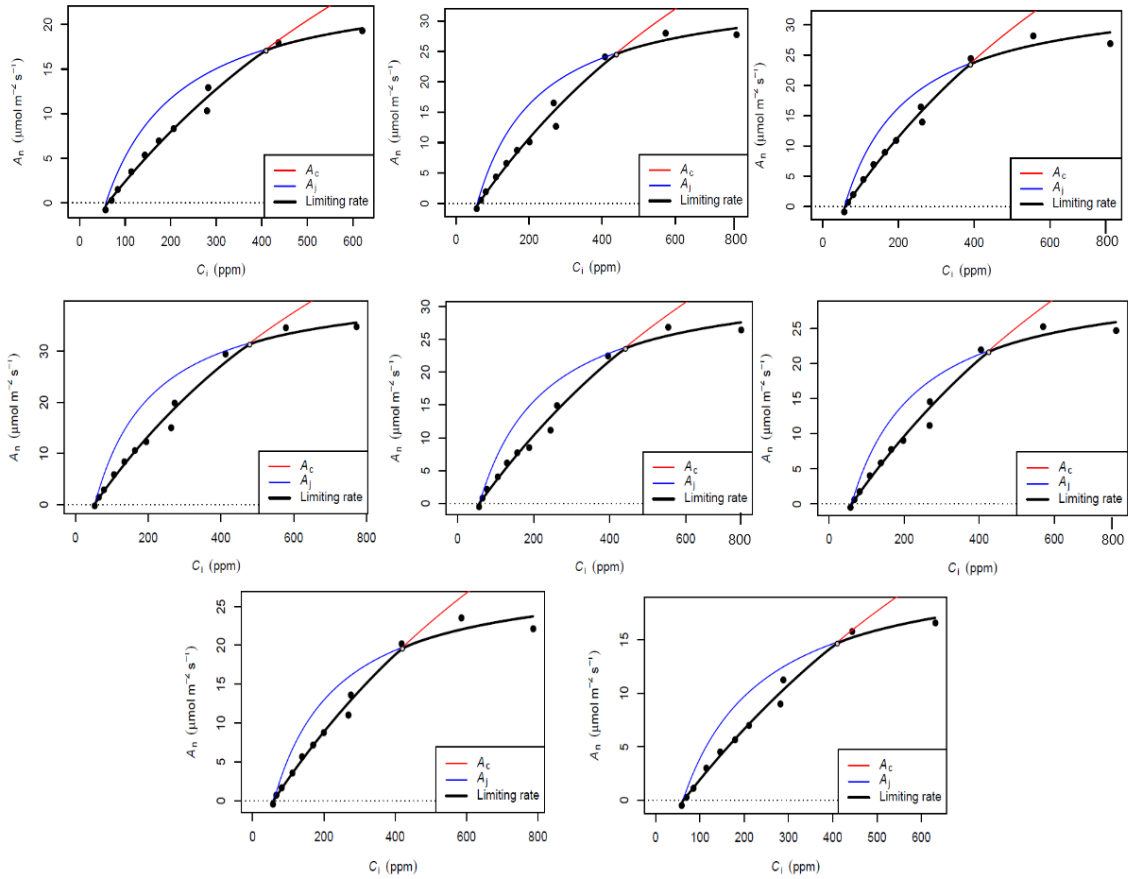
STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A.

M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.

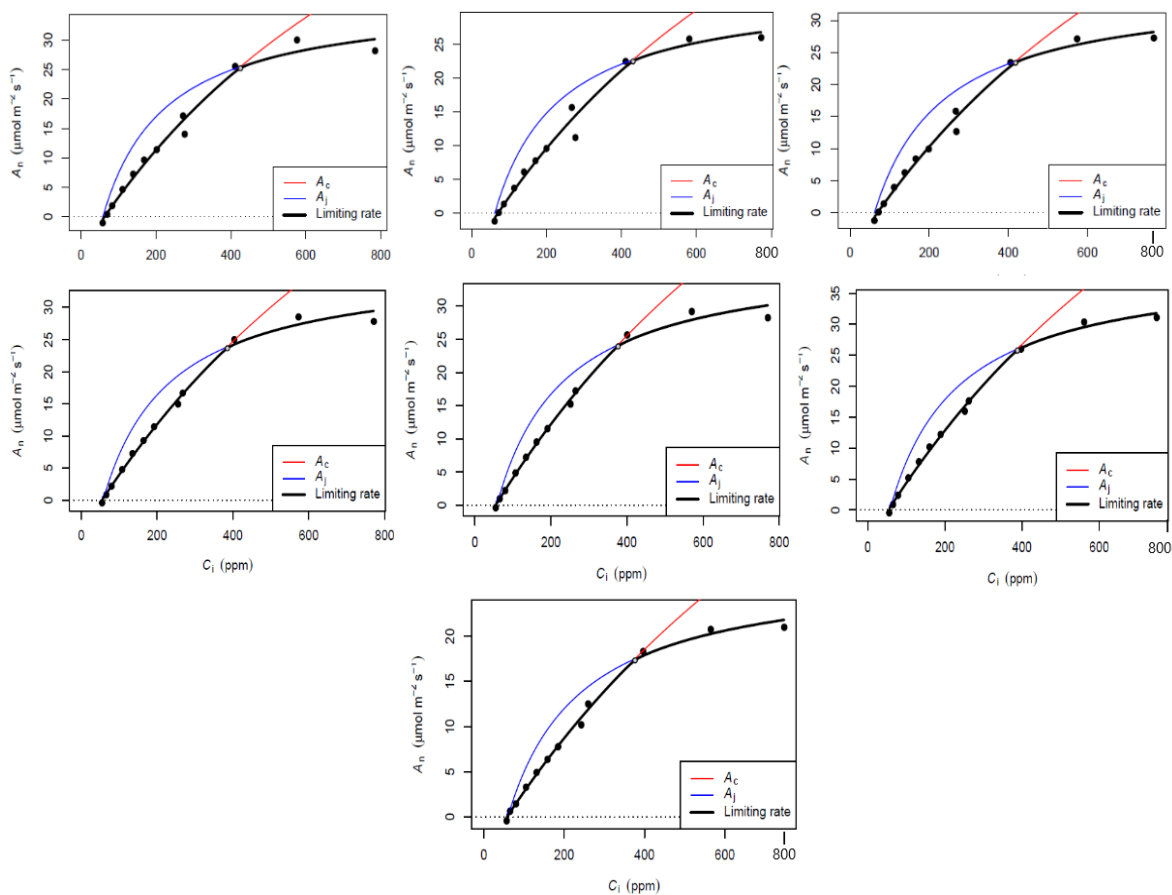
STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and supply, use and the efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, 193, 17-31, 2004.

ZHENG, C.; WANG, Q. Seasonal and annual variation in transpiration of a dominant desert species, *Haloxylon ammodendron*, in Central Asia up-scaled from sap flow measurement. **Ecohydrology**, 8, 948–960, 2015.

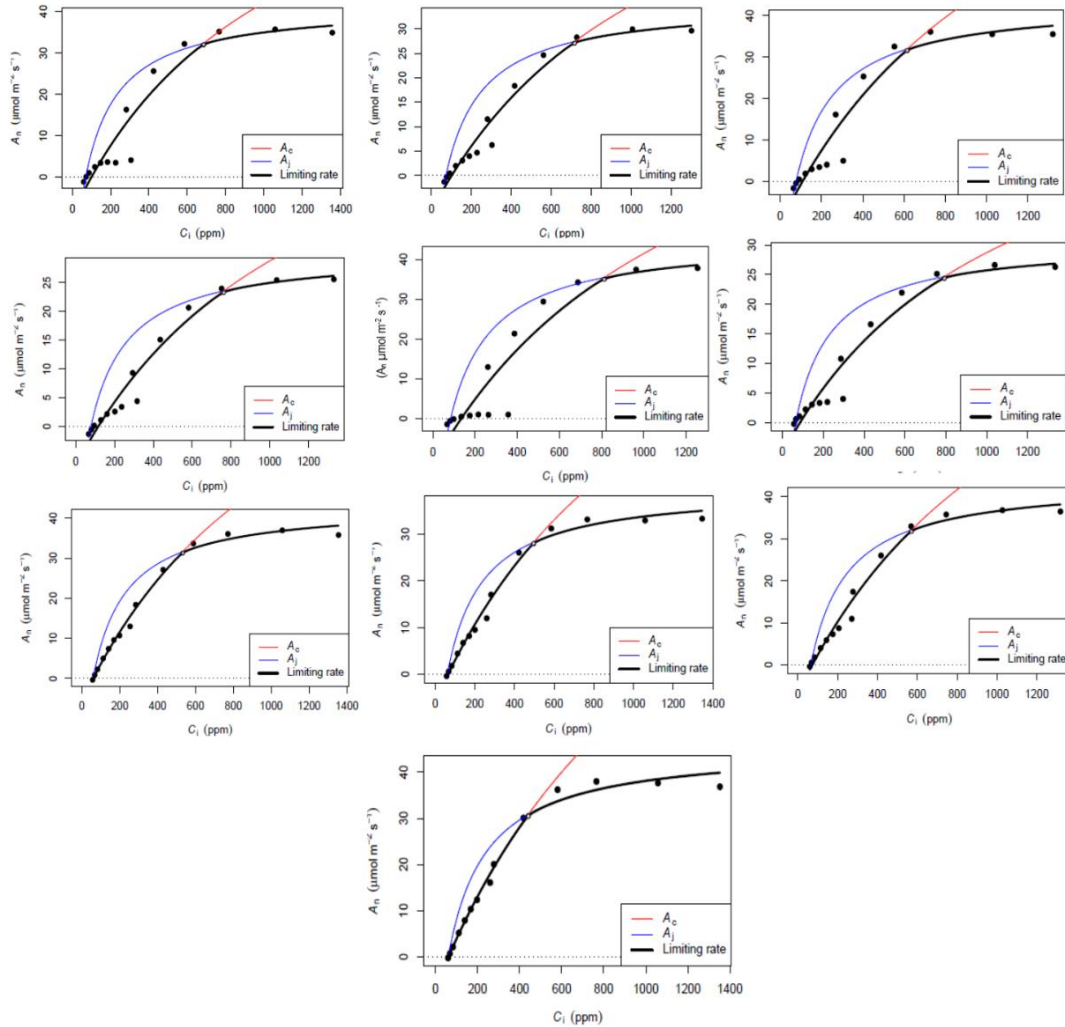
APÊNDICE A – Curvas de respostas da Taxa de assimilação líquida da CO₂ (A_n , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) pela concentração intercelular de CO₂ (ppm) do C12 manejado em alto fuste, e as variáveis fisiológicas que as limitam como a A_c (taxa de assimilação limitada pela atividade da Rubisco) e a A_j (taxa de assimilação limitada pelo transporte de elétrons (regeneração de ribulose-1,5-bifosfato, RuBP))



APÊNDICE B – Curvas de respostas da Taxa de assimilação líquida da CO₂ (A_n , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) pela concentração intercelular de CO₂ (ppm) do C12 manejado por talhada, e as variáveis fisiológicas que as limitam como a A_c (taxa de assimilação limitada pela atividade da Rubisco) e a A_j (taxa de assimilação limitada pelo transporte de elétrons (regeneração de ribulose-1,5-bifosfato, RuBP))



APÊNDICE C – Curvas de respostas da Taxa de assimilação líquida da CO₂ (A_n , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) pela concentração intercelular de CO₂ (ppm) do C16 manejado por talhadia, e as variáveis fisiológicas que as limitam como a A_c (taxa de assimilação limitada pela atividade da Rubisco) e a A_j (taxa de assimilação limitada pelo transporte de elétrons (regeneração de ribulose-1,5-bifosfato, RuB



APÊNDICE D – Curvas de respostas da Taxa de assimilação líquida da CO₂ (A_n , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) pela concentração intercelular de CO₂ (ppm) do C16 manejado em alto fuste, e as variáveis fisiológicas que as limitam como a A_c (taxa de assimilação limitada pela atividade da Rubisco) e a A_j (taxa de assimilação limitada pelo transporte de elétrons (regeneração de ribulose-1,5-bifosfato, RuBP))

