

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

WILLIANA ALVES RAMOS

TEMPERATURA LETAL E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE  
CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS À GEADA

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2023

WILLIANA ALVES RAMOS

TEMPERATURA LETAL E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE  
CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS À GEADA

Monografia apresentada ao  
Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade Federal  
do Espírito Santo, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheira Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2023

WILLIANA ALVES RAMOS

TEMPERATURA LETAL E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE  
CLONES DE EUCALIPTO SUBMETIDOS À GEADA

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em: 23/11/2023

COMISSÃO EXAMINADORA



---

José Eduardo Macedo Pezzopane / Orientador  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

Elayne Katia dos Santos Galvão / Conselheira  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

Talita Miranda Teixeira Xavier / Examinadora  
Universidade Federal do Espírito Santo

*“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.” -*  
**Charles Darwin**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força constante durante toda a graduação.

Aos meus pais, Vanilda e Antônio por todo apoio mesmo distante, que me permitiram realizar esse sonho e não me deixaram desistir.

Aos meus irmãos, Wellinton e Wallace pelo incentivo.

Aos meus amigos de república, Katy, Babi, Victoria, Gabriela, Tayná, Félix e Gabrielli vocês foram as melhores pessoas que alguém poderia dividir o ap.

Aos meus amigos, Ricardo, Brenno, Marina, Nath, Ias, Abraão, Lucas (vulgo Mineirinho) e Ana Flávia, por todo companheirismo, conversas fiadas e festinhas.

À minha amiga Rayana, pelas idas no Nicola, na farmácia, no dentista ou em qualquer lugar que precisasse e também pela ajuda na montagem do experimento.

À Elayne (vulgo Jéssica, rs), por todos os ensinamentos durante as IC's e ao presente trabalho.

Ao meu professor/orientador Pezzopane, pela orientação e oportunidade de ingresso nesse laboratório fantástico.

À equipe do LMEF: Talita, João, Elbya, Aline, Patrícia e Lara pelo acolhimento, cafés e bolinhos da tarde.

À empresa “*CMPC* Brasil” e equipe de melhoramento genético, pela parceria para realização desse trabalho.

Por fim, a Universidade Federal do Espírito Santo juntamente aos professores, que sem dúvidas foram essenciais para a minha formação.

A todos, gratidão.

## RESUMO

Geadas extemporâneas têm comprometido o cultivo de espécies de *Eucalyptus* spp. na região sul do Brasil. Assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar a tolerância à geada em diferentes clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *E. urophylla* x *E. dunnii*, *E. saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*) com potencial produtivo para a região, através da temperatura letal, danos visuais e análises fisiológicas. Para tal, as mudas permaneceram 65 dias em casa de vegetação com ambiente controlado e posteriormente passaram por simulações de geadas em câmaras climatizadas, tipo Fitotron. Inicialmente, foi realizado um dia de pré-geada com temperaturas entre 8°C – 15°C. Na noite seguinte, foi iniciada a queda de temperatura até atingir as temperaturas médias de cada tratamento (-1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C, - 5,1°C e -5,9°C), que ocorreu entre 4:30 – 5:30 horas da manhã e logo após foram coletadas folhas para análise de condutividade elétrica, a fim de determinar o extravasamento de eletrólitos e a TL<sub>50</sub> (temperatura letal, onde ocorre 50% da condutividade elétrica máxima). Após 24h da ocorrência de geada, foram realizadas as análises de trocas gasosas e fluorescência da clorofila (Fv/Fm). Após 15 dias na casa de vegetação (pós geada) foi realizada a análise de índice de dano e aos 30 dias a análise de mortalidade. Em síntese, os clones *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *E. urophylla* x *E. dunnii*, *E. saligna*, foram impactados negativamente a partir do tratamento -3,2°C, com maior índice de dano, mortalidade, extravasamento de eletrólitos e TL<sub>50</sub> (com exceção de *E. saligna*, que teve menor EE e TL<sub>50</sub>). *E. dunnii*, por sua vez, apresentou alta capacidade de resiliência no tratamento -4,2°C, em que 100% das plantas rebrotaram, porém com mortalidade de 100% das plantas no tratamento -5,1°C. Por outro lado, o clone *E. benthamii* apresentou alta tolerância para regiões com ocorrência de geadas de até -5,1°C, onde obteve menor extravasamento de eletrólitos e TL<sub>50</sub>, menor índice de dano e mortalidade em quase todos os tratamentos. Além disso, foi o clone que manteve o controle estomático e alta concentração interna de CO<sub>2</sub> durante todos os tratamentos, além de apresentar baixa flutuação nos valores médios de Fv/Fm. Com isso, a partir do presente trabalho, foi possível identificar precocemente os clones mais tolerantes e os mais sensíveis à geada.

Palavras-chave: *Eucalyptus*. Geada. Trocas gasosas. Extravasamento de Eletrólitos e TL<sub>50</sub>. Nível de dano.

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS .....	8
LISTA DE FIGURAS .....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.2 Objetivos.....	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos .....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1 O eucalipto e a sua importância no Brasil.....	14
2.2 Caracterização das espécies .....	15
2.3 Geadas.....	18
2.3.1 Classificação da geada .....	18
2.4 Geadas e o gênero <i>Eucalyptus</i> .....	19
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 Local do estudo .....	22
3.2 Material vegetal e condições de cultivo .....	22
3.3 Simulações da ocorrência de geada .....	23
3.4 Índice de Dano e Mortalidade (%).....	25
3.5 Extravasamento de Eletrólitos e TL <sub>50</sub> .....	26
3.6 Trocas gasosas e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm).....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1 Nível de Dano Visual .....	29
4.1.1 Índice de dano .....	29
4.1.2 Mortalidade (%).....	30
4.2 Extravasamento de Eletrólitos e TL <sub>50</sub> .....	34
4.3 Trocas gasosas e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm).....	35
4.3.1 Trocas gasosas .....	36
4.3.2 Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) .....	40
5. CONCLUSÃO.....	43
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Índice de dano e porcentagem afetada. Onde: 1= nenhum dano; 2= 1-25% de área foliar danificada, 3= 25-50% de área foliar danificada, 4=50-75% de área foliar danificada e 5= 75-100% de área foliar danificada.....21

Quadro 2 – Equação polinomial,  $R^2$  e TL50 (temperatura letal, onde ocorre 50% da condutividade elétrica máxima) encontrada através da equação, referente a figura 12 de extravasamento de eletrólitos, das espécies de *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*.....



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plantas de <i>Eucalyptus</i> spp., dentro da câmara fria durante o aquecimento, pós simulação de geada.....	24
Figura 2 – Gráfico ilustrativo dos tratamentos aplicados. Dia 1 - dia frio, onde as plantas foram levadas ao fitotron e permaneceram 24h com variação de temperatura entre 6°C e 14°C. Dia 2 - madrugada em que ocorre a geada com diminuição gradual da temperatura e aquecimento ao restante do dia. Dia 3 - dia de medições pós geada, quando foram realizadas as análises de trocas gasosas e Fv/Fm. ....	24
Figura 3 – Gráfico referente a média da hora mais fria, que ocorreu por volta de 4:30h – 5:30h da manhã.....	25
Figura 4 – Discos das folhas de <i>Eucalyptus</i> spp. nos frascos com água destilada.....	27
Figura 5 – Análise de fluorescência (Fv/Fm) utilizando fluorímetro FluorPen FP 100. ....	28
Figura 6 – Índice de dano visual das plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. maidenii</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. dunnii</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> e <i>Eucalyptus benthamii</i> , 15 dias pós simulação de geada.....	30
Figura 7 – Mortalidade (%) das plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. maidenii</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. dunnii</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> e <i>Eucalyptus benthamii</i> , 30 dias pós geada.....	31
Figura 8 – Imagem das plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. maidenii</i> nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada. ....	31
Figura 9 – Imagem das plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. dunnii</i> nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada. ....	32
Figura 10 – Imagem das plantas de <i>Eucalyptus saligna</i> nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada. ....	32
Figura 11 – Imagem das plantas de <i>Eucalyptus dunnii</i> nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada.....	33
Figura 12 – Imagem das plantas de <i>Eucalyptus benthamii</i> nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada. ....	33
Figura 13 Extravasamento de eletrólitos (%). Regressão polinomial das espécies de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. maidenii</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. dunnii</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> e <i>Eucalyptus benthamii</i> . ....	34
Figura 14 – A – assimilação líquida de CO <sub>2</sub> ; g <sub>s</sub> – condutância estomática; E – transpiração; C <sub>i</sub> – concentração interna de CO <sub>2</sub> . Avaliação das trocas gasosas das plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. maidenii</i> , um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C e -3,2°C. ns: não significativo; (Tukey, p≤0,05). ....	37
Figura 15 A – assimilação líquida de CO <sub>2</sub> ; g <sub>s</sub> – condutância estomática; E – transpiração; C <sub>i</sub> – concentração interna de CO <sub>2</sub> . Avaliação das trocas gasosas das	

plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. dunnii</i> , um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C e e -3,2°C. (Tukey, $p \leq 0,05$ ).....	37
Figura 16 – A – assimilação líquida de CO <sub>2</sub> ; g <sub>s</sub> – condutância estomática; E – transpiração; C <sub>i</sub> – concentração interna de CO <sub>2</sub> . Avaliação das trocas gasosas das plantas de <i>Eucalyptus saligna</i> , um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C e -3,2°C. ( Tukey, $p \leq 0,05$ ). .....	38
Figura 17 – A – assimilação líquida de CO <sub>2</sub> ; g <sub>s</sub> – condutância estomática; E – transpiração; C <sub>i</sub> – concentração interna de CO <sub>2</sub> . Avaliação das trocas gasosas das plantas de <i>Eucalyptus dunnii</i> , um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C e -3,2°C. (Tukey, $p \leq 0,05$ ). .....	39
Figura 18 – A – assimilação líquida de CO <sub>2</sub> ; g <sub>s</sub> – condutância estomática; E – transpiração; C <sub>i</sub> – concentração interna de CO <sub>2</sub> . Avaliação das trocas gasosas das plantas de <i>Eucalyptus benthamii</i> , um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C. (Tukey, $p \leq 0,05$ ). .....	40
Figura 19 – Eficiência quântica do fotossistema II (F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> ) das plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. maidenii</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. dunnii</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>E. dunnii</i> e <i>E. benthamii</i> , um dia pós simulação de geada. ....	42

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal é de suma relevância para a economia brasileira, sendo o *Eucalyptus*, o gênero mais plantado no país. Segundo o IBÁ (2022), o setor projeta investimentos de R\$60,4 bilhões em florestas entre 2022-2028, em pesquisa e desenvolvimento, operações, modernização de fábricas ou novas unidades, o que trará eficiência e avanços sustentáveis. Em 2021, a área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 9,93 milhões de hectares, sendo 7,53 milhões/ha composto por cultivos de eucalipto. As atividades florestais encontraram vantagens comparativas para se desenvolver na Região Sul do Brasil, graças à excelência das condições edafoclimáticas e ao baixo custo das madeiras oriundas de reflorestamento (BRDE, 2003).

Entretanto, geadas extemporâneas podem comprometer o cultivo de plantios homogêneos de eucalipto na região sul do Brasil. É comum a ocorrência de geadas extemporâneas e consecutivas, por vários dias seguidos, bem como de diferentes intensidades na região (DALMAGO *et al.*, 2010). A ocorrência de geadas resulta em graves prejuízos econômicos, principalmente quando ocorrem precocemente no outono, ou tardiamente na primavera (PEREIRA *et al.*, 2007). Com isso, não há tempo para que os produtores/empresas possam se preparar para os eventos que ocorrem fora de época.

Com as mudanças climáticas, os eventos de temperaturas extremas estão se tornando cada vez mais frequentes. A ocorrência de geada é um dos principais fatores climáticos que limitam a produção da madeira na região sul do país (HIGA *et al.*, 1994; HIGA *et al.*, 1997; HIGA e HIGA, 2000; CARON *et al.*, 2011; FLORIANI *et al.*, 2011; FLORIANI *et al.*, 2013; MORAES *et al.*, 2014). Dessa forma, o desconhecimento de espécies tolerantes para essa condição climática também corrobora para a problemática.

A geada é um fenômeno atmosférico que pode provocar a morte das plantas ou de suas partes (folhas, caules, frutos e ramos). A baixa temperatura do ar causa o congelamento dos tecidos vegetais, podendo haver (geada branca) ou não (geada negra) a formação de gelo sobre as plantas. A morte pode ser causada por ventos frios ou pelo resfriamento radiativo com o ar muito seco (PEREIRA *et al.*, 2007).

A ocorrência de geada pode danificar as folhas das plantas pelo congelamento o que causa a inibição da fotossíntese, translocação mais lenta de carboidratos, baixas taxas respiratórias, inibição da síntese de proteínas e aumento da degradação das proteínas existentes (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além disso, quanto mais jovem for a planta, maior será o dano nas folhas, caules e ramos pela ocorrência de geadas, devido à maior sensibilidade do material vegetativo, além disso nesta fase a planta está mais próxima ao solo, onde a inversão térmica é mais pronunciada (PALUDZYSZYN, 2005).

O *Eucalyptus*, gênero pertencente à família Myrtaceae, possui aproximadamente 700 espécies catalogadas, quase todas nativas da Austrália (FONSECA *et al.*, 2010; BOOTH, 2013). Pode ocorrer em uma gama de condições ambientais que vão desde áreas pantanosas, até muito secas, solos de baixada, de alta fertilidade, até solos arenosos muito pobres. Além disso, ocupa ambientes altamente variáveis, quando se trata de precipitação e temperaturas (ASSIS, 1996).

Muitas espécies do gênero *Eucalyptus* crescem naturalmente em regiões de geadas. No entanto, poucas espécies deste gênero são indicadas para plantios em regiões susceptíveis às geadas no Brasil (HIGA *et al.*, 1997). Assim, para estabelecer plantios de eucalipto em região subtropical altamente produtiva, a escolha da espécie adaptada a essas regiões é um dos principais itens a serem analisados (HIGA *et al.*, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2013), e, o entendimento dos impactos fisiológicas nos plantios de eucalipto pode, dessa forma, auxiliar nas tomadas de decisão, planejamento e localização das áreas de plantio e na seleção de genótipos tolerantes.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar a ecofisiologia de cinco clones de eucalipto, com potencial produtivo para o sul do Brasil, submetidas à simulações de geada em câmara de crescimento, a fim de identificar espécies tolerantes à geada e as características fisiológicas preponderantes nos mais tolerantes.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a tolerância à simulação de geadas nos clones *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*.
- Determinar o dano à membrana celular através da quantificação do extravasamento de eletrólitos.
- Avaliar como a ocorrência de baixas temperaturas afeta o processo de trocas gasosas em folhas das espécies estudadas.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O eucalipto e a sua importância no Brasil**

Nativo da Austrália, o gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae foi descrito pela primeira vez pelo botânico francês Charles Louis L'Héritier de Brutelle, em 1788, conta com mais de 700 espécies catalogadas, além de muitas variedades e alguns híbridos (BOSCARDIN, 2009). No Brasil, em 1904, Edmundo Navarro de Andrade começou a estudá-lo com a finalidade de utilizar as árvores plantadas para abastecer as caldeiras das locomotivas, bem como para a produção de moirões e postes. Navarro introduziu quase todas as espécies de eucalipto existentes no Horto de Rio Claro em São Paulo, constituindo desta forma um dos mais completos bancos de germoplasma do país (FERREIRA & SANTOS, 1997).

A promulgação do Código Florestal em 1965, a instituição do incentivo fiscal para reflorestamento (FISSET) em 1966 e a criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) em 1967 marcaram a definição de uma nova política florestal para o País: a do reflorestamento em larga escala (BRDE, 2003). Com esses incentivos, foi possível ampliar consideravelmente o estoque de madeira. O plantio de florestas foi se tornando uma alternativa cada vez mais viável para suprir a demanda de madeira, que antes era abastecida a partir de florestas naturais, que, pela utilização demasiada, foi tendo seus recursos exauridos. Desde então, investiu-se na pesquisa dessas espécies, consolidando seu uso em plantios comerciais, contribuindo para o desenvolvimento econômico do Brasil, gerando emprego, renda e oportunidade de negócios (AGEFLOR, 2019). O melhoramento florestal, ferramenta-chave para o aumento da produtividade, iniciado em 1941, teve avanços significativos nas décadas de 1970 e 1980, culminando com as primeiras florestas clonais plantadas em 1979 (GOUVEIA & PRADO, 2022).

As atividades florestais encontraram vantagens comparativas para se desenvolver na Região Sul do Brasil, graças à excelência das condições edafoclimáticas e ao baixo custo das madeiras oriundas de reflorestamento. Por isso, a Região constitui-se num dos

nichos de elevada produtividade florestal, com índices de qualidade compatíveis com as exigências do mercado nacional e internacional (BRDE, 2003).

Segundo a IBÁ (2022), o setor projeta investimentos (2022-2028) de R\$60,4 bilhões em florestas, pesquisa e desenvolvimento, operações, modernização de fábricas ou novas unidades, o que trará eficiência e avanços sustentáveis. Além disso, em 2021, a área total de árvores plantadas totalizou 9,93 milhões de hectares, sendo 7,53 milhões/ha composto por cultivos de eucalipto.

Com isso, a produção de *Eucalyptus* spp., no sul do país tem aumentado exponencialmente, devido a sua alta rentabilidade, rápido crescimento e inúmeras utilidades acerca de seus produtos. Contudo, com as mudanças climáticas, os eventos de temperaturas extremas estão se tornando cada vez mais frequentes. A ocorrência de geadas é um dos principais fatores climáticos que limitam a produção da madeira na região sul do país (HIGA *et al.*, 1994; HIGA *et al.*, 1997; HIGA e HIGA, 2000; CARON *et al.*, 2011; FLORIANI *et al.*, 2011; FLORIANI *et al.*, 2013; MORAES *et al.*, 2014). Dessa forma, o desconhecimento de espécies tolerantes à essa condição climática também corrobora para a problemática.

## 2.2 Caracterização das espécies

O *Eucalyptus* spp., ocorre em uma gama de condições ambientais que vão desde áreas pantanosas, até muito secas, solos de baixada, de alta fertilidade, até solos arenosos muito pobres. Além disso, ocupa ambientes altamente variáveis, quando se trata de precipitação e temperaturas (ASSIS, 1996). Para o presente trabalho, foram utilizados cinco clones de *Eucalyptus*:

### **Clone 1 - *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii***

Trata-se do híbrido do cruzamento entre *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus maidenii*. *E. urophylla*, é uma espécie da Indonésia e ocorre naturalmente nas ilhas Sunda, tais como Timor, Flores, Adonara, Lomblen, Alor, Wetar e Pantar. Além disso, a espécie ocorre em floresta tropical pluvial nas altitudes inferiores e em floresta

temperada montana nas altitudes superiores. Os solos onde cresce a espécie são bem variados, pode ocorrer desde 500m até 3000m de altura (MOURA, 2004). Com isso, concede variabilidade suficiente para ocorrer desde de solos rasos e pobres até profundos e férteis, além de permitir a adaptação da espécie a uma ampla variação de temperatura e precipitação. Junto a isso, a espécie apresenta produtividade muito elevada (EMBRAPA, 2021). *E. maidenii*, é plantado em uma ampla gama de condições climáticas e suaves em Ruanda, onde é utilizado para produção de lenha e conservação do solo (GASANA & LOEWENSTEIN, 1984).

### **Clone 2 - *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii***

Trata-se do híbrido do cruzamento entre *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus dunnii*. O *Eucalyptus urophylla* é uma espécie da Indonésia e ocorre naturalmente nas ilhas Sunda, tais como Timor, Flores, Adonara, Lomblen, Alor, Wetar e Pantar. Além disso, a espécie ocorre em floresta tropical pluvial nas altitudes inferiores e em floresta temperada montana nas altitudes superiores. Os solos onde cresce a espécie são bem variados (MOURA, 2004). *E. dunnii*, por sua vez, ocorre naturalmente em duas áreas distanciadas aproximadamente de 140 km entre o Sudeste de Queensland (QLD) e o Noroeste de New South Wales (NSW), na Austrália.

### **Clone 3 - *Eucalyptus saligna***

O *Eucalyptus saligna* é nativo da costa leste da Austrália. Apresenta rápido crescimento e adapta-se em regiões de clima temperado à subtropical (MARCHIORI e SOBRAL, 1997; TONINI, 2003). É uma das espécies mais plantadas no estado do Rio Grande do Sul devido à alta capacidade produtiva nessa região, a madeira pode ser utilizada para carvão vegetal, fins energéticos, madeira cerrada e celulose (BRITO *et al.*, 1983; SILVA *et al.*, 2015). Além disso, apresenta melhor crescimento em áreas com níveis pluviométricos acima de 550 mm ano<sup>-1</sup>, ocorre naturalmente em regiões com temperaturas subtropicais apresentando máximas médias entre 28 e 30 °C e mínimas médias entre 3 e 4 °C, suportando temperaturas negativas (-2 °C), com esporádicas geadas (LAMPRECHT, 1990; WAC, 2015, apud CAVALLI, 2017, p. 23).

### **Clone 4 - *Eucalyptus dunnii***



*E. dunnii*, por sua vez, ocorre naturalmente em duas áreas distanciadas aproximadamente de 140 km entre o Sudeste de Queensland (QLD) e o Noroeste de New South Wales (NSW), na Austrália. *E. dunnii* tem se mostrado promissor no estado de Santa Catarina, onde tem sido utilizado nas indústrias da região para fabricação de serrados (IWAKIRI *et al.*, 2007). Além disso, a madeira de *Eucalyptus dunnii* é indicada para lenha, carvão, celulose, moirões e postes (HIGA, 1998). Com isso, tem-se destacado no Brasil pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência à geada não muito severa (HIGA *et al.*, 2000), sob geadas fortes, fora da época normal de ocorrência, a mortalidade pode atingir 50% em plantios comerciais (PALUDZYSZYN, 2005).

#### **Clone 5 – *Eucalyptus benthamii***

O *E. benthamii* é encontrado em áreas restritas da Austrália, no litoral de New South Wales, a sudoeste da cidade de Sydney, nas planícies ao longo do Rio Nepean e seus afluentes (PRYOR e JOHNSON, 1971; BUTCHER *et al.*, 2005). Originalmente, a espécie ocorria nos solos férteis das partes planas de deposição de rios, em uma área de 100 km de comprimento por 40 km de largura, com latitude aproximada de 34° S e altitudes inferiores a 100 m, onde a temperatura média máxima é 26° C e a temperatura média mínima é 4° C e ocorrência de geadas leves (HIGA & PEREIRA, 2003). Na África do Sul a espécie é considerada potencial para plantios em regiões com ocorrência de geadas e foi incluída no programa de melhoramento do ICFR (Institute for Commercial Forestry Research) a partir de 1994 (SWAIN, 1997). No Sul do Brasil, *E. benthamii* tem apresentado bom crescimento e resistência a geadas em plantios experimentais com 2 e 3 anos no estado de Santa Catarina (HIGA & PEREIRA, 2003). Dessa forma, se trata de uma espécie indicada para plantios em regiões de ocorrência de geada e destina-se a fins energéticos. Enquanto a produtividade média de espécies alternativas é de 30 m<sup>3</sup>/ha por ano, resultando numa produção de 180 m<sup>3</sup>/ha aos 6 anos de idade, a produtividade de *E. benthamii* chega a 43 m<sup>3</sup>/ha por ano, resultando em 240 m<sup>3</sup>/ha nesse mesmo período (EMBRAPA, 2020).

## 2.3 Geadas

Define-se ocorrência de geada quando a temperatura atinge 0°C e tenha umidade na atmosfera. Dessa forma, a geada pode provocar a morte das plantas ou de suas partes (folhas, caules, frutos e ramos). A baixa temperatura do ar causa o congelamento dos tecidos vegetais, podendo haver ou não a formação de gelo sobre as plantas. A morte pode ser causada por ventos muito frios soprando por horas ou pelo resfriamento radiativo com o ar muito seco (PEREIRA *et al.*, 2007).

Geada é a solidificação do orvalho. Ocorre em madrugadas muito frias, quando as gotas de água de orvalho se resfriam a menos de 0°C. Assim, torna-se prejudicial à agricultura, pois “queima” as folhas das plantas e pode destruir muitas plantações desprotegidas (FIORIN & ROSS, 2015).

### 2.3.1 Classificação da geada

Segundo CAMARGO (1972), os tipos de geada podem ser definidos quanto a gênese ou pelos efeitos visuais que elas causam.

- Quanto a gênese:

**Geada de vento frio:** é causada por ventos fortes constantes e com temperaturas muito baixas. Nesse caso ocorre o ressecamento da superfície, causando a morte especificamente da área atingida. Em algumas situações, esse tipo de geada é bem caracterizado por haver dano em apenas um lado da planta, isto é, aquele voltado para os ventos.

**Geada de radiação:** é aquela cuja causa é o resfriamento intenso da superfície. Durante as noites de céu limpo, sem nuvens, sem vento, com baixa umidade e ar frio, ocorre a inversão térmica, onde a temperatura da relva passa a ser mais baixa que a temperatura do ar.

- Quanto ao aspecto visual:

**Geadas brancas:** caracterizada pela queda de temperatura, associada ao congelamento do orvalho formado, que resulta na formação de cristais de gelo sobre as superfícies dos vegetais.

**Geadas negras:** provoca danos às plantas, porém, sem haver a formação de orvalho congelado na superfície dos vegetais. Os danos provocados pela “geada negra” costumam ser maiores que aqueles provocados pela “geada branca”, em razão da temperatura final ser mais baixa no caso da “geada negra” (CARVALHO *et al.*, 2010).

Durante o inverno, as plantações sofrem grandes riscos, principalmente em regiões situadas a médias e altas latitudes, devido a ocorrência das baixas temperaturas. No Brasil, a geada é um fenômeno frequente nas latitudes acima do paralelo 19°S, englobando os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde sua ocorrência resulta em graves prejuízos econômicos, principalmente quando ocorrem precocemente no outono, ou tardiamente na primavera (PEREIRA *et al.*, 2007).

No Rio Grande do Sul, foi verificado que as probabilidades de ocorrência de geada atingem seus maiores valores no segundo decêndio de julho, variando 13% em Torres, no litoral, a 83% em Vacaria, na serra. Nesse estado, a probabilidade de ocorrência de geadas tardias é maior do que precoces (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

## 2.4 Geada e o gênero *Eucalyptus*

A geada é um dos fenômenos atmosféricos que causam vários prejuízos para a agricultura e à economia do país (ALGARVE, 1994). A geada pode provocar a morte das plantas ou de parte delas devido à diminuição acentuada da temperatura do ar. As espécies tropicais e subtropicais são comumente suscetíveis ao dano por resfriamento, o que define a sobrevivência de uma planta sob clima frio é sua capacidade de tolerância à baixa temperatura (SALAMONI, 2008). O risco de danos causados pela geada na Região Sul do Brasil é agravado pela grande variação térmica ao longo do dia. Em alguns locais, a temperatura durante o dia atinge 20 a 30°C e cai para 5°C ou menos

durante a noite (GONÇALVES *et al.*, 2013), o que dificulta a sobrevivência das espécies de *Eucalyptus* spp.

Em Santa Catarina, o setor florestal é extremamente forte para a economia, que possibilita a presença de empresas florestais de grande porte. Todavia, especialmente na região do Planalto, o cultivo de *Eucalyptus* spp., é comprometido por geadas durante o inverno (FLORIANI *et al.*, 2009).

Há espécies que aparentemente se comportam bem em toda a extensão territorial do Brasil, como *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*, porém estão sujeitas aos danos causados pela geada (GOLFARI *et al.*, 1978). Os danos da ocorrência de geada nas plantas estão ligados ao congelamento do líquido presente nos espaços intracelulares formando cristais de gelo, que causam a ruptura de membranas por compressão e extravasamento irreversível do citoplasma (KASUGA *et al.*, 2007; FLORIANI *et al.*, 2013). Com a formação de cristais de gelo, as consequências para as células podem ser fatais. Como consequência há também a desnaturação proteica que impede a ação das atividades biológicas das plantas, afetando diretamente nas suas funções fisiológicas. Já o rompimento das membranas, irá causar uma dissolução do conteúdo celular por conta da ruptura ocasionada na membrana plasmática (CHARRIER *et al.*, 2015). Contudo, esses danos podem variar dependendo da intensidade da geada e também da resistência que essas plantas apresentam contra o fenômeno, o eucalipto afetado por geada pode apresentar desde a queima de ponteiros até a morte total da parte aérea (SELLE & VUADEN, 2008). Junto à isso, a resistência ou sensibilidade ao congelamento (temperaturas abaixo de 0°C) depende da espécie, do genótipo e da idade de desenvolvimento da planta (PALVA *et al.*, 2002).

De acordo com Higa *et al.* (1997), muitas espécies do gênero *Eucalyptus* crescem naturalmente em regiões de geadas intensas. No entanto, poucas espécies deste gênero são indicadas para plantios em regiões susceptíveis às geadas no Brasil. Esse comportamento deve-se ao fato da temperatura nas áreas de ocorrência natural das espécies diminuírem gradativamente no frio, permitindo a sua adequação fisiológica a condição de estresse térmico, em contraste ao observado em áreas de altitude das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde as temperaturas caem abruptamente, não havendo

tempo para aclimação das plantas às geadas. Assim, para estabelecer plantios de eucalipto em região subtropical altamente produtiva, a escolha da espécie adaptada a essas regiões é um dos principais itens a serem analisados (HIGA *et al.*, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2013), e, o entendimento dos fatores que influenciam as respostas ecofisiológicas dos plantios de eucalipto pode, dessa forma, ajudar no planejamento e localização dos plantios e na seleção de genótipos mais tolerantes.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Local do estudo

O estudo foi conduzido no Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal (LMEF) do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, localizada no município de Jerônimo Monteiro – ES (latitude 20°47'25” S e longitude 41°23'48” W, altitude média de 120 m).

### 3.2 Material vegetal e condições de cultivo

Mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* com aproximadamente 90 dias de idade, procedentes do viveiro da empresa “CMPC Brasil”, localizado no Rio Grande do Sul, foram adquiridas em tubetes (55cm<sup>3</sup>), que posteriormente foram transferidas para vasos de 2,6 litros, com furos circulares na parte inferior para permitir a aeração das raízes e drenagem do excesso de água. Foi utilizado o substrato comercial (VIVATTO PRO) fertilizado com 100 gramas de Osmocote ® (19-06-10, fertilizante com tempo de liberação de aproximadamente nove meses) para cada 25 kg do substrato, sendo 1kg de substrato fertilizado para cada vaso.

As mudas permaneceram cerca de 65 dias em casa de vegetação em ambiente controlado, com sombrite 50% para protegê-las da radiação direta. Além disso, foram mantidas as temperaturas máximas diurna de 25°C, mínima noturna de 8°C, com irrigação diária. A fim de alcançar as temperaturas mais baixas, foi utilizado o sistema de refrigeração durante todo o período, na tentativa de reproduzir o curso diário da temperatura de ambientes naturais do Rio Grande do Sul.

Para caracterização microclimática da casa de vegetação, foi utilizada uma estação meteorológica, equipada com sensores de temperatura e umidade relativa do ar

(Vaisala, modelo CS500). Os dados da estação foram coletados a partir de um datalogger (Campbell Scientific Inc, CR10x), com leituras de dados a cada dez segundos e armazenamento dos valores médios a cada cinco minutos.

Após o período na casa de vegetação, foram iniciadas as simulações de ocorrência de geada, sendo cinco (5) plantas, por espécie para cada tratamento.

### 3.3 Simulações da ocorrência de geada

As plantas passaram por simulações de geadas em câmaras climatizadas tipo “fitotron” (Modelo El 011, Marca Eletrolab) (Figura 1), com área individual de 6m<sup>2</sup> e controle de fotoperíodo, regime de radiação, temperatura, umidade relativa, CO<sub>2</sub> atmosférico e adicional de placas de LED Grow Light Full Spectrum. As variáveis meteorológicas no interior das câmaras climatizadas foram medidas com o próprio sensor da câmara fria. A simulação de geada foi dividida em três etapas/dias (dia frio, simulação de geada e aquecimento) (Figura 2). Para iniciar o tratamento, foi realizado o dia “pré-geada” (dia frio) que iniciou às 19h, onde a temperatura variou entre 6°C e 14°C por 24h. No dia seguinte, às 19 horas foi iniciada a queda de temperatura, a fim de atingir as temperaturas dos tratamentos (-1°C, -2°C, -3°C, -4°C, -5°C e -6°C). Todavia, os valores da hora mais fria que ocorreram por volta de 4:30 - 5:30h da manhã foram utilizados para identificar os tratamentos: -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C, -5,1°C e -5,9°C (Figura 3). Além disso, é importante ressaltar que o tratamento -5,9°C foi realizado somente para o clone *E. benthamii*, pois foi o único clone tolerante ao tratamento -5,1°C.

Por volta das 5:40h da manhã, foi realizada a coleta de folhas para análise de condutividade elétrica a fim de quantificar o extravasamento de eletrólitos. Posteriormente, foi iniciado o aquecimento, voltando ao curso diário normal (8°C – 25°C). No dia seguinte, foi realizado as leituras de trocas gasosas e Fv/Fm.



Figura 1 – Plantas de *Eucalyptus* spp., dentro da câmara fria durante o aquecimento, pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

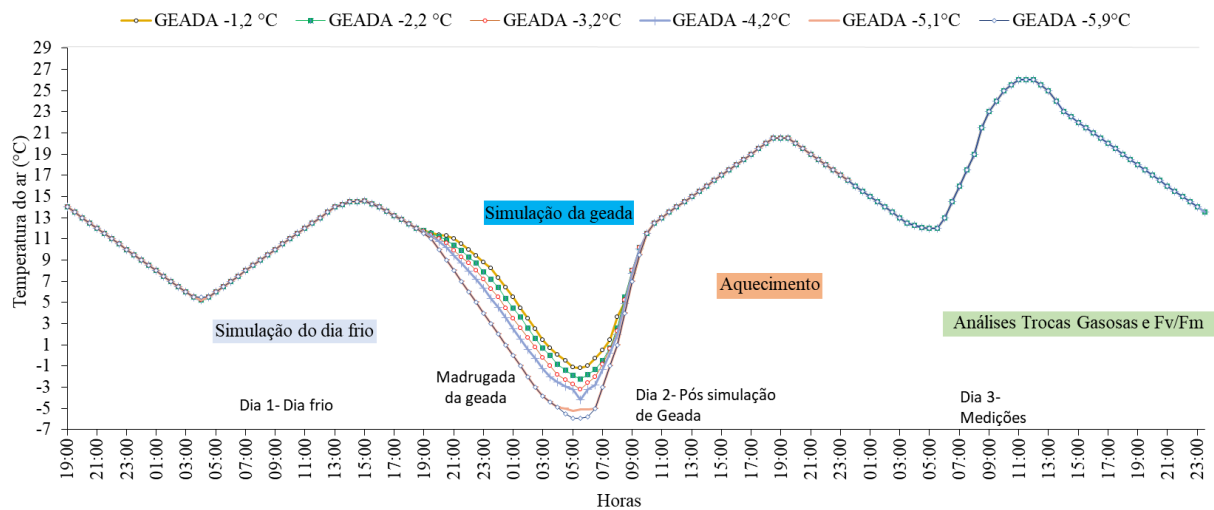


Figura 2 – Gráfico ilustrativo dos tratamentos aplicados. Dia 1 - dia frio, onde as plantas foram levadas ao fitotron e permaneceram 24h com variação de temperatura entre 6°C e 14°C. Dia 2 - madrugada em que ocorre a geada com diminuição gradual da temperatura e aquecimento ao restante do dia. Dia 3 - dia de medições pós geada, quando foram realizadas as análises de trocas gasosas e Fv/Fm.

Fonte: Elaboração própria (2023).



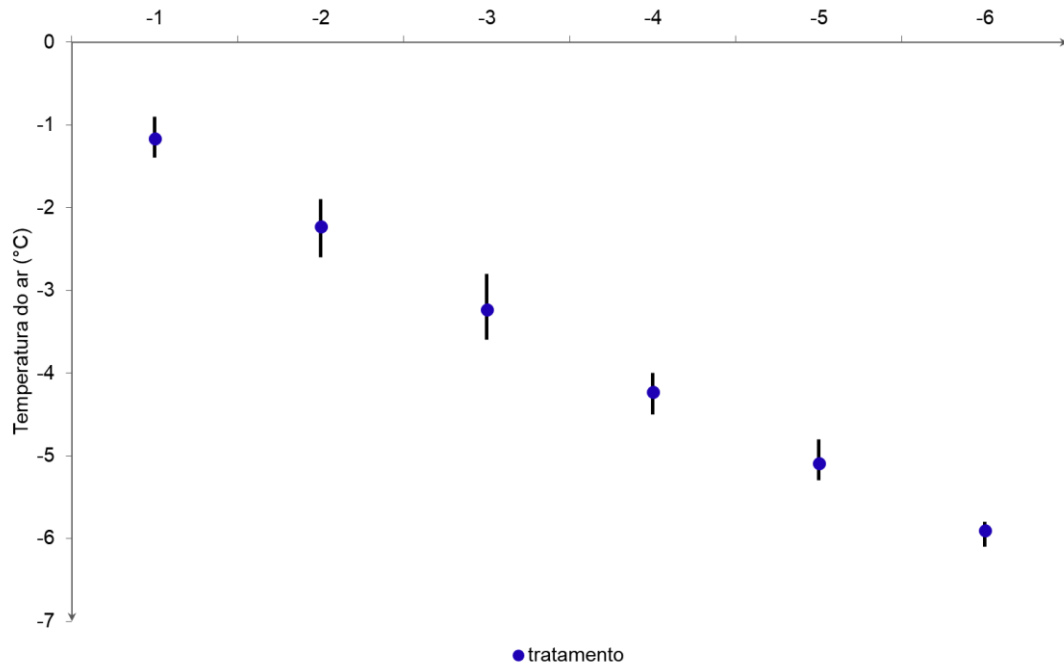


Figura 3 – Gráfico referente a média da hora mais fria, que ocorreu por volta de 4:30h – 5:30h da manhã.

Fonte: Elaboração própria (2023).

### 3.4 Índice de Dano e Mortalidade (%)

Após a ocorrência de simulação de geada, as plantas permaneceram por 15 dias na casa de vegetação até a avaliação do índice de dano (ID), onde as condições climáticas neste período foram iguais a da fase inicial de desenvolvimento (entre 8°C e 25°C). Nesse sentido, a avaliação de índice de dano foi realizada conforme a metodologia proposta por Oberschelp et al. (2020), que consiste em uma escala visual de 5 pontos para danos por geadas nas folhas (escurecimento, secagem, morte do tecido vegetal), de acordo com Quadro 1. Esta análise foi realizada por cinco avaliadores e a nota que prevaleceu por tratamento foi a moda, ou seja, a nota que mais se repetiu.

Quadro 1 – Quadro 1 – Nota de Índice de Dano e respectiva porcentagem afetada. Onde: 1= nenhum dano; 2= 1-25% de área foliar danificada, 3= 25-50% de área foliar danificada, 4=50-75% de área foliar danificada e 5= 75-100% de área foliar danificada

Índice de dano	Porcentagem afetada
1	0
2	1-25%
3	26-50%
4	51-75%
5	76-100%

Fonte: Oberschelp, 2020.

Para avaliar o percentual de sobrevivência e mortalidade foram quantificadas as plantas vivas e mortas. Para avaliar a mortalidade, foi utilizado como parâmetro a presença das folhas completamente secas e sem rebrota, isso, 30 dias após a simulação de geada.

### 3.5 Extravasamento de Eletrólitos e TL<sub>50</sub>

Os eletrólitos estão contidos nas membranas das células vegetais, que por sua vez, podem ser rompidas a partir de estresses ambientais, como o de congelamento, por exemplo. Quando a planta é submetida ao estresse, os eletrólitos entram nos tecidos circundantes (WILSON e JACOBS, 2005), assim é possível medir a condutividade elétrica e estimar o índice de dano a membrana celular da espécie (FARIA, 2010; KOCHEVA *et al.*, 2005; ORO, 2012). Dessa forma, o método tem sido utilizado com algumas modificações, para quantificar o dano a membrana em diversos estudos de plantas sob estresse (ORO, 2012; PELOSO *et al.*, 2016; FLORIANI *et al.*, 2013).

Seguindo a proposta de Lima *et al.* (2002), a medida de condutividade elétrica foi realizada em cada tratamento das espécies estudadas. Foram utilizadas folhas totalmente expandidas coletadas no terço superior da planta, sendo retirados seis discos com 01 cm de diâmetro em cada folha, sem atingir a nervura principal. A coleta da folha foi realizada logo após a geada, na hora mais fria de cada tratamento. Posteriormente, os discos foram colocados em frascos de vidro com 8ml de água destilada (Figura 4),

deixados em repouso por 6h em temperatura ambiente. Em seguida foi realizada a leitura da condutividade elétrica (CE inicial) com condutivímetro (LAB 1000). Após essa leitura, a amostra foi levada a estufa a uma temperatura de 90°C por 2 h. Assim que a amostra alcançou a temperatura ambiente foi realizada a nova leitura da condutividade elétrica (CE final). Através dos valores de CE inicial e CE final, obtém-se o extravasamento de eletrólitos (EE) através da equação 1:

$$EE = (CE \text{ inicial} / CE \text{ final}) \times 100 \quad (1)$$

A TL<sub>50</sub> (temperatura letal, onde ocorre 50% da condutividade elétrica máxima), foi estimada de acordo com a equação polinomial ajustada.



Figura 4 – Discos das folhas de *Eucalyptus* spp. nos frascos com água destilada para determinação do extravasamento de eletrólitos.

Fonte: Elaboração própria (2023).

### 3.6 Trocas gasosas e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)

As análises de trocas gasosas foram realizadas utilizando um analisador de gases a infravermelho (modelo LI6400XT LI-COR, Inc., NE, USA), com a fonte de luz acoplada à câmara de medida e injeção de CO<sub>2</sub>. A concentração de CO<sub>2</sub> no interior da câmara foi de 400 ppm, a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo foi de 1.500 μmol.m<sup>2</sup>. s<sup>-1</sup> e o fluxo de ar de 300 ml.min<sup>-1</sup>. As medições de trocas gasosas foram

realizadas em folhas totalmente expandidas do terço apical superior da planta, aproximadamente 24 horas após a simulação da geada. As variáveis coletadas foram: assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci). Foi realizada uma leitura em uma folha totalmente expandida no terço superior da planta, em cinco plantas de cada tratamento.

As avaliações da eficiência quântica do fotossistema II fluorescência (Fv/Fm) foram realizadas com fluorímetro (FluorPen FP 100), na região da superfície adaxial de uma folha totalmente expandida das plantas (Figura 5). Foi realizado uma leitura da mesma região nas cinco plantas de cada tratamento.

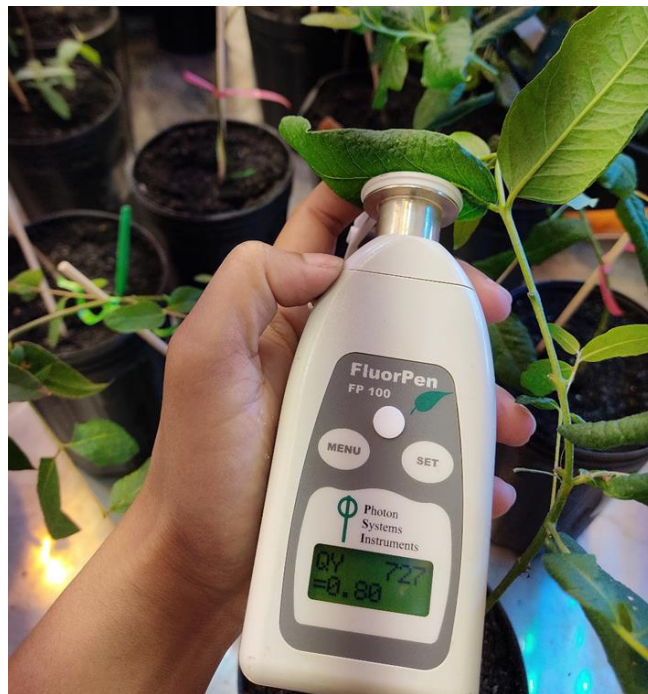


Figura 5 – Análise de fluorescência da clorofila a (Fv/Fm) em plantas de *Eucalyptus* spp após simulação de geada, utilizando fluorímetro FluorPen FP 100.

Fonte: Elaboração própria (2023).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Nível de Dano Visual

#### 4.1.1 Índice de dano

É notório que o índice de dano aumentou de acordo com a diminuição da temperatura, isto é, quanto menor a temperatura, maior foi o dano visual (Figura 6). É possível observar ainda que o clone *E. urophylla* x *E. maidenii*, foi o mais impactado negativamente, visto que já no tratamento  $-3,2^{\circ}\text{C}$  obteve nota 5 (76-100%), o que demonstra menor tolerância à geada, se comparado aos demais. Em contrapartida, os clones *E. urophylla* x *E. dunnii*, *E. saligna* e *E. dunnii*, apresentaram ID (5) a partir de  $-4,2^{\circ}\text{C}$ , caracterizando maior tolerância à geada do que *E. urophylla* x *E. maidennii*.

O *E. benthamii*, por sua vez, dentre os materiais genéticos estudados apresentou ser o clone mais tolerante, uma vez que obteve nota 3 (26-50%) no tratamento  $-5,1^{\circ}\text{C}$  e nota 5 (76-100%) somente no tratamento  $-5,9^{\circ}\text{C}$ , analogamente ao que foi observado por Oberschelp *et al.*, (2020). De acordo com Higa *et al.*, (1997), observações em campo mostraram que *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* apresentam maior resistência ao frio do que *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, tal qual ao presente trabalho.

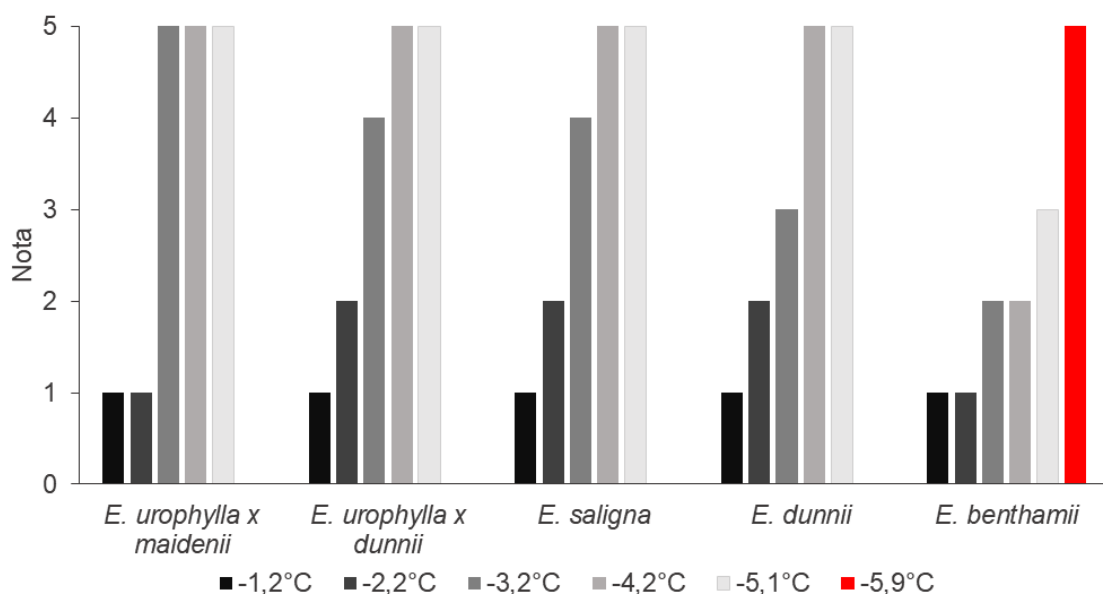


Figura 6 – Índice de dano visual das plantas de *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* com aproximadamente 6 meses de idade, 15 dias pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

#### 4.1.2 Mortalidade (%)

Ao analisar a mortalidade (%) das plantas, 30 dias pós simulação de geada (Figura 7), nota-se que apesar de algumas plantas aos 15 dias estarem muito danificadas visualmente (Figuras 8, 9, 10, 11, 12), aos 30 dias, parte delas se recuperaram. Dessa forma, no tratamento  $-3,2^{\circ}\text{C}$  houve recuperação de 40% das plantas para *E. urophylla* x *E. maidenii*, 80% das plantas para *E. urophylla* x *E. dunnii* e de 100% das plantas de *E. saligna*. Para mais, os clones supracitados tiveram 100% das plantas mortas a partir de  $-4,2^{\circ}\text{C}$ , em que as mesmas tiveram nota 5 de ID.

O *E. dunnii* obteve nota 5 de ID no tratamento  $-4,2^{\circ}\text{C}$ , entretanto houve recuperação de 100% das plantas no mesmo tratamento, o que indica uma capacidade de resiliência pós estresse para o clone, o que não ocorreu com os clones citados anteriormente. De modo análogo, o autor Lisbão Júnior (1980), constatou que a sobrevivência de *E. dunnii* permaneceu alta após as plantas com três meses de idade, terem sido afetadas por geadas na região de Colombo, PR. Não obstante, *E. dunnii* teve 100% de plantas mortas no tratamento  $-5,1^{\circ}\text{C}$ .

O clone *E. benthamii*, por sua vez, teve 80% das plantas mortas no tratamento  $-5,9^{\circ}\text{C}$ , não havendo morte em nenhum outro tratamento, o que sinaliza, mais uma vez a alta tolerância à geada, o que corrobora com os trabalhos de Floriani (2013); Oberschelp *et al.*, (2020) e Silva *et al.*, (2022).

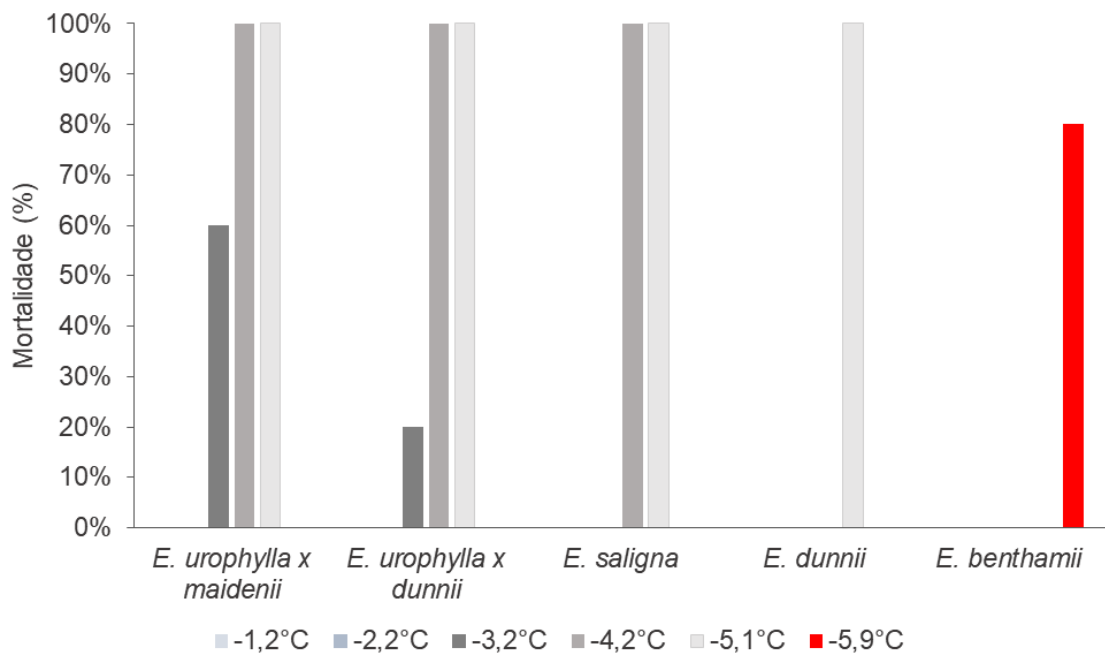


Figura 7 – Mortalidade (%) das plantas de *Eucalyptus urophylla x E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla x E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* com aproximadamente 6 meses de idade, 30 dias pós geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

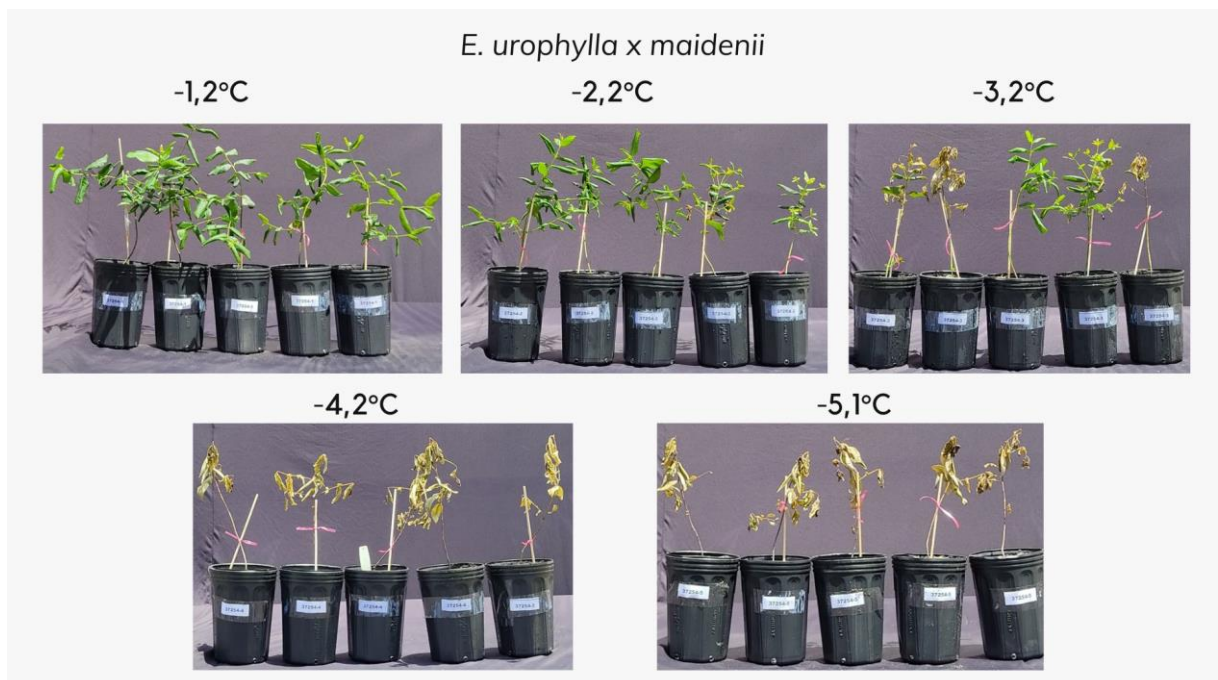


Figura 8 – Plantas de *Eucalyptus urophylla x E. maidenii* com aproximadamente 6 meses de idade, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

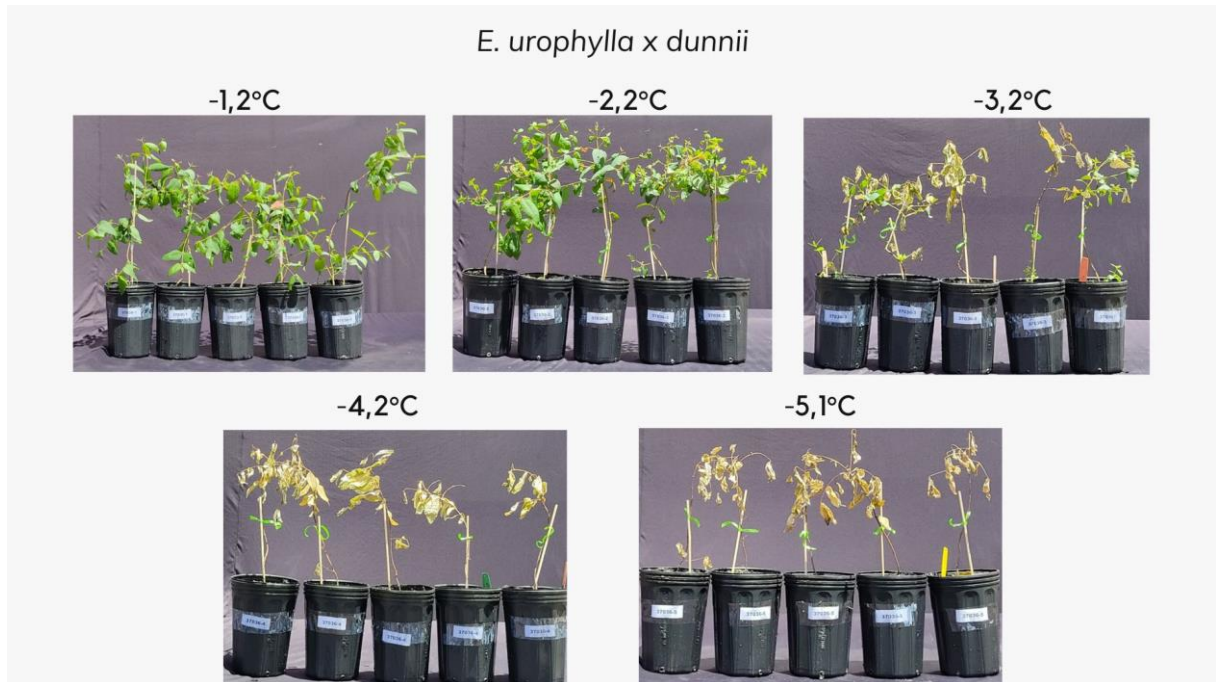


Figura 9 – Plantas de *Eucalyptus urophylla x E. dunnii* com aproximadamente 6 meses de idade, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

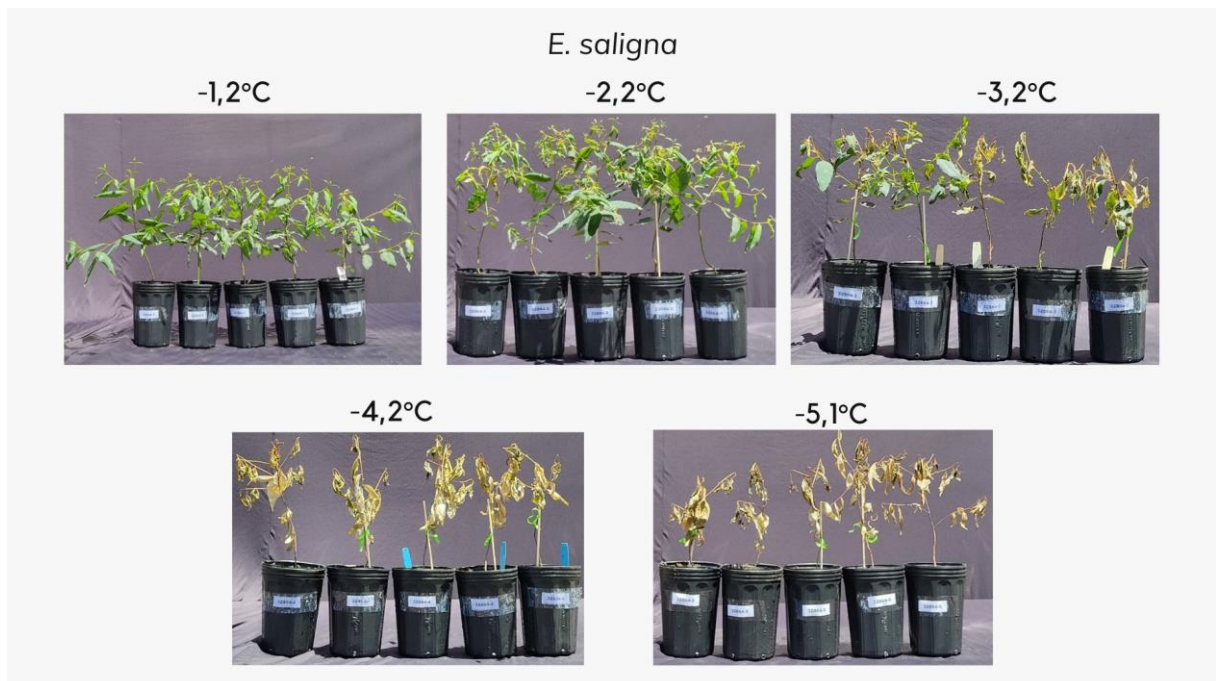


Figura 10 – Plantas de *Eucalyptus saligna* com aproximadamente 6 meses de idade, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).



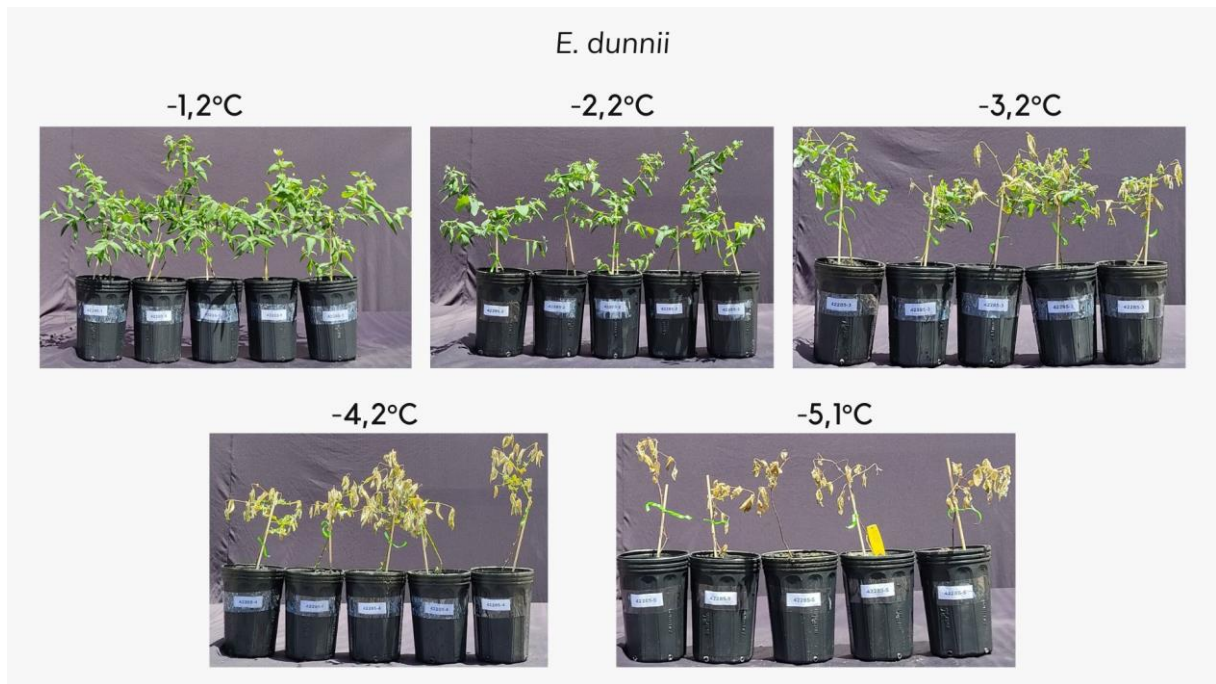


Figura 11 – Plantas de *Eucalyptus dunnii* com aproximadamente 6 meses de idade, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C, 15 dias pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

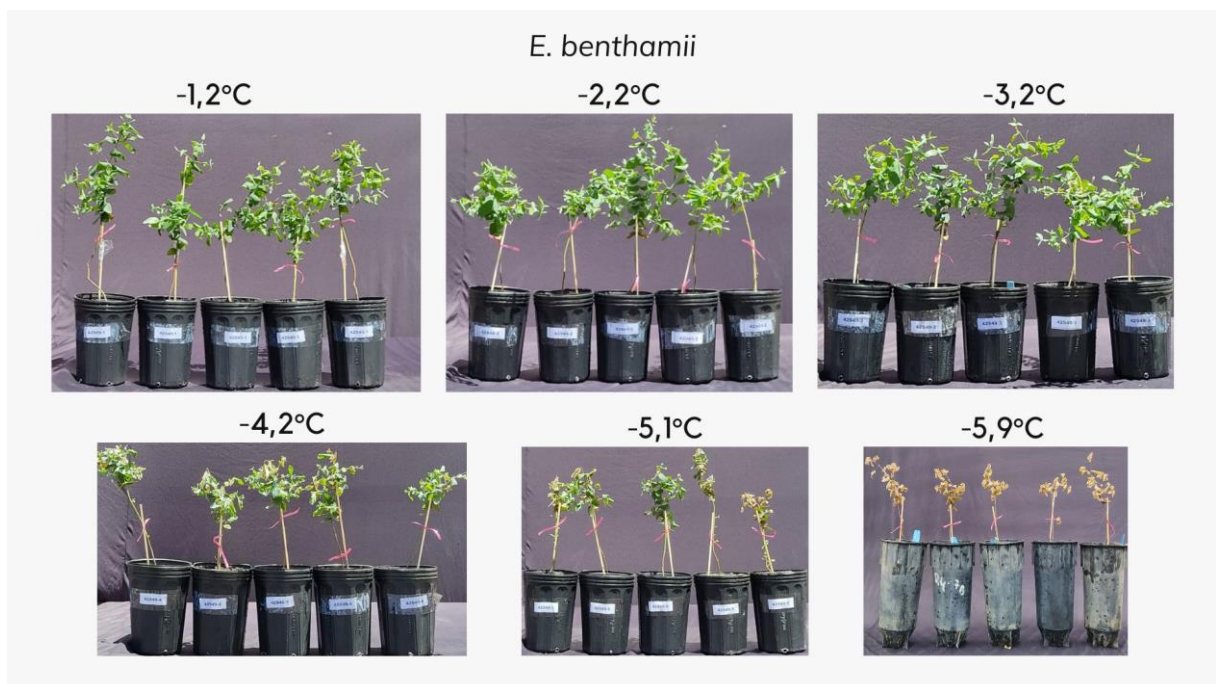


Figura 12 – Plantas de *Eucalyptus benthamii* com aproximadamente 6 meses de idade, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C, -5,1°C e -5,9°C, 15 dias pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

## 4.2 Extravasamento de Eletrólitos e TL<sub>50</sub>

De acordo com o modelo ajustado pela equação polinomial (Figura 13), é possível constatar que os tratamentos -1,2°C, -2,2°C e -3,2°C, desencadearam menor dano a membrana de todos os clones (inferior a 50%). Todavia, a partir do tratamento -4,2°C é visível que os clones *Eucalyptus urophylla x E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla x E. dunnii* e *Eucalyptus dunnii* tiveram o mesmo comportamento polinomial e maior extravasamento de eletrólitos com a diminuição da temperatura, em contraste ao observado por *E. saligna* e *E. benthamii*, que permaneceram abaixo de 50% de extravasamento.

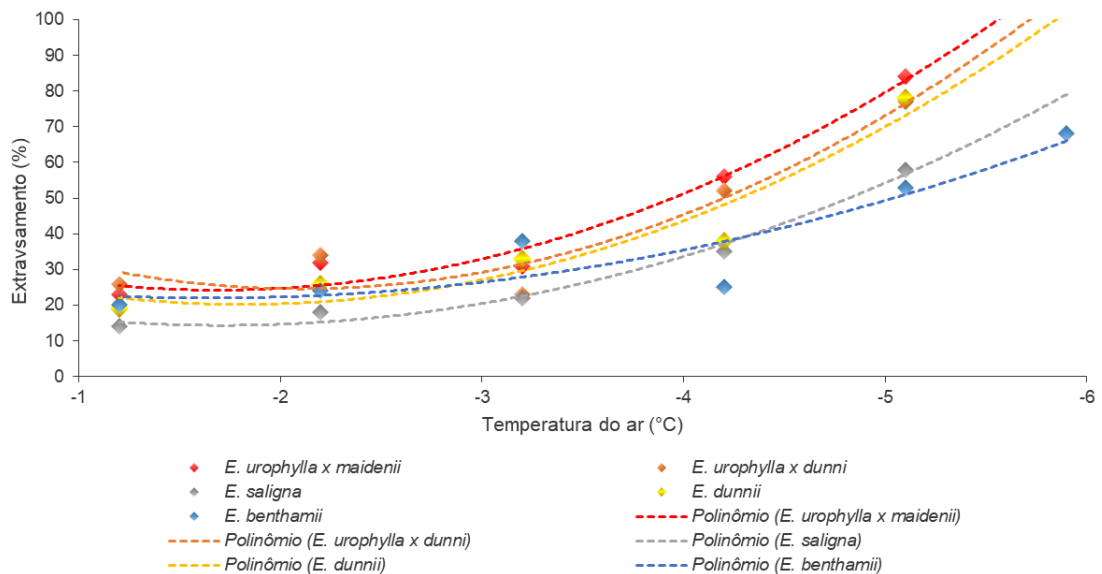


Figura 13 – Extravasamento de eletrólitos (%). Regressão polinomial das espécies de *Eucalyptus urophylla x E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla x E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* com aproximadamente 6 meses de idade.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Analisando a TL<sub>50</sub> (temperatura letal, onde ocorre 50% da condutividade elétrica máxima) estimada pela equação ajustada (Quadro 2), as temperaturas foram menores para *E. benthamii* (-5,04°C), seguido por *E. saligna* (-4,82°C) e *E. dunnii* (-4,28°C). Para Floriani *et al.*, 2013, as temperaturas de TL<sub>50</sub>, foram menores para o *Eucalyptus benthamii*, seguido por *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus saligna*. Todavia, apesar de *E. saligna* apresentar menor temperatura de TL<sub>50</sub> no presente trabalho, este, por sua vez, obteve maior índice de dano e mortalidade (%), como mostrado anteriormente. Para mais, a TL<sub>50</sub> encontrada no ajuste para os clones *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, foi de -3,95°C e -4,2°C, respectivamente, estando semelhante ao índice de dano. Ademais, observa-se, que os clones *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* morreram quando atingiram a TL<sub>50</sub> estimada, com exceção de *E. saligna* (-4,82°C) em que todas as plantas morreram no tratamento -4,2°C, mas isso pode acontecer devido ao problema no ajuste das equações, conforme descrito por Brackmann (2004).

Quadro 2 – Equação polinomial, R<sup>2</sup> e TL<sub>50</sub> (temperatura letal, onde ocorre 50% da condutividade elétrica máxima) encontrada através da equação, referente a figura 12 de extravasamento de eletrólitos, das espécies de *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*.

Clone	Equação	R <sup>2</sup>	TL50%
<i>E. urophylla</i> x <i>maidenii</i>	$y = 5,0451x^2 + 16,999x + 38,543$	0,9714	-3,95
<i>E. urophylla</i> x <i>dunnii</i>	$y = 5,7759x^2 + 24,266x + 50,059$	0,9124	-4,20
<i>E. saligna</i>	$y = 3,684x^2 + 12,583x + 25,081$	0,9873	-4,82
<i>E. dunnii</i>	$y = 4,9056x^2 + 17,789x + 36,335$	0,9190	-4,28
<i>E. benthamii</i>	$y = 2,4358x^2 + 8,0338x + 28,631$	0,8436	-5,04

Fonte: Elaboração própria (2023).

### 4.3 Trocas gasosas e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)

Devido as folhas das plantas estarem com aspecto quebradiço, tornou-se inviável a realização das análises para trocas gasosas e Fv/Fm, a partir do tratamento -4,2°C para

*Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*. As análises para o clone *E. benthamii*, foram realizadas até o tratamento  $-5,1^{\circ}\text{C}$ .

### 4.3.1 Trocas gasosas

As trocas gasosas envolvem processos biofísicos (abertura estomática), bioquímicos (sequestro do  $\text{CO}_2$ ) e fotoquímicos (absorção de radiação, fluorescência da clorofila e quebra de moléculas de água em  $4\text{H}^+$  e  $\text{O}_2$ ). Estes processos são sensíveis aos estresses ambientais, sendo possível detectar alterações significativas em minutos (PRADO & CASALI, 2006). No presente trabalho, foi verificado que as trocas gasosas foram impactadas pelos tratamentos aplicados.

Baixas temperaturas inibem as taxas de fotossíntese limitando as taxas enzimáticas do Ciclo de Calvin (HAVAUX, 1995). Davidson *et al.* (2004), demonstra que a diminuição das taxas fotossintéticas em mudas de *E. nitens* pós geada foram unicamente devido aos efeitos da baixa temperatura. No presente estudo, observa-se que as médias de (A) não foram significativamente diferentes entre si para *E. urophylla* x *E. maidenii* e *E. urophylla* x *E. dunnii* (FIGURA 14 e 15). Entretanto, *E. urophylla* x *E. maidenii* obteve diminuição acentuada de  $g_s$ ,  $E$  e  $C_i$  sendo menor no tratamento  $-3,2^{\circ}\text{C}$ .

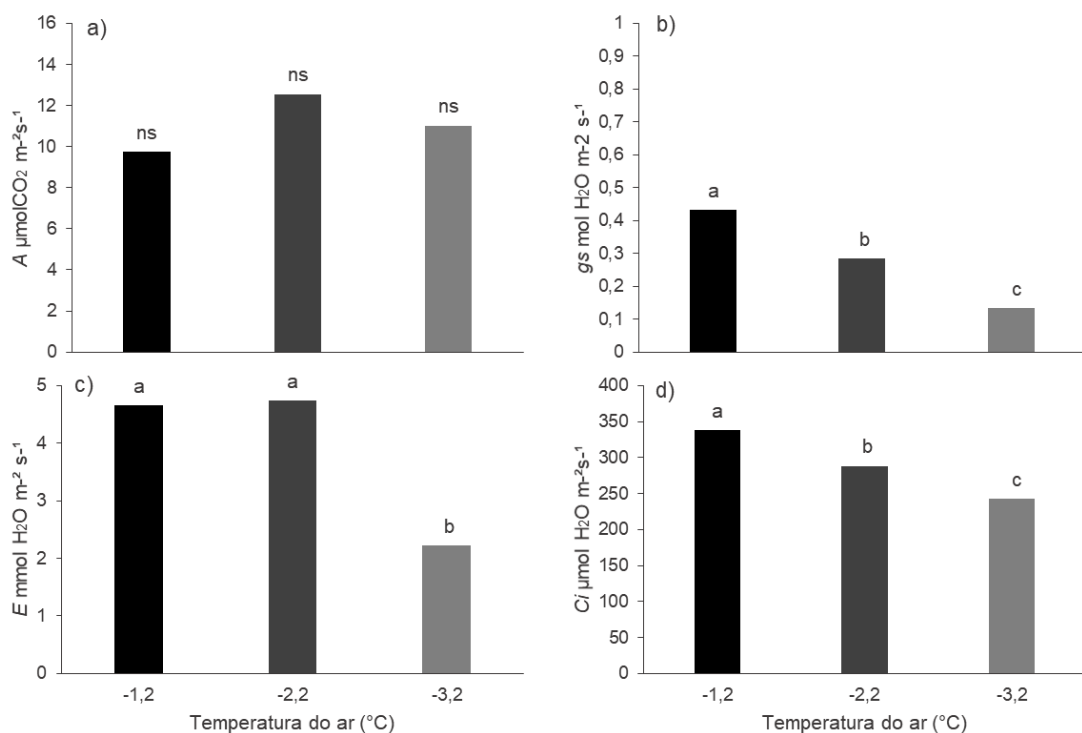


Figura 14 – a) A – assimilação líquida de CO<sub>2</sub>; b) gs – condutância estomática; c) E – transpiração; d) Ci – concentração interna de CO<sub>2</sub>. Avaliação das trocas gasosas das plantas de *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenni* com aproximadamente 6 meses de idade, um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C e -3,2°C. ns: não significativo; (Tukey, p≤0,05).

Fonte: Elaboração própria (2023).

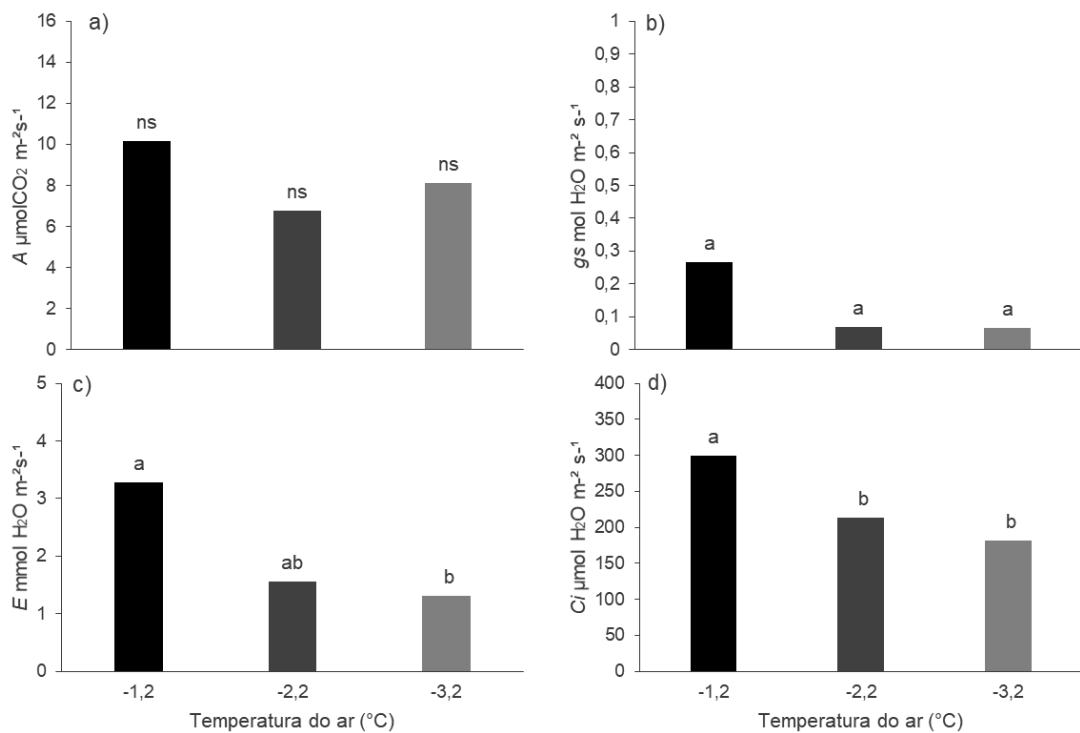


Figura 15 – a) A – assimilação líquida de CO<sub>2</sub>; b) gs – condutância estomática; c) E – transpiração; d) Ci – concentração interna de CO<sub>2</sub>. Avaliação das trocas gasosas das plantas de *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii* com aproximadamente 6 meses de idade, um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C e -3,2°C. (Tukey, p≤0,05).

Fonte: Elaboração própria (2023).

Para o clone *E. saligna* (Figura 16) os valores de A, gs, E e Ci foram menores a partir do tratamento -2,2°C não diferindo em -3,2°C. Além disso, nota-se uma queda de mais da metade da gs e E no tratamento -2,2°C.

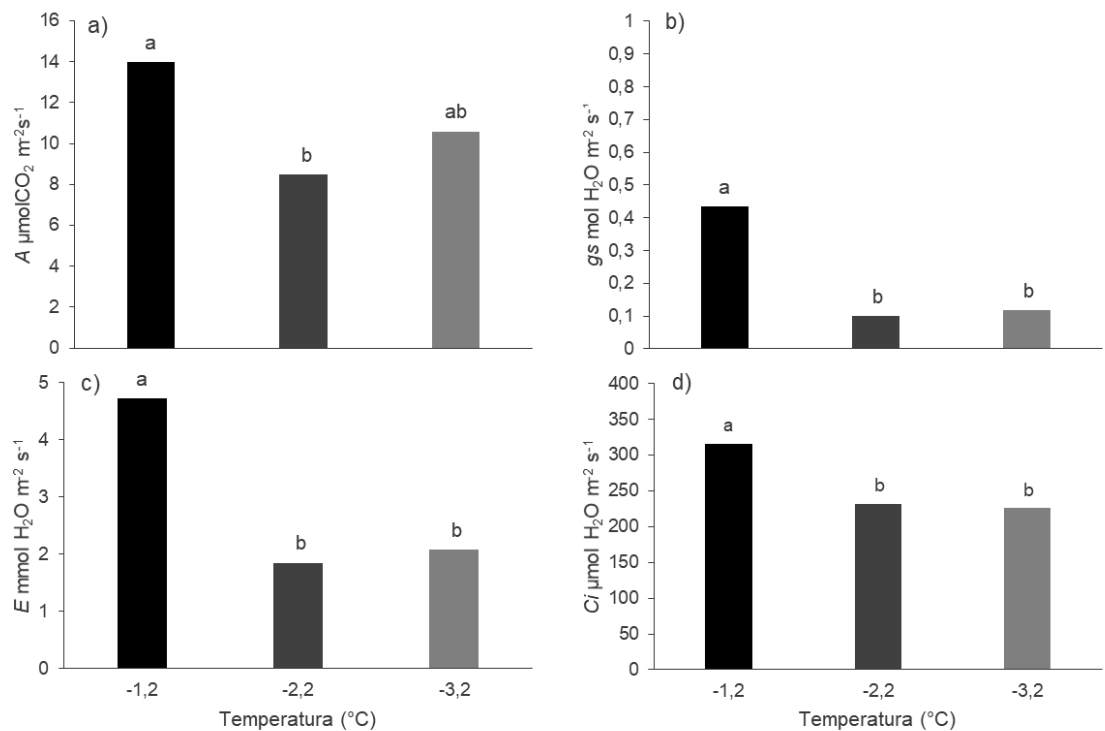


Figura 16 – a) A – assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ ; b) gs – condutância estomática; c) E – transpiração; d) Ci – concentração interna de  $\text{CO}_2$ . Avaliação das trocas gasosas das plantas de *Eucalyptus saligna* com aproximadamente 6 meses de idade, um dia pós simulação de geada, nos tratamentos  $-1,2^\circ\text{C}$ ,  $-2,2^\circ\text{C}$  e  $-3,2^\circ\text{C}$ . (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaboração própria (2023).

Para mais, observa-se a queda na assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  (A) para os clones *E. dunnii* e *E. benthamii* (Figura 17 e 18). No tratamento  $-3,2^\circ\text{C}$ , *E. dunnii* teve redução de 42,49% de (A) e *E. benthamii* de 49,85% no tratamento  $-5,1^\circ\text{C}$ , em relação ao tratamento  $-1,2^\circ\text{C}$ . Tatagiba *et al.* (2008), verificaram redução na taxa fotossintética, atribuída à menor abertura dos estômatos em eucalipto. Nesse sentido, as médias de condutância estomática (gs), Transpiração (E) e Concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Ci) também diminuiriam com a queda de temperatura para a maioria dos clones, sendo menor no tratamento  $-3,2^\circ\text{C}$ .

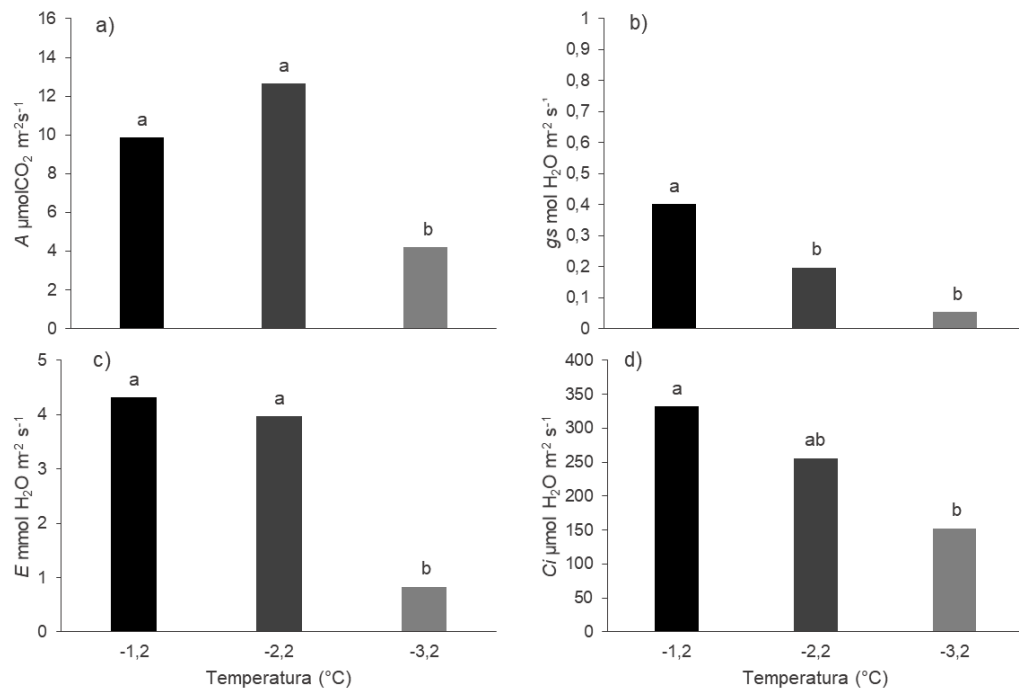


Figura 17 – a) A – assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ ; b) gs – condutância estomática; c) E – transpiração; d) Ci – concentração interna de  $\text{CO}_2$ . Avaliação das trocas gasosas das plantas de *Eucalyptus dunnii* com aproximadamente 6 meses de idade, um dia pós simulação de geada, nos tratamentos  $-1,2^\circ\text{C}$ ,  $-2,2^\circ\text{C}$  e  $-3,2^\circ\text{C}$ . (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaboração própria (2023).

O fechamento parcial dos estômatos pode representar uma estratégia para evitar desidratação excessiva ou uma consequência de desbalanço hídrico na epiderme das folhas, o que leva à redução de A em ambos os casos (LEVY, 1980). Durante a exposição a temperaturas congelantes, a absorção de  $\text{CO}_2$  é interrompida, assim que o gelo se forma a funcionalidade do cloroplasto pode ser danificada no nível ultra estrutural e bioquímico, devido à desidratação por congelamento ou comprometimento dependente do gelo do sistema de oxidação da água (LARCHER, 1994).

Observa-se que mesmo com a diminuição da condutância estomática (gs) e das taxas transpiratórias (E) a partir do tratamento  $-3,2^\circ\text{C}$ , o *E. benthamii* (Figura 18) se manteve estável sem danos visuais e fisiológicos, em contraste ao observado pelos demais clones (*Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii* e *Eucalyptus saligna*), que a partir dessas reduções acentuadas não sobreviveram. O

fechamento dos estômatos pode ser uma característica intrínseca de *E. benthamii* de tolerância à geada. Além disso, nota-se, que com a diminuição da temperatura, a concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*) do clone diminuiu até certo ponto (-3,2°C), mas posteriormente aumentou, o que pode ser explicado pela condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) reduzida. Junto a isso, Long *et al.* (1983), também observou diminuição acentuada na condutância estomática no milho em noites frias.

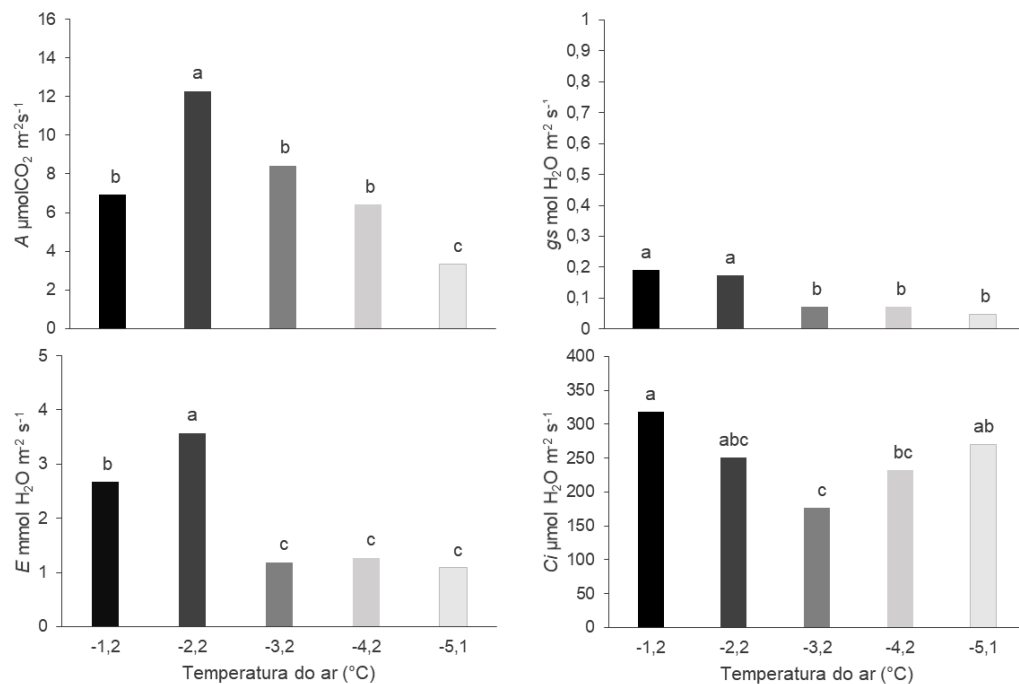


Figura 18 – a) A – assimilação líquida de CO<sub>2</sub>; b) g<sub>s</sub> – condutância estomática; c) E – transpiração; d) C<sub>i</sub> – concentração interna de CO<sub>2</sub>. Avaliação das trocas gasosas das plantas de *Eucalyptus benthamii* com aproximadamente 6 meses de idade, um dia pós simulação de geada, nos tratamentos -1,2°C, -2,2°C, -3,2°C, -4,2°C e -5,1°C. (Tukey, p<0,05).

Fonte: Elaboração própria (2023).

#### 4.3.2 Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)

Ao analisar os resultados de Fv/Fm (Figura 19), percebe-se que houve um desvio muito alto no tratamento -3,2°C, para os clones *Eucalyptus urophylla* x *E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla* x *E. dunnii* e *Eucalyptus saligna*, o que pode indicar o início do



estresse sofrido pelas plantas, o que corrobora com os dados anteriores. Rizza *et al.* (2001) também observou uma grande variação no desvio padrão durante a recuperação de cultivares pós congelamento e queda acentuada de Fv/Fm. Chen *et al.* (2021), verificou redução nos valores de Fv/Fm em *E. urophylla* após o tratamento a frio, indicando que a baixa temperatura pode destruir os componentes fotossintéticos, afetando assim o crescimento e o desenvolvimento das plantas. O clone *E. dunnii*, por sua vez, não apresentou muita variação de desvio padrão e Fv/Fm, entretanto, teve queda no tratamento  $-3,2^{\circ}\text{C}$  (0,66) o que evidencia o começo do impacto da geada para o clone.

O declínio de Fv/Fm é um bom indicador de dano fotoinibitório causado pela luz quando as plantas estão submetidas a uma ampla gama de condições ambientais estressantes como o resfriamento (LONG, *et al.*, 1983) e congelamento (STRAND & OQUIST, 1985). Além disso, o Fv/Fm é um indicador amplamente utilizado na saúde fotossintética em plantas (XIA *et al.*, 2023), também é comumente utilizado para refletir o rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II (PSII) (SANTABARBARA *et al.*, 2019). Segundo Bolhàr-Nordenkampf *et al.* (1989), valores de Fv/Fm entre 0,75 e 0,85 são indicativos de que plantas submetidas a algum tipo de estresse ambiental não apresentaram danos fotoinibitórios. Assim, nota-se que o clone *E. benthamii*, apresentou pouca variação de Fv/Fm nos tratamentos, mas a partir do tratamento  $-3,2^{\circ}\text{C}$  os valores foram abaixo do ideal (0,75), o que comprova os danos fotoinibitórios e conseqüentemente a diminuição da fotossíntese (A) nas trocas gasosas (Figura 18).

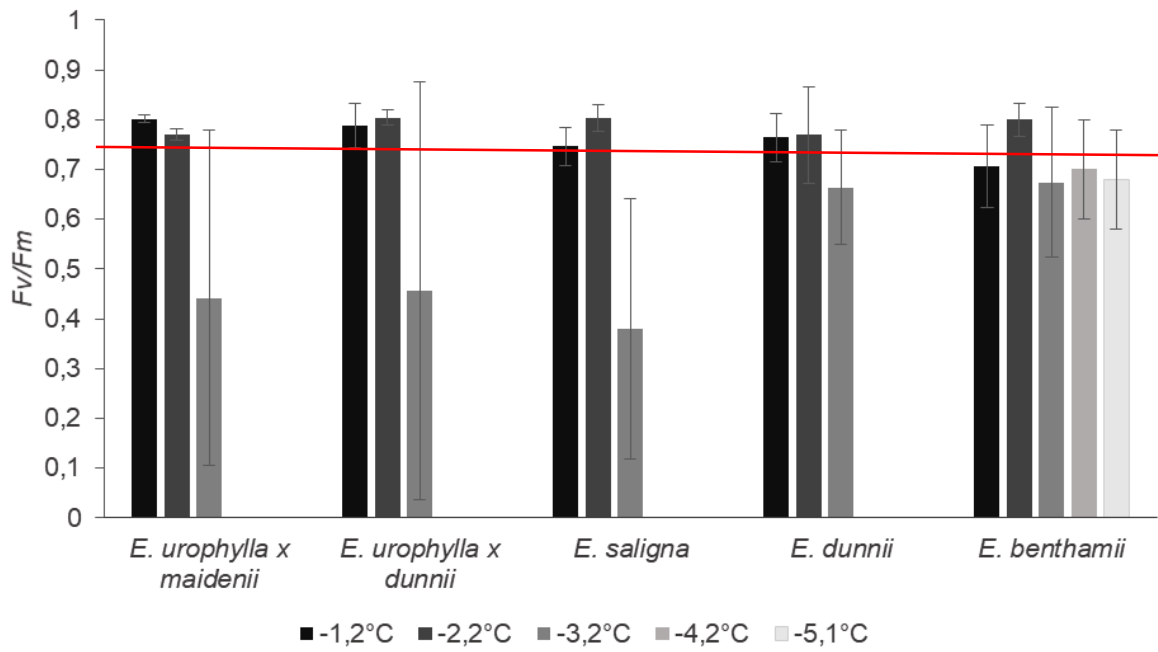


Figura 19 – Eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) das plantas de *Eucalyptus urophylla x E. maidenii*, *Eucalyptus urophylla x E. dunnii*, *Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii* com aproximadamente 6 meses de idade, um dia pós simulação de geada.

Fonte: Elaboração própria (2023).

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, foi possível identificar o limiar das temperaturas letais para as espécies estudadas, além de constatar quais os clones mais tolerantes e os mais sensíveis à geada. A avaliação das características fisiológicas das plantas pós geada contribuíram consideravelmente para atingir o objetivo do trabalho, visto que as espécies mais tolerantes (*E. benthamii* e *E. dunnii*) que tiveram maior mortalidade somente nos tratamentos  $-5,9^{\circ}\text{C}$  e  $-5,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, apresentaram menor dano a membrana, menor flutuação em relação a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) e maior controle das trocas gasosas, em contraste ao observado pelos demais clones (*E. urophylla x maidenii*, *E. urophylla x dunnii* e *E. saligna*), que tiveram queda acentuada das trocas gasosas e da eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), além de maior extravasamento de eletrólitos a partir do tratamento  $-3,2^{\circ}\text{C}$ .

Dessa forma, os resultados obtidos são essenciais para as tomadas de decisões sobre localização, planejamento de plantios de eucalipto em áreas sujeitas à ocorrência de geadas, a exemplo do Sul do país. Além disso, também auxilia na identificação precoce de clones de eucalipto tolerantes à geada. Para mais, a metodologia utilizada para detectar o impacto da geada sob as espécies de eucalipto pode ser replicado com sucesso para estudos com outras espécies.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGARVE, V. R.; CAVALCANTI, I. F. Características da circulação atmosférica associadas à ocorrência de geadas no sul do Brasil, **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos 1994. Disponível em: <[http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/06.29.13.22/doc/algarve\\_caracteristicas.pdf](http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/06.29.13.22/doc/algarve_caracteristicas.pdf)> Acesso em: 18 out. 2023

ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte (Brasil) v 18, p.32-51 1996.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS (AGEFLOR). **O SETOR DE BASE FLORESTAL NO RIO GRANDE DO SUL 2020**. 2019. Disponível em: <<http://www.ageflor.com.br/noticias/wp-content/uploads/2020/12/O-Setor-de-Base-Florestal-no-Rio-Grande-do-Sul-2020-ano-base-2019.pdf>> Acesso em: 30 de set 2023.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (BRDE) **Florestamento na Região Sul do Brasil**, 2003. Disponível em: [https://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos\\_e\\_pub/Florestamento%20na%20Regiao%20Sul%20do%20Brasil.pdf](https://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/Florestamento%20na%20Regiao%20Sul%20do%20Brasil.pdf) Acesso em: 30 de set 2023.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P.; BAKER, N.R.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E.G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v.3, p.497-514, 1989

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

BOSCARDIN, P. M. D. **Morfoanatomia, fitoquímica e atividades biológicas de *Eucalyptus benthamii* maiden et Cambage – Myrtaceae**. 2009. 139 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRACKMANN, A. et al. QUALIDADE DE *Zinnia elegans* “SCARLET” EM SOLUÇÕES CONSERVANTES COM SACAROSE. **Revista Brasileira de Agrociências**, v. 10, n. 1, 1 jan. 2004.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E.; SEIXAS, F.; MIGLIORINI, A. J.; MURAMOTO, M. C. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, 1983.

BUTCHER, P. A., SKINNER, A. K., GARDINER, C. A. Increased inbreeding and interspecies gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v. 6, n. 2, p.213–226, 2005.

CAMARGO, A.P. Apontamento de agrometeorologia. **Apostila da FAZMCG**, Esp. Sto. Do Pinhal, 1972.

CARON, B.O.; SOUZA, V.Q.; ELOY, E.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R. Resistência inicial de quatro espécies arbóreas em diferentes espaçamentos após ocorrência de geada. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 5, p. 817–822, 1 maio 2011.

CARVALHO, L.G.; DANTAS, A.A.A.; NETO, P.C. Geada e plantas cultivadas. **GNE 109 – Agrometeorologia UFLA** p. 52, 2010

CHARRIER, G. *et al.* Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 28 abr. 2015. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2015.00259/abstract>. Acesso em: 01 out. 2023

CHEN, H. *et al.* Long Non-Coding RNA and Its Regulatory Network Response to Cold Stress in *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake. **Forests**, v. 12, n. 7, p. 836–836, 25 jun. 2021

DAVIDSON, N. J.; BATTAGLIA, M.; CLOSE, D. C. Photosynthetic responses to overnight frost in *Eucalyptus nitens* and *E. globulus*. **Trees - Structure and Function**, v. 18, n. 3, p. 245–252, 1 maio 2004.

DALMAGO, G. *et al.* Acclimação ao frio e dano por geada em canola Acclimatization to cold and frost-injury in canola. **Pesquisa agropecuária brasileira**, n. 9, p. 933–943, 2010.

EMBRAPA FLORESTAS (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária.). **Balanco Social - Eucalyptus benthamii**. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/53046372/balanco-social- --eucalyptus-benthamii>> Acesso em: 14 ago. 2023.

EMBRAPA. **Espécie de eucalipto urophylla tem maior plasticidade e produtividade**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/66939049/especie-de-eucalipto-urophylla-tem-maior-plasticidade-e-produtividade>> (2021) Acesso em: 05 out. 2023.

FARIA, A. P. 2010 **Avaliação ex vivo da tolerância de cultivares de mamoneira (*Ricinus Communis L.*) ao déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.84, 2010.

FERREIRA, M. G. S.; SANTOS, P. E. T. **Melhoramento genético florestal dos Eucalyptus no Brasil breve histórico e perspectivas**. 1 jan. 1997.

FIORIN, T. T.; ROSS, M. D. Climatologia agrícola – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, **Colégio Politécnico**; Rede e-Tec Brasil, 2015.

FLORIANI, M. M. P. **Relação da tolerância ao frio de *eucalyptus* spp. Com a concentração foliar de carboidratos solúveis totais e prolina**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina. LAGES, 2009.

FLORIANI, M. M. P.; STEFFENS, C. A.; CHAVES, D. M. Rustificação de plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e a relação entre as concentrações de carboidratos solúveis totais e de prolina foliar e a tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 21–29, fev. 2011.

FLORIANI, M. M. P.; STEFFENS, C. A.; CHAVES, D. M.; AMARANTE, C. V. T.; PIKART, T. G.; RIBEIRO, M. S. relação entre concentrações foliares de carboidratos solúveis totais e tolerância ao frio em diferentes espécies de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, 2013.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Editora UFV, Viçosa, 2010.

GASANA, J. K.; LOEWENSTEIN, H. Site classification for Maiden's gum, *Eucalyptus globulus* subsp. *Maidenii*, in Rwanda. **Forest ecology and management**, 107-116 p. 1984.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOJRA, V.P.G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil. **Série técnica PRODEPEF**, v. 11 p. 1-66, 1978.

GONÇALVES, J. L. DE M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 6–27, 1 ago. 2013.

GOUVEIA, V. M.; PRADO, R. B. **Crescimento e Intensificação da Produção florestal Brasileira** 2022. Disponível em:  
<<https://www.embrapa.br/documents/10180/80318395/Crescimento+e+Intensifica%C3%A7>

%C3%A3o+da+Produ%C3%A7%C3%A3o+florestal+Brasileira+-+mega+4.pdf/dc8d3800-3d9d-ff43-d65b-5e5e0d6f2ec4. > acesso em 30 de set. 2023

HAVAUX, M. (1995) Temperature sensitivity of the photochemical function of photosynthesis in potato (*Solanum tuberosum*) and a cultivated Andean hybrid (*Solanum x juzepczukii*). **Journal of Plant Physiology** 146:47–53

HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V. Indicação de espécies para reflorestamento. In: GALVÃO, A. P. M. (Ed.). Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Brasília: **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Embrapa Florestas**, 2000. 101-124 p.

HIGA, A.R.; GARCIA, C.H.; SANTOS, E.T. Geadas, prejuízos à atividade florestal. **Silvicultura**, v.15, n. 58, 1994. 40-43 p.

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* atingidos por geadas em Campo do Tenente, Paraná**. 1998. 100 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HIGA, R. C. V., HIGA, A. R., TREVISAN, R., & SOUZA, M. D. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 2000. 40, 67-76 p.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **EMBRAPA FLORESTAS**, 2003.

HIGA, R.C.V. et al. Comportamento de vinte espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT, 1997, Salvador. Colombo: **Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas**, 106-110 p. 1997.

IBÁ – (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES). **Relatório 2022**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2023

IWAKIRI, S.; JÚNIOR, S. K.; PRATA, J. G.; ROSSO, S. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, 2007.

KASUGA, J.; ARAKAWA, K.; FUJIKAWA, S. High accumulation of soluble sugars in deep supercooling Japanese white birch xylem parenchyma cells. **New Phytologist**, v. 174, 2007.

KOCHEVA, K. V.; GEOGIEV, G. I.; KOCHEV, V. K. A diffusion approach to the electrolyte leakage from plant tissues. **Physiologia Plantarum**. N.125. p. 1-9, 2005.

LARCHER, W. (1994). Photosynthesis as a tool for indicating temperature stress events. In: E. D. Schulze, and M. M. Caldwell (eds), **Ecophysiology of Photosynthesis**, 261Ð277, Springer Verlag, Berlin.

LAMPRECHT, H. Silvicultura nos trópicos. **Eschborn: GTZ**, 343 p. 1990.

LEITE, N. B.; FERREIRA, M.; RAMOS, P. G. Efeito de geadas sobre diversas espécies e procedências de *Eucalyptus* spp. introduzidas na região de Lages, Santa Catarina. Piracicaba, **IPEF**, 1973. 123 p. (Circular Técnica7).

LEVY, Y. Effect of evaporative demand on water relations of Citrus limon. **Annals of Botany, Oxford**, v. 46, 1980. 695-700, p.

LIMA, A. L. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Gothenburg, v. 47, n. 3, 239-247 p. 2002.

LISBÃO JUNIOR, L. O efeito da geada e o comportamento inicial de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em ensaio conjugado de mini espaçamento e adubação. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.1, p.28-49 1980.

LONG, S. P.; EAST, T. M.; BAKER, N. R. Chilling Damage to Photosynthesis in Young Zea mays. **Journal of Experimental Botany**, v. 34, n. 2, p. 177–188, 1 jan. 1983.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. Dendrologia das Angiospermas – myrtales. Santa Maria: Ed. **UFSM**, p. 213- 241 1997.

MORAES, C. B.; FREITAS, T. C. M.; PIERONI, G. B.; ZIMBACK, L.; RESENDE, M. D. V.; MORI, E. S. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. **Scientia Forestalis**, v.42, n.12, p. 219-227 2014.



MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* ST Blake no Brasil.** 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/174980/o-germoplasma-de-eucalyptus-urophylla-s-t-blake-no-brasil>>. Acesso em: 30 set. 2023.

OBERSCHELP, G. P. J.; GUARNASCHELLIB, A. B.; TESONA, N.; HARRANDA, L.; PODESTAC, E. F.; MARGARITC, E. Cold acclimation and freezing tolerance in three *Eucalyptus* species: A metabolomic and proteomic approach. **Elsevier Science**, v.154, p. 318-319, 2020.

OLIVEIRA, H.T.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Probabilidade de ocorrência de geada no estado do Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro De Agrometeorologia**, 10, Piracicaba, 17, p.77-79. 1997

ORO, P. (2012). **Perda de eletrólitos radiculares em mudas de *Peltophorum dubium* e *Enterolobium contortisiliquum* submetidas a diferentes frequências de irrigação durante a rustificação.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Paraná – Unioeste. Marechal Cândido Rondon, 2012.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no estado do Paraná. Colombo: **Embrapa**, 2005. (Comunicado Técnico, 141).

PALVA, E. T.; et al. Biological mechanism of low temperature stress response: Cold acclimation and development of freezing tolerance in plants. **Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Working Report**. 2002. p. 9-19

PELOSO, A. D. F., TATAGIBA, S. D., REIS, E. F. D., PEZZOPANE, J. E. M., & AMARAL, J. F. T. D. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 389–389, 6 set. 2017.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola 306**. Universidade de São Paulo, 2007

PRADO, C. H. B. D. A., & CASALI, C. A. (2006). Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em folhas de ramos destacados de eucalipto. **Fisiologia vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri: Manole, 1-18.

PRYOR, L. D.; JOHNSON, L. A. S. **A classification of the *Eucalyptus***. Canberra, Australian National University, 1971

RIZZA, F. et al. Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and spring oats. **Plant Breeding**, v. 120, n. 5, p. 389–396, 21 out. 2001.

SALAMONI, A. T. **Apostila de aula teórica de Fisiologia Vegetal, 2008**. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4086253/mod\\_resource/content/1/Apostila%20-%20Fisiologia%20Vegetal.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4086253/mod_resource/content/1/Apostila%20-%20Fisiologia%20Vegetal.pdf)> acesso em: 06 set de 2023.

SANTABARBARA, S. *et al.* Comparative excitation-emission dependence of the FV/FM ratio in model green algae and cyanobacterial strains. **Physiologia Plantarum**, v. 166, n. 1, p. 351–364, 27 fev. 2019.

SELLE, G. L.; VUADEN, E. Efeitos da geadas sobre plantações de *Eucalyptus grandis*. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, v. 20, n. 1, p. 36-44, 2008.

SILVA, A. L. *et al.* **Micropropagation of Eucalyptus saligna from cotyledonary nodes**. Pak. J. Bot, 47(1), 311-318, 2015.

SILVA, L. D. *et al.* *Eucalyptus benthamii*: uma espécie geneticamente promissora para produção de madeira em áreas sujeitas a ocorrência de geadas. **Floresta**, v. 52, n. 3, p. 422–422, 19 jul. 2022.

STRAND, M.; OQUIST, G. Inhibition of photosynthesis by freezing temperatures and high light levels in cold-acclimated seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). II. Effect on chlorophyll fluorescence at room temperature and 77K. **Physiologia Plantarum**, v. 64, n. 4, p. 425–430, ago. 1985.

SWAIN, T. **An Overview of the Status of Cold Tolerant Eucalypt Trials in South Africa**. 1 jan. 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. p. 628 Porto Alegre: Artemed, 2013.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; FIALHO, E.F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, v.38, n.2, p.387-400, 2008.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do Sudoeste, Rio Grande do Sul**. 2003. 289p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

WAC. **World Agroforestry Centre, Agroforestry Database 4.0**, Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org>> 2015.

WILSON, B.C.; JACOBS, D.F. Electrolyte leakage from stem tissue as an indicator of hardwood seedling physiological status and hardiness. **Proceedings of the 14th Central Hardwoods Forest Conference**. P. 373- 381, 2005

XIA, Q. *et al.* Determination of  $F_v / F_m$  from Chlorophyll a Fluorescence without Dark Adaptation by an LSSVM Model. **Plant phenomics**, v. 5, 1 jan. 2023.