

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS ERECHIM  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**LAVINYA MONFRON GUERRA**

**CONSEQUÊNCIAS DO ESTRESSE SALINO EM MUDAS DE ERVA-MATE  
(*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**

**ERECHIM**

**2024**

**LAVINYA MONFRON GUERRA**

**CONSEQUÊNCIAS DO ESTRESSE SALINO EM MUDAS DE ERVA-MATE  
(*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Yugo Lima Melo  
Coorientador: Prof<sup>ª</sup> Dra. Cherlei  
Marcia Coan

**ERECHIM  
2024**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Guerra, Lavinya Monfron  
CONSEQUÊNCIAS DO ESTRESSE SALINO EM MUDAS DE  
ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) / Lavinya  
Monfron Guerra. -- 2024.  
33 f.:il.

Orientador: Doutor Yugo Lima Melo  
Co-orientadora: Doutora Cherlei Marcia Coan  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Ciências Biológicas, Erechim,RS, 2024.

1. Salinidade. 2. Estresse osmótico. 3. Toxicidade  
iônica. 4. Fotossíntese. 5. Fisiologia Vegetal. I. Melo,  
Yugo Lima, orient. II. Coan, Cherlei Marcia, co-orient.  
III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

**LAVINYA MONFRON GUERRA**

**CONSEQUÊNCIAS DO ESTRESSE SALINO EM MUDAS DE ERVA-MATE  
(*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em  
21/06/2024.

**BANCA AVALIADORA**

---

Prof. Dr. Yugo Lima Melo  
Orientador

---

Prof<sup>ª</sup> Dra. Cherlei Marcia Coan  
Coorientadora

---

Prof<sup>ª</sup> Dra. Denise Cargnelutti  
Avaliadora

---

Prof<sup>ª</sup> Dra. Helen Treichel  
Avaliadora

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão e reconhecer a ajuda e o suporte de todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais por todo carinho, apoio e incentivo durante essa jornada e por sempre me fazerem persistir diante dos desafios.

Agradeço também aos meus amigos, especialmente a Julia e ao Gabriel, pelo auxílio nas coletas e constante incentivo, além de sempre estarem comigo durante a jornada, tornando o processo mais leve.

Expresso também a minha imensa gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Yugo Lima Melo e a minha coorientadora Prof<sup>a</sup> Dra. Cherlei Marcia Coan por todo o apoio, paciência e ensinamentos durante esse estudo que foram essenciais para a realização do trabalho e também para a minha trajetória acadêmica e profissional.

Às minhas colegas Bruna, Arieli e Nandra por toda a ajuda durante os momentos de coleta e preparação do projeto de pesquisa.

Agradecimento especial ao Alexandro Joel Copini que nos doou as plantas de erva-mate, com certeza sua ajuda foi de extrema importância para a realização deste trabalho.

Agradeço também aos demais professores que tiveram papel fundamental na realização deste trabalho. À professora Denise Cargnelutti e Tarita Deboni, assim como a todo o pessoal do seu laboratório, por me concederem espaço para a realização da minha pesquisa. Ao professor Alfredo Castamann e ao professor Hugo por me darem acesso às casas de vegetação. Ao professor Leandro Galon pelo empréstimo dos equipamentos que foram essenciais para a realização da pesquisa. Às professoras da disciplina de TCC I e II, Marília Hartmann e Helen Treichel por todos os ensinamentos que foram essenciais para a construção do trabalho.

Aos técnicos da UFFS por todo o auxílio quando era necessário.

A todos, deixo aqui minha profunda gratidão. Sem o apoio e auxílio de cada um esse trabalho não seria possível.

## RESUMO

As plantas estão sujeitas a sofrerem com estresses abióticos em seu ambiente, sendo o estresse salino um dos mais prejudiciais e que pode causar diversas consequências negativas nas plantas que não possuem tolerância. O efeito da salinidade ainda é desconhecido em diversas espécies de plantas, como é o caso da erva-mate (*Ilex paraguariensis*), uma planta nativa da Mata Atlântica pertencente à família Aquifoliaceae e que possui imensa influência cultural, socioeconômica e ecológica na Região Sul do Brasil. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os níveis de tolerância e as consequências da salinidade em mudas de *Ilex paraguariensis* submetidas a diferentes concentrações de NaCl. O trabalho foi dividido em dois experimentos, o primeiro com plantas expostas a cinco concentrações de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM e 200 mM), foram realizadas mensurações de fluorescência da clorofila *a* e teores de clorofila; já no segundo experimento as plantas foram expostas a apenas uma concentração salina (200 mM) e o controle (0 mM), sendo analisados os teores de clorofila, parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, conteúdo relativo de água e vazamento de eletrólitos. Os resultados do presente estudo indicaram que nas plantas tratadas com NaCl, quando comparadas às do controle, apresentaram redução nos teores de clorofila e nos indicadores de eficiência fotoquímica. Entretanto, não ocorreu redução no conteúdo relativo de água, sugerindo que a erva-mate não sofreu as consequências do estresse hídrico relacionadas à salinidade. No geral, a erva-mate se mostrou moderadamente tolerante às condições salinas em que foi exposta. Esse estudo foi fundamental para entender as consequências da salinidade nessa espécie, com vistas a produção da cultura e uma possível adaptação às mudanças climáticas na região. Para estudos futuros, são sugeridos ensaios bioquímicos para melhor compreensão dos mecanismos que são afetados pelo estresse salino e estratégias de tolerância a essa condição em erva-mate.

**Palavras-chave:** Salinidade; Estresse osmótico; Toxicidade iônica; NaCl; Fotossíntese.

## ABSTRACT

Plants are susceptible to suffering from abiotic stresses in their environment, with saline stress being one of the most harmful, causing various negative consequences in plants that lack tolerance. The effect of salinity remains unknown in many plant species, including yerba mate (*Ilex paraguariensis*), a native plant of the Atlantic Forest belonging to the Aquifoliaceae family and that holds immense cultural, socioeconomic, and ecological influence in the Southern region of Brazil. Therefore, the objective of this study was to evaluate the tolerance levels and consequences of salinity on *Ilex paraguariensis* seedlings subjected to different concentrations of NaCl. The study was divided into two experiments: the first involved plants exposed to five NaCl concentrations (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, and 200 mM) for seven days, followed by the measuring of chlorophyll fluorescence and chlorophyll content. In the second experiment, plants were exposed to a single saline concentration (200 mM) and a control (0 mM) also for seven days, followed by analyzes of chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters, relative water content, and electrolyte leakage. The results indicated that plants treated with NaCl compared to the control presented a reduction in chlorophyll content and indicators of photochemical efficiency. However, there was no reduction in relative water content, indicating that yerba mate probably did not suffer from water stress consequences related to salinity. Overall, yerba mate showed moderate tolerance to the saline conditions it was exposed to. This study was key in understanding the consequences of salinity in this species, particularly for crop production and potential adaptation to climate change in the region. For future studies, biochemical assays are suggested to better comprehend the mechanisms affected by saline stress and associated tolerance strategies in yerba mate.

**Keywords:** Salinity; Osmotic stress; Ionic toxicity; NaCl; Photosynthesis.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>12</b>
3.1 ÁREAS EXPERIMENTAIS E MATERIAL VEGETAL	12
3.2 INDUÇÃO E MANUTENÇÃO DOS TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS	12
3.3 PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A	14
3.4 TEORES DE CLOROFILA	15
3.5 CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA E PERCENTUAL DE UMIDADE	15
3.6 VAZAMENTO DE ELETRÓLITOS	15
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>16</b>
4.1 EXPERIMENTO 1	16
4.2 EXPERIMENTO 2	20
4.2.1 TEORES DE CLOROFILA	20
4.2.2 PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA	22
4.2.3 CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA	23
4.2.4 VAZAMENTO DE ELETRÓLITOS	24
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As plantas estão sujeitas a sofrerem com mudanças em seus ambientes, que podem resultar em estresses abióticos. Essa condição é definida como uma perturbação que ocorre no ambiente que acaba dificultando o funcionamento fisiológico da planta (Munns; Tester, 2008). O estresse salino é um dos mais prejudiciais às culturas agrícolas, pois pode impedir o crescimento das plantas, além de afetar outros processos tais como a germinação, a fotossíntese, os teores de pigmentos fotossintéticos, a relação hídrica e a nutrição (Parihar et.al., 2014).

Em geral, os solos salinos são menos férteis e produtivos, possuem baixa biodiversidade e prejudicam o cultivo de diversas culturas. Além disso, a salinização do solo interfere na qualidade da água, pois tende a aumentar a salinidade dos lençóis freáticos. Atualmente, há cerca de 833 milhões de hectares de solos salinos em todo o mundo e a maioria deles pode ser encontrada em regiões áridas e semiáridas da África, Ásia e América Latina (ONU, 2021). A ocorrência da salinização nos solos prevalece nessas áreas em virtude dos baixos índices de pluviosidade e das altas temperaturas, que por sua vez provoca intensa evaporação da água e, por consequência, causa a deposição de sais na superfície do solo ao longo dos anos. Ademais, o uso abundante de adubação, a falta de irrigação para lixiviar o excesso de fertilizantes e a contínua evaporação da água do solo podem aumentar os teores de sais na solução do solo e causar o baixo rendimento das culturas (Dias et. al., 2007). Diante disso, vê-se um grave problema para a produtividade de várias culturas, já que a incidência de sais no solo pode causar diversas consequências negativas às plantas que não toleram ambientes salinos.

O acúmulo de sais na zona radicular pode alterar o pH e interferir na absorção de nutrientes essenciais para as plantas, ocasionando em déficit nutricional (Medeiros et. al., 2019). Munns (2005) descreve que o sal presente nos solos pode impedir o crescimento das plantas por duas razões, sendo a primeira o déficit hídrico, que irá inibir a absorção de água pelas raízes e, a segunda a toxicidade iônica causada pelo excesso de sais nas células, que irá causar efeitos secundários na planta.

A sensibilidade e a tolerância das plantas aos efeitos da salinidade podem variar entre espécies e cultivares e, além disso, esses fatores dependem das condições climáticas da região, do tipo de solo, do método de irrigação e do estágio de desenvolvimento das plantas (Dias et. al., 2016). No geral, as plantas podem ser classificadas de acordo com sua tolerância à salinidade. As glicófitas são a maioria das plantas cultivadas, que não se adaptam bem ao

ambiente salino. Por outro lado, as halófitas são aquelas que possuem mecanismos de adaptação para resistir ao sal presente na solução do solo e todo o ciclo de vida destas plantas ocorre em ambiente salino (Acosta-Motos et. al., 2017).

Diversos estudos mostraram os efeitos causados por variados níveis de salinidade em diferentes gêneros e espécies de plantas. Por exemplo, Bezerra et. al. (2022) constatou que a salinidade acarretou problemas para a condutância estomática, concentração externa de CO<sub>2</sub>, transpiração e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas de cafeeiro canéfora 60 dias após o transplântio das mudas. Marques et. al. (2011) observou em mudas de pitangueira que, ao aumentar os níveis de salinidade, houve a redução do potencial hídrico nas folhas. Além disso, nesse mesmo estudo, os autores também concluíram que ao analisar a planta quando submetida ao estresse a curto prazo, ocorreu diminuição da concentração dos pigmentos fotossintéticos e, quando colocadas a estresse de longo prazo, ocorreu um aumento dos mesmos. O efeito da salinidade ainda é desconhecido em muitas espécies de plantas, incluindo algumas com importância socioeconômica e ecológica, como a erva-mate.

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie nativa da Mata Atlântica pertencente à família Aquifoliaceae. Ocorre em regiões temperadas e subtemperadas da América do Sul, abrangendo as regiões do Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai, Colômbia, Peru e Equador (Klein; Reis; Reitz, 1988). A planta tem uma grande influência econômica na Região Sul devido ao consumo na forma de chá mate ou chimarrão a partir da infusão das folhas da árvore. Assim, a erva-mate é uma espécie muito cultivada visando seu potencial socioeconômico e cultural (Lorenzi, 2016). A produção da erva-mate pode ser feita de duas formas, sendo que a primeira é o extrativismo vegetal, em que é feita a colheita de ramos e folhas e, a segunda, por meio do plantio em silvicultura (Santos; Vestena, 2022). No Brasil, o estado do Rio Grande do Sul é o maior responsável pela produção de folhas de erva-mate, com cerca de 44% do total nacional. A quantidade de erva-mate produzida a partir da extração vegetal no estado chegou a 441.840 mil toneladas no ano de 2022 (Atlas socioeconômico RS; IBGE, 2022).

Ademais, além de sua influência econômica, sobrevém também a influência ecológica desta espécie. Há pesquisas que reforçam a efetividade no cultivo de erva-mate em agroflorestas para a recuperação de áreas degradadas, especialmente em locais de Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente. Por exemplo, Stiebler et. al. (2021) concluiu que o cultivo de erva-mate em Sistemas Agroflorestais pode ser uma fonte de renda para pequenos agricultores, além da espécie ser uma estratégia para recuperação de algumas áreas. Em estudos realizados no Planalto Norte Catarinense, pesquisadores concluíram que os ervais

são de extrema importância para a conservação socioambiental, pois podem conservar remanescentes florestais e espécies com risco de extinção, além de conectar fragmentos florestais e manter a conservação do solo e da água (Denardin; Marques; Reis, 2019).

Há poucas pesquisas científicas que avaliam como a espécie *Ilex paraguariensis* se comporta sob estresses abióticos, principalmente exposta a diferentes níveis de salinidade. Até onde se sabe, este é o primeiro trabalho a analisar erva-mate após submissão a uma condição salina. No entanto, estudos recentes mostraram como essa espécie se comporta sob estresse hídrico, que é uma das consequências do estresse salino. Avico et. al. (2023) constatou que mudas de *Ilex paraguariensis*, quando submetidas ao estresse hídrico, realizam alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas para lidar com a seca. Além disso, também já foi constatado que a pulverização de ácido abscísico nas folhas de *Ilex paraguariensis* pode aliviar o estresse hídrico diurno através do fechamento estomático, promovendo o crescimento das plantas e maior expansão foliar (Bottini; Mroginski; Sansberro, 2003). Além disso, há trabalhos que demonstram como outras espécies do gênero *Ilex* se comportam sob condições de estresse salinos. Yu et. al. (2021) concluiu, a partir de análise fisiológica, que as raízes de *Ilex integra* são mais tolerantes aos solos salinos do que as raízes de *Ilex purpurea*, indicando que essa espécie pode ser cultivada em ambientes costeiros. Diante disso, faz-se necessário mais estudos para entender de fato como a erva-mate se adapta em condições de estresse abiótico.

Considerando a influência cultural, ambiental e o potencial econômico que essa planta possui na Região Sul, em especial para a região do Alto Uruguai Gaúcho, e também a insuficiência de pesquisas científicas que avaliam os efeitos do estresse abiótico na espécie em questão, mais especificamente a salinidade, espera-se, com este trabalho, entender melhor o comportamento da espécie diante dos fatores abióticos, com ênfase na tolerância da erva-mate em ambientes salinos. Com isso, é possível favorecer o cultivo e a produtividade dessa espécie.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estresse salino em parâmetros fisiológicos de mudas de *Ilex paraguariensis*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 
- Avaliar o grau de estresse e/ou tolerância de *Ilex paraguariensis* a diferentes concentrações de NaCl;
- Caracterizar a condição de estresse salino em *Ilex paraguariensis* e suas possíveis respostas a esse estresse;
- Avaliar a eficiência fotoquímica de mudas de *Ilex paraguariensis* sob condições de estresse salino.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 ÁREAS EXPERIMENTAIS E MATERIAL VEGETAL

O presente trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação da Área Experimental localizada na Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim-RS, bem como no Laboratório de Bioquímica e Laboratório de Química da Universidade. Mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) com idade de aproximadamente 4 meses foram adquiridas de uma propriedade localizada no município de Viadutos-RS, com as coordenadas 27°38'23.5"S e 52°00'36.5"W. As mudas foram plantadas em vasos de 4 L com substrato de matéria orgânica para plantas, identificadas e mantidas em casa de vegetação para aclimação durante uma semana antes do início dos experimentos.

### 3.2 INDUÇÃO E MANUTENÇÃO DOS TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS

Para o experimento inicial de observação dos níveis estressantes de salinidade em erva-mate (Figura 1), foram testados cinco tratamentos com concentrações de 0 mM (controle), 50 mM, 100 mM, 150 mM e 200 mM de NaCl, com uma muda para cada vaso,

sendo três repetições para cada tratamento. As plantas foram analisadas diariamente e regadas a cada três dias com 500 mL de água ou solução salina em cada vaso, sendo a quantidade suficiente para atingir a capacidade de campo. O experimento durou uma semana, até o momento de coleta do material, quando as mudas apresentaram sintomas claros de estresse através dos parâmetros avaliados. Nesse período foram realizadas mensurações de parâmetros de fluorescência e teores de clorofila diariamente no mesmo horário, entre 11:00 e 12:00. Além disso, no último dia do experimento foi realizada coleta de folhas para a realização das demais análises.

Para o segundo experimento, foram definidas duas concentrações, 0 mM (controle) e 200 mM de NaCl, com cinco repetições de cada. Foi definido apenas a concentração de 200 mM para o segundo experimento, visto que foi a concentração que mais apresentou consequências decorrente do estresse. O experimento durou uma semana, sendo as plantas regadas a cada dois dias com 500 mL de água ou solução salina. A partir desse experimento, foram coletados dados de concentração de clorofila, parâmetros de fluorescência, conteúdo relativo de água e vazamento de eletrólitos (Figura 1).

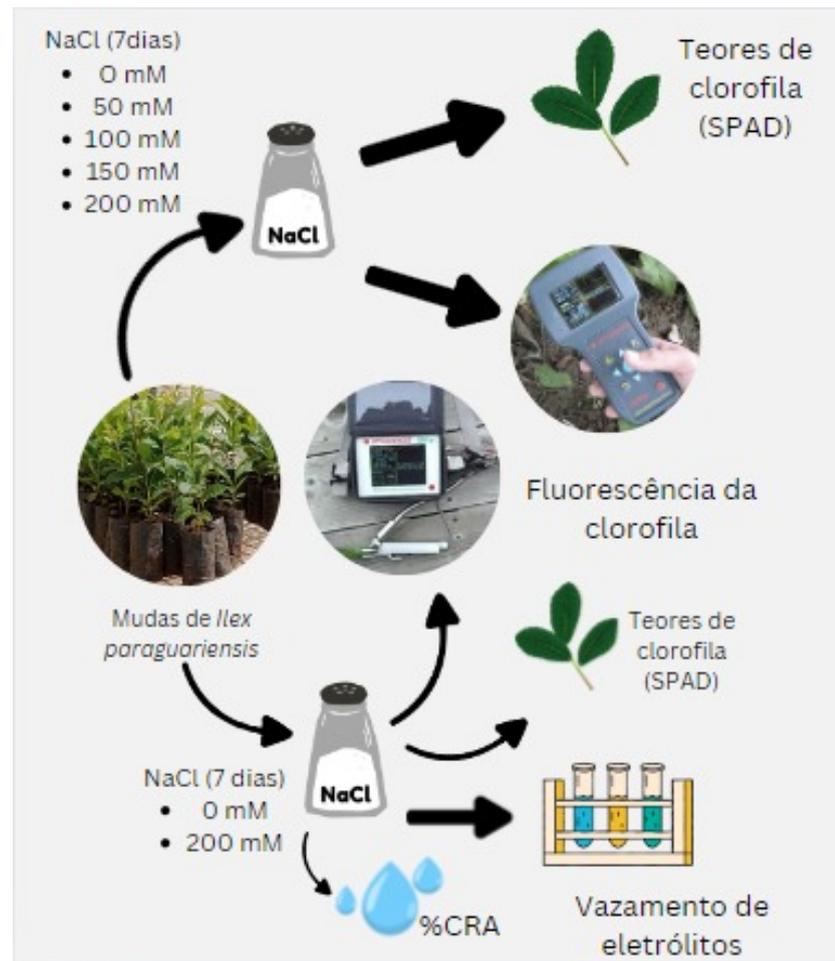


Figura 1: Esquema de metodologia indicando os processos realizados nos dois experimentos.

### 3.3 PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A

As mensurações de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas na segunda, terceira ou quarta folha totalmente expandida, através dos fluorímetros OS-30p (experimento 1) e OS-5p+ (experimento 2), ambos da marca Opti-Sciences, seguindo as indicações dos manuais dos aparelhos e as definições propostas por Stirbet et al. (2018) e Strasser e Strasser (1995). Para isso, as folhas foram aclimatadas ao escuro por no mínimo 20 minutos com o uso dos cliques associados ao equipamento. Os dados obtidos foram de eficiência quântica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), fluorescência mínima ( $F_o$ ) e fluorescência máxima ( $F_m$ ) para o fluorímetro OS-30p. Para o fluorímetro OS-5p+, foram avaliados os parâmetros  $F_v/F_m$ , eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ) e índice de performance baseado relacionado com o transporte de elétrons para o pool de plastoquinonas ( $PI_{abs}$ ) através do protocolo OJIP (Strasser e Strasser, 1995; Stirbet et al, 2018).

### 3.4 TEORES DE CLOROFILA

Para analisar os teores relativos de clorofila foi utilizado um medidor de teor de clorofila SPAD modelo CFL2060 da Falker em folhas jovens totalmente expandidas. Foram feitas duas leituras em cada repetição, ocorrendo em cada um dos dois lados da nervura principal da folha. Os dados adquiridos foram de clorofila *a*, clorofila *b* e total de clorofila, sendo ainda calculada a razão clorofila *a/b*.

### 3.5 CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA E PERCENTUAL DE UMIDADE

O conteúdo relativo de água e o percentual de umidade indicam a quantidade de água presente na folha em relação ao seu peso total. Para essas análises foram coletadas folhas totalmente expandidas de cada tratamento, que logo após a coleta foram pesadas em uma balança analítica para determinar o valor de massa fresca (MF). Após isso, as folhas foram submersas em frascos com água e deixadas durante 24 h para nova pesagem e definição do valor da massa túrgida (MT). Para definir o valor da massa seca (MS), as folhas foram colocadas em sacos de papel e levadas à estufa, a 75 °C, durante 2 dias. Por fim, o percentual de conteúdo relativo de água (CRA) foi calculado através da fórmula  $CRA \% = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100$ ; e o percentual de umidade pela fórmula  $\%U = [(MF - MS) / MF] \times 100$ .

### 3.6 VAZAMENTO DE ELETRÓLITOS

Foram coletadas duas folhas totalmente expandidas de cada tratamento para realizar a análise de dano de membrana através do vazamento de eletrólitos, conforme descrito por Blum e Ebercon (1981). Para isso, as folhas foram submersas em tubos de ensaio hermeticamente fechados, contendo água destilada, e deixados agitando em um agitador durante 15 horas. Após, foi realizada a primeira leitura de condutividade elétrica (L1), utilizando um condutivímetro. Depois da primeira leitura, os tubos foram colocados em banho maria durante 1 h a 100 °C e, quando atingiram a temperatura ambiente novamente, uma nova leitura foi realizada (L2). O cálculo final foi realizado a partir da fórmula:  $VE \% = (L1 / L2) \times 100$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EXPERIMENTO 1

Uma vez que não existem dados sobre as respostas de *Ilex paraguariensis* a tratamento com NaCl, o experimento piloto foi conduzido para que se pudesse testar diferentes concentrações deste sal em plantas de erva-mate, possibilitando analisar as consequências de cada concentração. A condução do experimento teve duração de uma semana, período em que as plantas ficaram expostas às diferentes concentrações salinas (Figura 2). A partir dos resultados obtidos nesse período, pôde-se concluir que as plantas de erva-mate podem ser classificadas como moderadamente tolerantes à salinidade, de acordo com as análises propostas por Schleiff (2008), que classifica as plantas expostas à salinidade em diferentes estágios de tolerância.



Figura 2: Aspecto visual de plantas de *Ilex paraguariensis* tratadas com soluções a 0, 50, 100, 150 e 200 mM de NaCl (respectivamente da esquerda para a direita) após sete dias.

Analisando as folhas durante os sete dias do experimento piloto, pôde-se observar, visualmente, que as mudas que foram expostas a 150 mM e 200 mM de solução salina apresentaram murchamento pouco intenso de algumas folhas (Figura 3) com poucos dias após a exposição à solução salina. Houve também mudança da coloração, com as folhas tornando-se mais amareladas. Essas observações corroboram os resultados obtidos por Yunling et. al. (2022) que analisaram a tolerância ao sal em plantas de *Ilex integra* e compararam com outras plantas costeiras, obtendo a mesma observação quanto à coloração das folhas.



Figura 3: Aspecto de murchamento em algumas folhas em planta de *Ilex paraguariensis* com pouco tempo de exposição ao sal. Na imagem observa-se a primeira amostra com concentração de 150 mM.

Os parâmetros de fluorescência e os teores de clorofila foram medidos diariamente durante os sete dias de experimento. A partir da análise dos dados pode-se observar que os valores de eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), que indica a razão entre a fluorescência variável e máxima da folha após a adaptação ao escuro e representa um excelente indicador de estresse em plantas (Ibaraki; Murakami, 2007), oscilaram no decorrer do experimento. Analisando os valores de Fv/Fm é possível indicar se a planta está ou não sob condição de estresse. Valores próximos de 0.8 indicam que a planta está saudável, enquanto valores mais baixos podem indicar que a planta está em condição de estresse (Kalaji; Guo, 2008). Como os valores decaíram durante a semana de experimento (Figura 4, A), principalmente nos tratamentos de 200 mM, quando o Fv/Fm atingiu 0,446 no penúltimo dia de experimento, é notório que as mudas estavam sofrendo as consequências do estresse. Apesar da clara tendência, não houve diferença estatística entre os tratamentos controle e 200

mM para os valores de  $F_v/F_m$ , considerando  $p < 0,05$ , provavelmente pelo número amostral pequeno utilizado neste experimento ( $n=3$ ). O valor de  $F_v/F_m$  dos tratamentos de 200 mM indicaram que as plantas não estavam saudáveis.

O parâmetro  $F_m$  (fluorescência máxima) também pode ser um bom indicador de estresse em plantas, uma vez que as condições de fotoinibição do fotossistema II os diminuem consideravelmente. Esse fenômeno ocorre quando há redução lentamente reversível da fotossíntese que pode levar à redução da fluorescência máxima e é acentuada em condições de estresse (Marenco et. al., 2007; Tikkanen et al. 2017; Lima-Melo et al. 2019). Durante os sete dias de experimento, os valores de  $F_m$  baixaram em relação ao controle, havendo diferença estatística em plantas tratadas com 200 mM de NaCl (Figura 4, B), corroborando a condição de estresse.

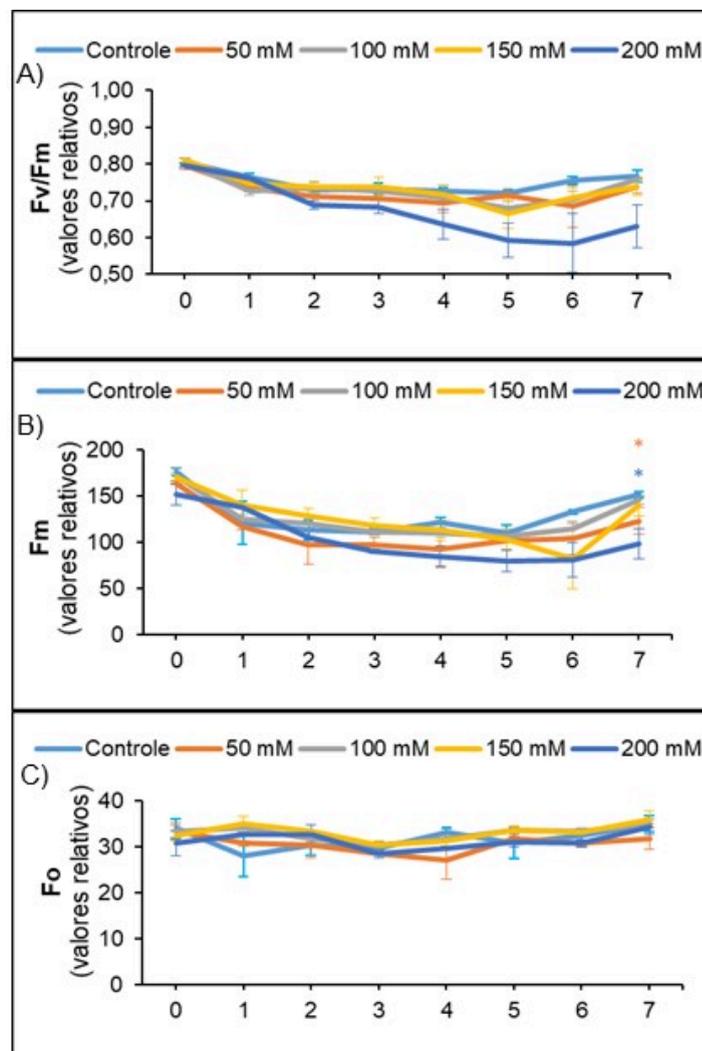


Figura 4: Valores de eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ; A),  $F_m$  (B) e  $F_o$  (C) em folhas de plantas de *Ilex paraguariensis* submetidas a diferentes concentrações de NaCl durante sete dias de experimento. Os asteriscos indicam os tratamentos que tiveram diferença estatística comparados ao tratamento controle pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ). As barras de erro representam o erro padrão.

Os dados de clorofila oscilaram bastante, mas foi possível observar que os tratamentos salinos alteraram os teores relativos de clorofila quando comparados ao controle (Figura 5). Os resultados mais notáveis durante os sete dias de experimento foram observados pelos valores de clorofila total (Figura 5, A), em que houve diferença, comparando com o controle, nos tratamentos de 200 mM a partir do segundo dia de experimento, no de 150 mM a partir do quarto dia e no de 100 mM no penúltimo dia de experimento. O fato de as folhas estarem mais amareladas no último dia do experimento pode ser explicado pelos baixos teores de clorofila total. Os valores de clorofila *a* foram estatisticamente diferentes em todas as concentrações quando comparadas com o controle (Figura 5, B), já os valores de clorofila *b* decaíram a partir do segundo dia de experimento, ficando abaixo do observado na condição controle até o fim do experimento (Figura 5, C). Nóbrega et. al (2020), estudando *Mesosphaerum suaveolens*, também encontraram resultados semelhantes, com relação ao significativo decréscimo nos teores de clorofila quando as plantas foram submetidas ao estresse salino. Isso pode ser explicado pelo fato que plantas submetidas às condições salinas podem ter diminuição dos teores de clorofila por conta do aumento da atividade da enzima clorofilase, que degrada a molécula de clorofila (Lima et. al., 2004). Com relação a razão clorofila *a/b*, houve diferença no tratamento de 200 mM em relação ao controle (Figura 5, D). Em condições adversas como seca, salinidade ou falta de nutrientes, as plantas aumentam a produção de clorofila *a* em relação à clorofila *b* como resposta de tolerância a essas condições em uma tentativa de manutenção de uma alta eficiência fotossintética (Zhang et al. 2011). Os resultados dos teores de clorofila corroboram a deficiência na eficiência fotoquímica das plantas submetidas ao tratamento de NaCl, sendo consequência do estresse salino ao qual foram expostas.

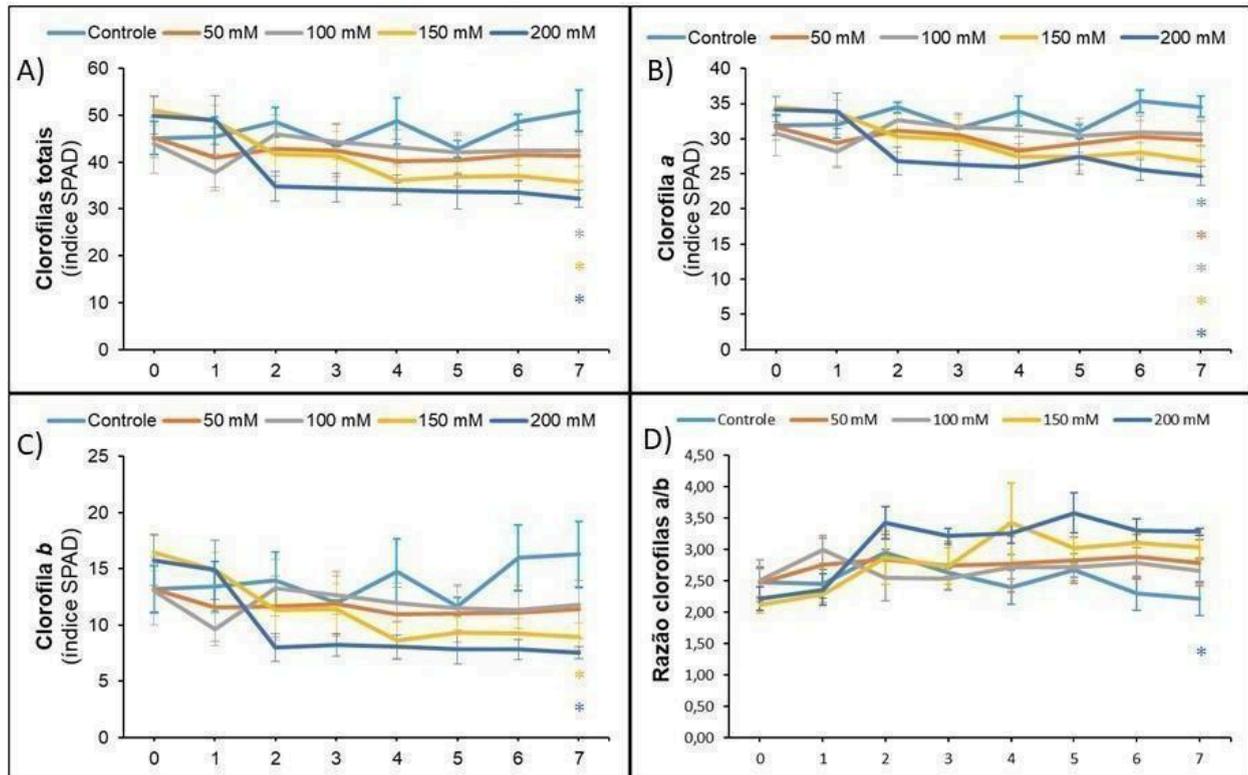


Figura 5: Valores de clorofilas totais (A), clorofila *a* (B), clorofila *b* (C) e razão entre clorofilas *a/b* (D) em folhas de plantas de *Ilex paraguariensis* submetidas a diferentes concentrações de NaCl durante sete dias de experimento. Os asteriscos indicam os tratamentos que tiveram diferença estatística comparados ao tratamento controle pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ). As barras de erro representam o erro padrão.

## 4.2 EXPERIMENTO 2

Para o segundo experimento, foram definidos dois tratamentos: 0 mM (controle) e 200 mM de NaCl. Foi determinada apenas a concentração de 200 mM por ter sido o tratamento que resultou em consequências mais evidentes dentre as soluções salinas testadas no experimento anterior, sendo portanto realizadas análises adicionais e com número amostral aumentado de três para cinco plantas para que fosse possível obter dados mais claros estatisticamente.

### 4.2.1 TEORES DE CLOROFILA

A partir da leitura dos teores de clorofila *a*, *b* e total, após uma semana com as plantas submetidas aos tratamentos, pôde-se observar que os valores das plantas com o tratamento salino obtiveram valores relativos de clorofila menores do que aquelas do controle. Assim como no experimento piloto, os resultados mais notáveis foram os de

clorofila total (Figura 6, A), não havendo diferença estatística para os outros dados referentes aos teores de clorofila considerando  $p < 0,05$ . Apesar de não terem dado diferença no teste t de Student ( $p < 0,05$ ), os valores de clorofila *a* e *b* (Figura 6, B e C) também tiveram decréscimo nas plantas submetidas ao NaCl em comparação com as plantas controladas. A razão clorofila *a/b* aumentou ligeiramente (Figura 6, D), porém, também não teve diferença estatística entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Na literatura é possível encontrar estudos com outras espécies que também resultaram em diminuição dos teores de clorofila devido às consequências do estresse salino, como é o caso do experimento realizado com abóbora (*Cucurbita moschata*), em que foi possível perceber os baixos índices de clorofila por conta da condição de clorose, em que as folhas apresentaram uma coloração diferente da normal (Taratima; Kunpratun; Maneerattanarungroj; 2022), resultado que também corrobora as observações do experimento piloto com as folhas de erva-mate. O processo de clorose está estreitamente ligado com a toxicidade iônica causada pelo estresse salino (Silveira et.al., 2010).

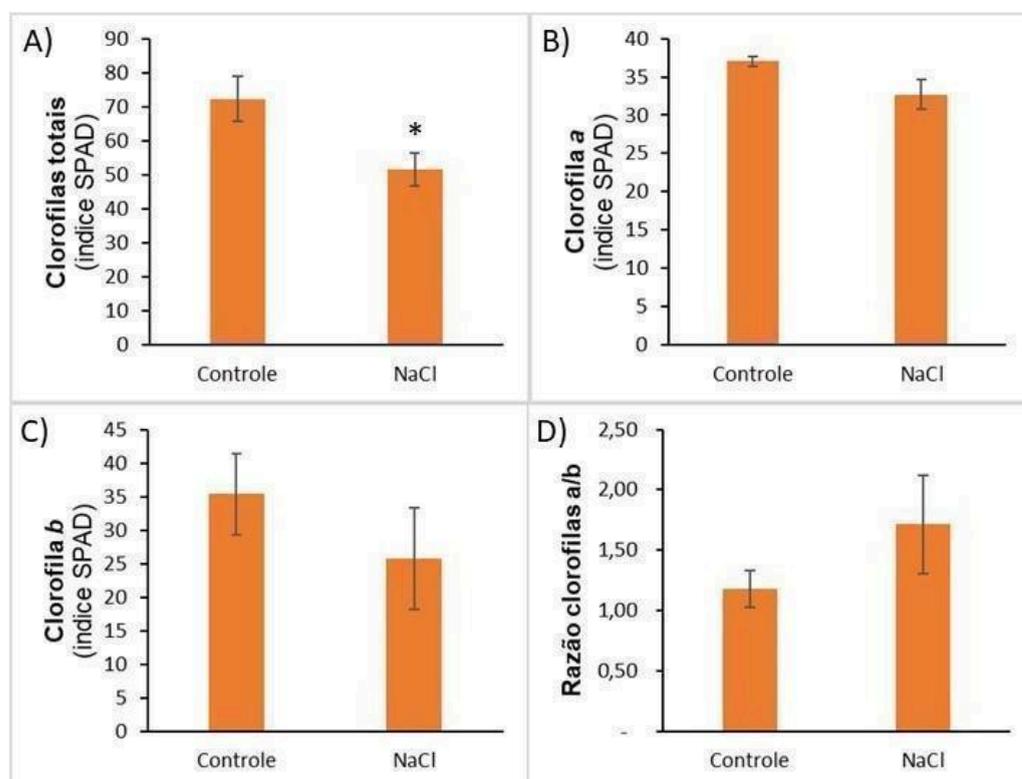


Figura 6: Valores de clorofilas totais (A), clorofila *a* (B), clorofila *b* (C) e razão entre clorofilas *a/b* (D) em folhas de plantas de *Ilex paraguariensis* submetidas à concentração de 200 mM de NaCl durante sete dias de experimento. O asteriscos indica o parâmetro que teve diferença estatística comparado ao tratamento controle pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ). As barras de erro representam o erro padrão.

#### 4.2.2 PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA

Quanto aos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* avaliados, os resultados que tiveram diferença ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle foram os de  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_o$  e  $PI_{ABS}$  (Figura 7, A, B e C), diferentemente do experimento piloto que não mostrou diferença do  $F_v/F_m$  em relação ao controle. Além da razão  $F_v/F_m$ , o parâmetro  $F_v/F_o$  também é um bom indicativo de estresse em plantas, já que fortalece as variações causadas por  $F_v/F_m$  e apresenta maior amplitude em condições de estresse (Lichtenthaler; Buschmann; Knapp, 2005). Essa diferença significativa que ocorreu com alguns parâmetros de fluorescência entre as plantas tratadas com NaCl e controle pode ser consequência iônica do estresse salino, que afetou a etapa fotoquímica da fotossíntese das plantas. Esses resultados já foram observados em estudos com outras espécies de plantas submetidas ao estresse salino como, por exemplo, em plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), em que a salinidade afetou de forma significativa a fluorescência inicial ( $F_o$ ), variável ( $F_v$ ) e a eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) (Lima et. at., 2021). Para os valores de  $PI$ , que diz respeito ao índice de performance da folha, pôde-se perceber que esse parâmetro baixou consideravelmente nas plantas mantidas com NaCl (Figura 7, C), indicando que o estresse salino afetou a fotossíntese.

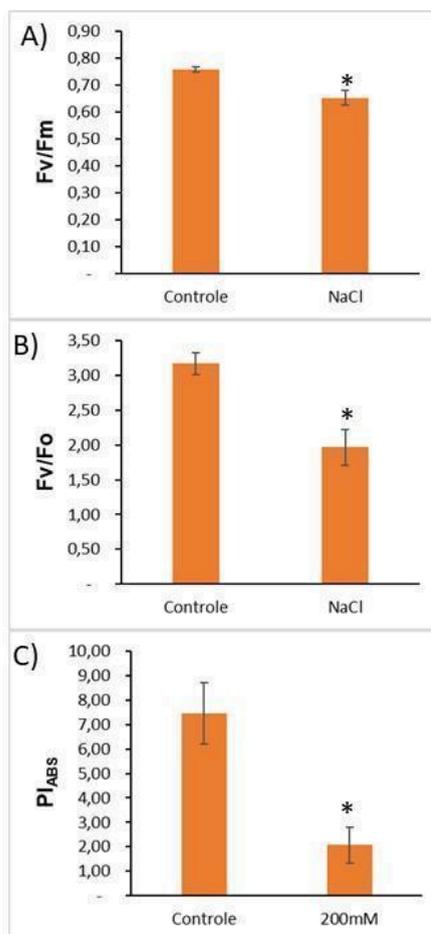


Figura 7: Valores de eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm; A), Fv/Fo (B) e PI<sub>ABS</sub> (C) em folhas de plantas de *Ilex paraguariensis* submetidas à concentração de 200 mM de NaCl durante sete dias de experimento. Os asteriscos indicam que tiveram diferença estatística comparados ao tratamento controle pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ). As barras de erro representam o erro padrão.

#### 4.2.3 CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA

A partir das folhas, foi calculado o conteúdo relativo de água (%CRA) e o percentual de umidade (%U), que se referem à quantidade de água considerando a capacidade máxima e o percentual bruto de água presente na folha, respectivamente (Melo, 2011). Esses dois percentuais são bons indicativos de estresse hídrico na planta, que pode ser uma consequência do estresse salino, já que os sais presentes no solo podem fazer com que a planta não absorva a quantidade de água necessária (Munns, 2005). Ao analisar os gráficos de CRA% e U% (Figura 8, A e B), percebe-se que não houve diferença estatística de CRA% e ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle. Em estudos realizados com goiabeira quando submetidas ao estresse salino, pode-se concluir que houve diminuição do %CRA conforme os níveis de NaCl aumentavam (Távora; Ferreira; Hernandez, 2001). Já em estudos com plantas jovens de

erva-mate sob condições de déficit hídrico, também se observou uma redução significativa no %CRA (Pintro; Flores, 2003).

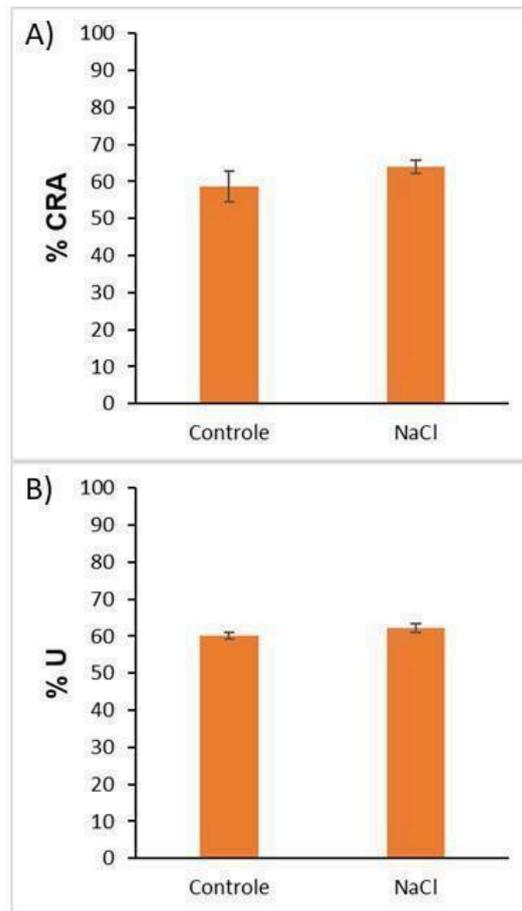


Figura 8: Percentuais de conteúdo relativo de água (CRA%; A) e percentual de umidade (U%; B) em folhas de plantas de *Ilex paraguariensis* submetidas à concentração de 200 mM de NaCl durante sete dias de experimento. As barras de erro representam o erro padrão.

Sendo assim, aparentemente, a concentração de 200 mM de NaCl não causou déficit hídrico nas plantas de erva-mate, o que torna esse resultado inesperado, já que a salinidade do solo tende a baixar o conteúdo de água absorvida pela planta. Experimentos adicionais devem ser realizados para o melhor entendimento desse resultado.

#### 4.2.4 VAZAMENTO DE ELETRÓLITOS

O dano de membrana através do vazamento de eletrólitos é um bom parâmetro de estudo nas plantas que sofreram algum tipo de estresse abiótico, visto que as membranas celulares são um dos primeiros alvos das mudanças causadas por estresses abióticos (Bajji; Kinet; Lutts, 2002). Observando as plantas de erva-mate após sete dias de exposição ao NaCl,

observou-se que o percentual de VE% apresentou uma tendência de aumento em relação ao controle (Figura 9), com tendência de maior dano de membrana provocado pela salinidade, não havendo, porém, diferença estatística ( $p < 0,05$ ). Novos experimentos devem ser realizados para checar essa aparente tendência de aumento no VE% em consequência do tratamento de NaCl 200 mM. Tal tendência foi relatada em estudos com plantas de feijão caupi expostas à concentração de 100 mM de NaCl, que resultaram em um alto vazamento de eletrólitos, causando diminuição da integridade das membranas (Freitas, 2006).

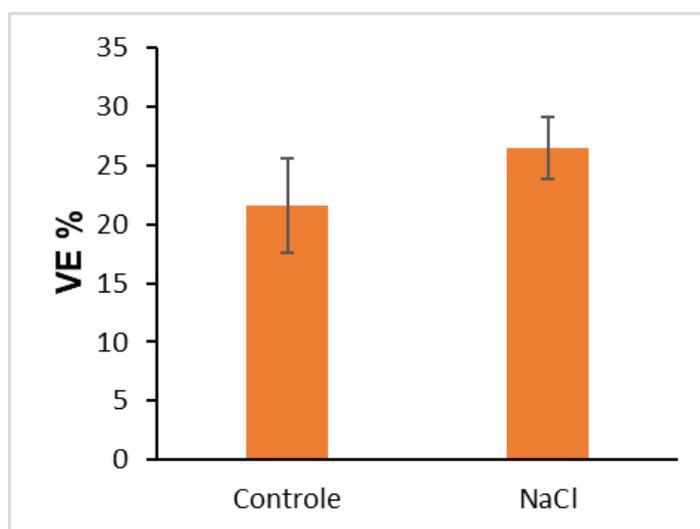


Figura 9: Percentual de vazamento de eletrólitos (VE%) para avaliar dano de membrana em folhas de plantas de *Ilex paraguariensis* submetidas à concentração de 200 mM de NaCl durante sete dias de experimento. As barras de erro representam o erro padrão.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que as plantas de erva-mate podem ser moderadamente tolerantes à salinidade, porém os níveis mais elevados de NaCl, como a concentração de 200 mM, podem trazer consequências que afetam os processos fisiológicos das plantas. A eficiência fotossintética foi reduzida, conforme observado através dos parâmetros de fluorescência e também pelos teores de clorofila *a*, *b* e total. Além disso, o conteúdo relativo de água não reduziu na condição salina quando comparada com o controle, o que abre portas para novas hipóteses de estudo para tentar entender o que ocorreu com as plantas que não sofreram consequências osmóticas pelo estresse salino. Uma das hipóteses a serem testadas é de que plantas de erva-mate possuem mecanismos de ajustamento osmótico através do aumento da concentração de moléculas como prolina, carboidratos, aminoácidos livres totais e glicina-betaína. Para estudos futuros, é indicado realizar análises bioquímicas das folhas para

entender de fato como o estresse afeta os mecanismos bioquímicos da planta e como a espécie lida para tentar tolerar outras concentrações salinas.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA-MOTOS, J. et. al.. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>

Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. **Erva-Mate**, [s. d.]. Disponível em: <<https://www.google.com/url?q=https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/erva-mate&sa=D&source=docs&ust=1697850604341575&usg=AOvVaw3r8PK4vhMu2gfdl4qKivCR>> Acesso em: 9 de out. de 2023.

AVICO, E. H. et al. Integrating Transcriptional, Metabolic, and Physiological Responses to Drought Stress in *Ilex paraguariensis* Roots. **Plants**, v. 12, n. 13, p. 2404–2404, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12132404>

BAJJI, M., KINET, J. M.; LUTSS, S. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. **Plant Growth Regulation** 36, 61–70, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1014732714549>

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. **Rapid determination of free proline for water-stress studies**. *Plant and Soil*, v.39, p.205–207, Dordrecht, 1973. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060>

BEZERRA, I. L. et. al. Morfofisiologia do crescimento inicial de cafeeiros sob salinidade da água de irrigação. **Irriga**, Edição-Norte, Botucatu. v. 27, , n. 1, p. 30–46,2022. DOI: 10.15809/irriga.2022v27n1p30-46.

BLUM, A.; EBERCON, A. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. **Crop Science**, Madison, v.21, n.1, p.43–47, 1981. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100010013x>

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A. SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related compounds. **Analytical Chemistry**, v.28, n.3, p.350–356, 1956. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>

DIAS, N. S. et. al.. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap 11. p. 151–162. Disponível em: <<https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>> Acesso em: 12 de Dez. 2023.

DIAS, N. S. et. al. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu. . v. 12, n. 1, p. 135-143, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2007v012n1p135-143>

FREITAS, J. B. S.. Respostas fisiológicas ao estresse salino de duas cultivares de feijão-caupi. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006. Área de Concentração : Bioquímica Vegetal

IBARAKI, Y.; MURAKAMI, J.. Distribution of chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm within individual plants under various stress conditions. **Acta Horticulturae**, 2007. DOI:10.17660/actahortic.2007.761

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE]. 2022. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura – SIDRA/PEVS**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>> Acesso em: 9 de out. de 2023.

IRIGOYEN, J.J.; EMERICH, D.W.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfafa (*Medicago sativa*) plants. **Physiologia Plantarum**, v.84, p.55–60, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>

KALAJI, H. M.; GUO, P.. Chlorophyll fluorescence: A useful tool in barley plant breeding programs. In: Photochemistry Research Progress (p.439-463). **Nova Science Publishers**. 2008. DOI: [https://www.researchgate.net/publication/233834303\\_Chlorophyll\\_fluorescence\\_A\\_useful\\_tool\\_in\\_barley\\_plant\\_breeding\\_programs](https://www.researchgate.net/publication/233834303_Chlorophyll_fluorescence_A_useful_tool_in_barley_plant_breeding_programs)

KLEIN, R. M.; REIS, A.; REITZ, R.. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Itajaí: Editora Sudesul, 1988.

LICHTENTHALER, H.; BUSCHMANN, C.; KNAPP, M.. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio Rfd of leaves with the PAM fluorometer. **ResearchGate**. 2005. DOI: 10.1007/s11099-005-0062-6

LIMA-MELO, Y. et al. Consequences of photosystem-I damage and repair on photosynthesis and carbon use in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Journal*, v. 97, n. 6, p. 1061–1072, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.14177>

LIMA, M. G. S.et. al. Efeito do Estresse Salino Sobre a Concentração de Pigmentos e Prolina em Folhas de Arroz. **Bragantia**, v.63, n.3, p.335-340, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000300003>

LIMA, G. S. et al. Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 214–225, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA18123>

LORENZI, H.. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2016. 384 p.

MARENCO, R. A. et.. Fotoinibição dinâmica da fotossíntese em árvores de dossel da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p-150-152, 2007. DOI: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/21282>

MARQUES, A. D. A. C.; REIS, M. S. D. O. S.; DENARDIN, V. F. Yerba Mate landscapes: Forest use and Socio-environmental conservation. **Ambiente & sociedade**, v. 22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc201702822vu2019L3AO>

MARQUES, R. P.; FREIRE, C. S.; NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.. Relações hídricas e Produção de Pigmentos Fotossintéticos em Mudanças de *Eugenia uniflora* L.

Sob Condições de Salinidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 4, n. 3, p. 497, 2011. DOI: [10.26848/rbqf.v4i3.232729](https://doi.org/10.26848/rbqf.v4i3.232729)

MEDEIROS, I. J. N. et al.. **Fontes e processos de salinização nos solos**. Anais I CONIMAS e III CONIDIS. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63560>

MELO, Y. L. Evidências de ajustamento osmótico em plantas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) sob estresses salino e hídrico. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

MUNNS, R.. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist Foundation**. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x . V. 167, n. 3, p. 645–663, 2005.

MUNNS, R.; TESTER, M.. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651–681, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

NÓBREGA, J. S. et al. Acúmulo de biomassa e pigmentos fotossintéticos em plantas de *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze sob estresse salino e doses de ácido salicílico. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e121953286–e121953286, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3286>

Organização das Nações Unidas. **1,5 bilhão de pessoas vivem com solo salgado demais para ser fértil**, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/152392-15-bilh%C3%A3o-de-pessoas-vivem-com-solo-salgado-d%C3%A9-mais-para-ser-f%C3%A9rtil#:~:text=No%20total%2C%20existem%20mais%20de,%C3%81frica%2C%20%C3%81sia%20e%20Am%C3%A9rica%20Latina> Acesso em: 14 de out. de 2023.

PARIHAR, P. et. al.. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 6, p. 4056–4075, 2014. DOI: 10.1007/s11356-014-3739-1

PATANKAR, H., V. et. al.. Overexpression of a Metallothionein 2A Gene from Date Palm Confers Abiotic Stress Tolerance to Yeast and *Arabidopsis thaliana*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 12, p. 2871, 2019. DOI: 10.3390/ijms20122871

PEOPLES, M.B.; FAIZAH, A.W.; REAKASEM, B.; HERRIDGE, D.F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Australian International Center of Agricultural Research, p.76, Canberra, 1989.

PINTRO, J. C.; Vieira FLORES, F. E.. Crescimento e trocas de CO<sub>2</sub> de plantas jovens de erva-mate cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo. **Scientia Agraria**, vol. 4, núm. 1-2, pp. 35-40, 2003. DOI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99518008005>

SANSBERRO, P. A., MROGINSKI, L. A.; BOTTINI, R. Pulverizações foliares com ABA promovem o crescimento de *Ilex paraguariensis* ao aliviar o estresse hídrico diurno. **Regulamento de Crescimento de Plantas** 42, 105–111 (2004). DOI: <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000017476.12491.02>

SANTOS, E. R.; VESTENA, L. R.. Dinâmica têmporo-espacial da territorialização de produção de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*) no Brasil de 2008 a 2018. **Confins. Revista franco-brasileira de geografia**, n. 55, 2022. DOI: 10.4000/confins.46204

SARRUGE, J. R.; HAAG, H.P. Análise química de plantas. **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, p.56, Piracicaba, 1974.

SCHLEIFF, U. Analysis of Water Supply of Plants Under Saline Soil Conditions and Conclusions for Research on Crop Salt Tolerance. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 1, p. 1–8, fev. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00290.x>

SILVEIRA, J. A. G. et. al.. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade**. 2010.

STIEBLER, L. P. P. M.; SIMINSKI, A.; VOGT, G. A.; DOS SANTOS, K. L. Initial growth and productivity of *Ilex paraguariensis* in agroforestry system. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 97923–97937, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n10-217

STIRBET, A. et al. Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? **Photosynthetica**, v. 56, n. 1, p. 86–104, 2018. DOI:

[https://www.google.com/url?q=https://www.doi.org/10.1007/s11099-018-0770-3&sa=D&source=docs&ust=1717717386764707&usg=AOvVaw3k7N8j6Fi7B6\\_s4BtuPwKh](https://www.google.com/url?q=https://www.doi.org/10.1007/s11099-018-0770-3&sa=D&source=docs&ust=1717717386764707&usg=AOvVaw3k7N8j6Fi7B6_s4BtuPwKh)

STRASSER, B.J. and STRASSER, R.J. Measuring Fast Fluorescence Transients to Address Environmental Questions: The JIP-Test. In: Mathis, P., Ed., *Photosynthesis: From Light to Biosphere*, KAP Press, 1995. Dordrecht, 977-980. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-0173-5\\_1142](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-0173-5_1142)

TARATIMA, W; KUMPRATUM, N.; MANEERATTANARUNGROJ, P. Effect of salinity stress on physiological aspects of pumpkin (*Cucurbita moschata*) under hydroponic condition. **Asian J Agric & Biol.** 2023(2). 2022. DOI: <https://doi.org/10.35495/ajab.2021.01.050>

TÁVORA, F. J. A F.; FERREIRA, R. G.; HERNANDEZ, F. F. F.. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Rev. Bras. Frutic.** v. 23, n. 2, p. 441-446, 2001.

TIKKANEN et. al. Comparative analysis of mutant plants impaired in the main regulatory mechanisms of photosynthetic light reactions - From biophysical measurements to molecular mechanisms. *Plant physiology and biochemistry*, v. 112, p. 290–301, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.014>

YU, Y. et al. Physiological analysis reveals relatively higher salt tolerance in roots of *Ilex integra* than in those of *Ilex purpurea*. **Journal of Forestry Research**, v. 33, n. 4, p. 1187–1196, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01386-w>

YUNLING, D. et. al. Salt tolerance of four typical coastal plants. **Journal of applied oceanography**. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3969/J.ISSN.2095-4972.2022.01.003>

ZHANG, Y. J. et al. Effect of water stress on leaf photosynthesis, chlorophyll content, and growth of oriental lily. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, n. 5, p. 844–850, 2011.

DOI:

[https://www.google.com/url?q=http://www.doi.org/10.1134/S1021443711050268&sa=D&source=docs&ust=1717717386763177&usg=AOvVaw3e1PecmmO-7SZmWkHA\\_xjU](https://www.google.com/url?q=http://www.doi.org/10.1134/S1021443711050268&sa=D&source=docs&ust=1717717386763177&usg=AOvVaw3e1PecmmO-7SZmWkHA_xjU)