

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JESSICA DE CAMARGO BROCH**

**QUANTIFICAÇÃO DA TOLERÂNCIA AO CONGELAMENTO DE CULTIVARES  
DE MACIEIRA CULTIVADAS EM PALMAS, PARANÁ**

**PATO BRANCO**

**2022**

**JESSICA DE CAMARGO BROCH**

**QUANTIFICAÇÃO DA TOLERÂNCIA AO CONGELAMENTO DE CULTIVARES  
DE MACIEIRA CULTIVADAS EM PALMAS, PARANÁ**

**Quantification of freezing tolerance of apple cultivars grown in Palmas,  
Paraná**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Agronomia do Curso de  
Bacharelado em Agronomia da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Idemir Citadin, Prof. Dr.

Coorientador: Rafael Henrique Pertille, M.Sc.

**PATO BRANCO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JESSICA DE CAMARGO BROCH**

**QUANTIFICAÇÃO DA TOLERÂNCIA AO CONGELAMENTO DE CULTIVARES  
DE MACIEIRA CULTIVADAS EM PALMAS, PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Agronomia do Curso de  
Bacharelado em Agronomia da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 07/dezembro/2022

---

Idemir Citadin  
Doutorado em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Moeses Andriago Danner  
Doutorado em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Laise de Souza de Oliveira  
Mestrado em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PATO BRANCO**

**2022**

Dedico este trabalho aos meus pais, Loinir  
Francisco Broch e Lurdete de Camargo Broch.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me permitir a realização desta e de todas as outras conquistas de minha vida.

Aos meus pilares, Loinir Francisco Broch e Lurdete De Camargo Broch, por serem essas pessoas que me ensinam, que me inspiram, que me motivam e que são o meu alicerce diante de qualquer desafio ou dificuldade. Tenho certeza que sem vocês, meus pais amados, nada disso seria possível.

As minhas irmãs, Dieinifer Camargo Zoreteo e Vanessa de Camargo Broch por também terem contribuído para que esse dia chegasse.

Ao meu sobrinho amado, Pedro Valentim Zoroteo Vargas, por muitas das vezes ser a razão das minhas risadas e, assim, ter deixado essa trajetória mais fácil e alegre.

Ao doutorando Rafael Henrique Pertille pela paciência, prestatividade e, principalmente, por todas as orientações e ensinamentos passados a mim de maneira tão zelosa para que fosse possível a conclusão desse trabalho. Serei eternamente grata por toda ajuda e amizade.

Ao Professor Dr. Idemir Citadin, pelos ensinamentos no curso e durante o período de desenvolvimento dos estudos, pela atenção e todo o incentivo durante as suas orientações. Obrigada pela sua paciência e empatia neste tempo, a sua figura contribuiu muito para a construção do meu profissionalismo.

Agradeço aos amigos que fiz durante o meu período de iniciação científica, Ester Provensi Santos, Chaiane Renata Grigolo, Laise de Souza de Oliveira, Robson Camargo e Bárbara Tico por muito terem feito por mim, contribuindo para que esses anos de trabalho e estudos fossem extremamente gratificantes e enriquecedores. Obrigada pela alegria diária de vocês, pela lealdade e parceria.

A UTFPR por todo o suporte educacional durante esse período da graduação, proporcionando aprendizado e condições para que eu pudesse ter uma graduação em ensino superior com tamanha qualidade.

Meus agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse finalizar essa graduação, fazendo parte do meu crescimento profissional, de todo o meu coração, muito obrigado.

## RESUMO

Uma das principais fases do ciclo produtivo de uma fruteira de clima temperado, como a macieira (*Malus domestica*), é a dormência. Os conhecimentos sobre a tolerância ao congelamento de órgãos especializados, bem como, a relação entre os fatores que influenciam na adequada brotação e floração das plantas, está diretamente relacionado a passagem destas pelas fases da dormência. O presente estudo teve o objetivo de avaliar a tolerância ao congelamento de diferentes cultivares de macieira ('Gala', 'Fuji' e 'Eva'), cultivadas em dois locais de altitudes diferentes, o pomar comercial Horizonte e o pomar comercial do Lovo, ambos localizados no município de Palmas – PR. Foram realizados o teste do Tempo Médio de Brotação (TMB), para entender a dinâmica de entrada e saída de dormência e o TL50 (Temperatura Letal de 50%), para quantificar a dinâmica de aquisição e perda de tolerância ao congelamento. Para a realização do TMB, foram coletados quinzenalmente, 20 ramos do tipo brindila de cada cultivar, para a exposição de estacas com uma gema vegetativa em câmara de crescimento. Diariamente foi acompanhada a brotação das estacas e foi avaliado o tempo médio das estacas para a brotação desde o momento da coleta. A avaliação do TL50 foi feita por meio de simulação de temperaturas entre 5 e -35 °C para os tecidos de ramos do tipo brindila e de 5 a -23 °C para gemas mistas de esporões. A avaliação do TL50 de brindilas foi feita por meio de quantificação de extravasamento celular por meio de condutividade elétrica e a avaliação do TL50 de gemas mistas de esporões foi feita por meio de escala de notas do nível de dano visual do tecido interno. As curvas de TL50 foram modeladas por meio de modelos não-lineares para encontrar a temperatura que gera de 50% de dano nos tecidos. As plantas de macieira adquirem tolerância ao frio com o passar do inverno e apresentam desaclimação no início da primavera. As flutuações térmicas durante o inverno alteraram a tolerância ao frio, deixando as plantas mais suscetíveis ao frio após ondas de calor intensas durante o inverno. A cultivar Eva apresenta tolerância ao frio, porém de forma mais superficial que as demais cultivares, e apresenta grande risco de perda por congelamento durante a retomada do crescimento, na região de estudo em consequência das geadas.

**Palavras-chave:** climatério; árvores frutíferas; maçã; inverno; crescimento.

## ABSTRACT

One of the main stages of the productive cycle of a temperate fruit tree, such as Apple (*Malus domestica*), is dormancy. The knowledge about the freezing tolerance of specialized organs, as well as the relationship between the factors that influence the proper budding and flowering of plants, is directly related to their passage through the stages of dormancy. This study aimed to evaluate the freezing tolerance of different apple tree cultivars ('Gala', 'Fuji' and 'Eva'), grown in two locations at different altitudes, the Horizonte commercial orchard and the Lovo commercial orchard, both located in the municipality of Palmas - PR. The Mean Time to Bud Break (MTB) test was performed, to understand the dynamics of entry and exit of dormancy and the TL50 (Lethal Temperature of 50%), to quantify the dynamics of acquisition and loss of tolerance to freezing. In order to perform the BMT, 20 brindilla type branches of each cultivar will be collected fortnightly, for the exposure of cuttings with a vegetative bud in a growth chamber. The sprouting of the cuttings will be monitored daily and the average time of the cuttings to sprout from the moment of collection will be evaluated. TL50 evaluation is done by simulating temperatures between 5 and -35 °C for brindilla type branch tissues and 5 to -23 °C for mixed spur buds. Evaluation of the TL50 of brindles will be done by quantification of cell leakage by means of electrical conductivity and evaluation of the TL50 of mixed spur buds will be done by means of a scale of grades of the level of visual damage of the internal tissue. The TL50 curves are modeled using nonlinear models to find the temperature that generates 50% tissue damage. Apple plants acquire cold tolerance over the winter, and show a de-climation in early spring. Thermal fluctuations during the winter altered cold tolerance, leaving plants more susceptible to cold after intense heat waves during the winter. The cultivar Eva shows tolerance to cold, but in a more superficial way than the other cultivars, and presents a high risk of freezing loss in the study region.

**Keywords:** climacteric; fruit trees; apple; winter; growth.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Tecidos enrolados em papel filme umedecidos e papel alumínio, com as 6 amostras que vão ser expostas nas 6 temperaturas avaliadas, com as devidas 4 repetições. Esses ‘cartuchinhos’ serão levados ao equipamento Huber – Ministat 240 para que seja possível através de um banho termostático alcançar as temperaturas desejadas . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2 – Amostras picadas e inseridas em tubos de ensaios com a adição de 10 <i>mL</i> de água ultrapura para a medição da condutividade eletrolítica C1 .</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3 – Escala de notas utilizada para a avaliação de danos por congelamento nas gemas dos esporões das macieiras. Pato Branco, Paraná, 2022 . .</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4 – Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias de abril a setembro de 2021 no pomar Lovo. Pato Branco, 2022 . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5 – Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias de abril a setembro de 2021 no pomar Horizonte. Pato Branco, 2022 . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6 – Tempo médio de brotação (TMB) das cultivares Eva, Gala e Fuji nos pomares Lovo e Horizonte, durante o período de abril a outubro de 2021. Pato Branco, 2022 . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>Figura 7 – Tolerância ao frio (TL50) de casca, gema e lenho para as cultivares Eva, Fuji e Gala no pomar do Lovo no ano de 2021. Pato Branco, 2022 . . . .</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8 – Tolerância ao frio (TL50) de casca, gema e lenho para as cultivares Fuji e Gala no pomar do Horizonte no ano de 2021. Pato Branco, 2022 . . .</b>	<b>26</b>
<b>Figura 9 – Temperatura de letalidade a 50% de lise das células de esporões das cultivares Gala, Fuji e Eva localizadas no pomar comercial do Lovo e das cultivares Gala e Fuji localizadas no pomar comercial do Horizonte. Pato Branco, Paraná, 2022 . . . . .</b>	<b>28</b>



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Siglas

C1	condutividade inicial
C2	condutividade máxima
PEL	perda eletrolítica
PV	ponta-verde
TL50	temperatura de letalidade a 50%
TMB	tempo médio de brotação

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Letras Latinas

<i>cm</i>	Centímetros	[cm]
$^{\circ}C$	Graus celsius	[ $^{\circ}C$ ]
<i>h</i>	Horas	[h]
<i>Kg</i>	Kilogramas	[Kg]
<i>Kg.ha<sup>-1</sup></i>	Kilogramas por hectare	[Kg·ha <sup>-1</sup> ]
<i>Km</i>	Kilometros	[Km]
<i>ml</i>	Mililitros	[ml]
<i>mm</i>	Milímetros	[mm]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>11</b>
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura da maçã</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Dormência</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Heterogeneidade de brotação e floração</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>Tolerância ao congelamento</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Material vegetal</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Tempo médio de brotação</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Tolerância ao congelamento de brindilas</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Tolerância ao congelamento de esporões</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Tempo médio de brotação</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Temperatura de letalidade a 50% de brindilas</b>	<b>23</b>
<b>4.3</b>	<b>Temperatura de letalidade a 50% de esporões</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da macieira tem relevância social, cultural e principalmente, econômica (CARVALHO, 2011), sendo a terceira fruta mais produzida no mundo, com aproximadamente 129 milhões de toneladas (FAO, 2019). No Brasil, a produção em 2020 foi de aproximadamente 980.000 toneladas, oscilando anualmente em consequência de eventos climáticos desfavoráveis, sendo que o maior adensamento dessa atividade está localizado na região Sul, concentrando-se nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, respectivamente (IBGE, 2020). Entretanto, para que haja um adequado e efetivo desenvolvimento das safras de macieiras, e para que a produção atinja os valores esperados, existe a dependência de um fator determinante: a presença das adequadas condições climáticas, sendo essa, responsável por influenciar tanto a sua capacidade vegetativa, quanto reprodutiva (HAWERROTH *et al.*, 2010).

A macieira (*Malus domestica*) pertence à família das Rosaceae, é classificada como frutífera de clima temperado. Uma das principais características das plantas de clima temperado é a sua capacidade de tolerar e resistir as baixas temperaturas, sendo isso possível por meio de um fenômeno adaptativo denominado de estado de dormência. A dormência é um processo onde as plantas possuem a capacidade de se modificar, alterando e reduzindo os seus processos fisiológicos e metabólicos, como por exemplo: diminuição dos teores de água nos tecidos e aumento da produção de açúcar-álcool, para que assim, consiga se tornar mais tolerante ao congelamento (AMEGLIO *et al.*, 2001; FAUST *et al.*, 1991; BONHOMME *et al.*, 2010).

Para que seja possível determinar se uma planta é ou não tolerante a passagem pelas baixas temperaturas, existe um fator denominado acúmulo de frio. Esse importante fator influencia na entrada e saída da dormência. Por exemplo, se uma fruteira de clima temperado for implantada em local onde o acúmulo de frio não é o suficiente, tanto em quantidade como em qualidade, muito possivelmente o momento de brotação e floração será afetado, justamente por haver interferências nas suas estruturas fisiológicas que irão prejudicar as fases da dormência (paradormência, endodormência e ecodormência) (LANG *et al.*, 1987).

A expansão da produção da cultura da macieira pelos estados brasileiros é algo muito limitado, visto que o metabolismo dessa espécie é diretamente dependente das condições ambientais, principalmente baixas temperaturas durante o outono/inverno, que é em geral insuficiente para atender a demanda da espécie. O uso de fitoreguladores é uma alternativa que pode ser adotada para suprir parcialmente a falta de frio, sendo muitas vezes utilizados na quebra de dormência e indução de brotação. Entretanto, esses produtos além de não substituírem completamente a falta de frio, também têm restrições quanto a aceitação pela população quando utilizados em larga escala, muitas vezes sendo razão da restrição de consumo, bem como restrição de exportação da fruta (PERTILLE, 2021).

Atualmente, os fatores que envolvem as mudanças climáticas em nível mundial têm gerado preocupações, pois restringirá ainda mais os locais de cultivo de fruteiras temperadas devido ao aquecimento global. Diante desse cenário, se torna imprescindível o conhecimento

dos locais de cultivo das plantas, bem como os processos de adaptação destas quando implantadas sob condições não-ideais. Estudos a respeito da predição fenológica de macieiras cultivadas em locais de inverno ameno, com oscilações térmicas, são escassos, sendo esse mais um fator limitante da expansão da espécie para outros locais de produção (MALAGI *et al.*, 2015).

No Brasil, as principais regiões produtoras de maçã são basicamente em locais onde as temperaturas são próximas ao mínimo necessário. Entretanto, as grandes oscilações térmicas e a presença de constantes mudanças climáticas mundiais, com consequentes aumento de temperatura, têm afetado os cultivos, mesmo que em locais tradicionais, tendendo a apresentar variadas consequências, como o prolongamento do período de brotação e floração, mal formação de estruturas reprodutivas das plantas, perdas precoces por eventos como geadas e granizo, diminuição de área foliar, resultando assim, em perdas de produção (PETRI; LEITE, 2004; MALAGI *et al.*, 2015).

Para que o manejo seja realizado de maneira correta e eficiente, em condições de inverno ameno, se faz necessário o entendimento sobre as atividades fisiológicas das gemas durante a fase de dormência (CARVALHO; ZANETTE, 2004). A hipótese desse estudo é que no momento em que as macieiras estão expostas a condições de ambiente não-ideais, estas não entram em dormência profunda. Sendo assim, as células das plantas podem apresentar menor tolerância ao congelamento. A partir disso, o objetivo do trabalho é analisar a tolerância ao congelamento de estruturas vegetativas de macieiras, cultivadas em clima subtropical (região de inverno ameno), em duas altitudes diferentes

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a tolerância ao congelamento de cultivares de macieira em dois ambientes diferenciados pela altitude durante o período de dormência.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Realizar testes biológicos para avaliar a dinâmica de entrada e saída de dormência em comparação as condições climáticas expostas.
- Quantificar a tolerância ao congelamento de diferentes estruturas vegetativas e florais de macieiras.
- Identificar a influência das temperaturas na aquisição e perda de tolerância ao congelamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura da maçã

A macieira, que é uma frutífera pertencente à família das Rosaceae, com ciclo perene e caducifólia, é uma cultura amplamente aceita e prestigiada pelos produtores no Brasil. Atualmente é possível constatar dados surpreendentes de produção dessa fruta: aproximadamente 983.247 toneladas, distribuídos em mais de 32.468 hectares, foram colhidas apenas no ano de 2020. Em torno de 99% de todo o conteúdo produzido no país, é pertencente a região Sul do Brasil: Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, respectivamente (IBGE, 2020).

O estado de Santa Catarina representa uma parcela de 50,9% da produtividade total nacional, seguido em segundo lugar do Rio Grande do Sul, com 46,1% (IBGE, 2017), onde as principais cultivares implantadas nos pomares da região são 'Gala' e 'Fuji' ou suas variantes clonais. No ano de 2020, no Brasil, o rendimento médio foi de  $30.284 \text{ Kg.ha}^{-1}$ , resultando para a economia do país um valor total de 1.728.845.000 reais, sendo que, desses, 1.701.045.000 reais foram de produções geradas apenas pelos estados pertencentes a região Sul (IBGE, 2020; FAO, 2019).

As principais regiões produtoras, geralmente, são de maiores altitudes e, conseqüentemente, menores temperaturas, sendo exemplos desse fato municípios como: Fraiburgo e São Joaquim em Santa Catarina, Vacaria no Rio Grande do Sul e Palmas no Paraná. De maneira geral, o principal critério a ser priorizado no momento da escolha de uma cultivar a ser introduzida em um pomar, é a sua necessidade de frio. Cada cultivar apresenta necessidades de maneira individual quanto ao acúmulo de frio no período de dormência. A entrada e a superação do estado de dormência irão ocorrer se houver as condições que satisfaçam as exigências genotípicas das plantas, e, diante disso, é comum encontrar situações onde algumas das cultivares mais popularmente utilizadas comercialmente no Brasil (como 'Fuji' e 'Gala'), não são totalmente adaptadas (YAACOUBI *et al.*, 2016).

Geralmente, os locais de cultivo que apresentam grandes oscilações térmicas durante o inverno, além de invernos anualmente irregulares, bem como baixas condições de acúmulo de frio, são os mesmos classificados como impróprios para uma ideal produção de espécies frutíferas de clima temperado (MALAGI *et al.*, 2015). É diante desses casos, que, muitas vezes, os produtores se veem em situações onde é necessário utilizar produtos químicos (fitorreguladores) que simulem supram parcialmente as condições que o ambiente não oferece.

### 2.2 Dormência

A dormência das frutíferas de clima temperado é capaz de ocorrer em qualquer uma de suas estruturas meristemáticas, além de poder ser encontrada em mais de um estágio (FAUST

*et al.*, 1997). Dentre os órgãos capazes de entrar em estado de dormência, as gemas são aquelas em que possuem um maior nível de importância para estimar se as plantas serão ou não capazes de passar pelo frio, resistindo as baixas temperaturas. Não existem modelos de predição capazes de afirmar o tempo exato de saída e entrada de cada fase do estado de dormência, entretanto, existe a possibilidade de avaliar e tentar quantificar o momento em que as gemas das plantas passaram a apresentar condições fisiológicas semelhantes a cada determinada fase desse estado (ANZANELLO, 2012).

A apropriada definição do termo, bem como de cada uma das fases, capazes de descrever corretamente a dormência, foi algo que gerou diversas discussões até a chegada de um consenso. Lang *et al.* (1987) foram decisivos e criaram uma das principais definições que perpetua até os dias de hoje, deixando definido que dormência se trata de uma paralisação de plantas de clima temperado, decorrida a partir de processos evolutivos e adaptativos das plantas onde há uma suspensão temporária de seu desenvolvimento aparente através de fatores endógenos, como alternativa para resistir às baixas temperaturas. É possível dividir dormência em três fases sucessivas e distintas: paradormência, endodormência e ecodormência (LANG *et al.*, 1987).

A paradormência e a fase da dormência onde a planta tem a brotação de um órgão inibido por outro, através de ações hormonais. Um exemplo clássico de paradormência é a dominância apical. Na dominância apical ocorre a imobilização da brotação das gemas axilares, por conta da influência ocasionada pela gema apical, que promove um desequilíbrio hormonal na relação auxina/citocinina das plantas. A endodormência, como o próprio nome sugere, é fortemente influenciada por uma série de fatores endógenos, ocasionados dentro do órgão considerado (gema). Será na endodormência que acontecerá a etapa de acúmulo de frio, essencial para que a planta tenha a possibilidade de posteriormente retornar suas atividades metabólicas e, assim, brotar e florescer. Por fim, tem-se a fase de ecodormência, sendo esse o momento em que as condições de saída da dormência são determinadas através da supressão dos fatores externos limitantes, como: déficit hídrico, temperaturas, entre outros (LANG *et al.*, 1987).

Modelos fenológicos relacionados ao frio e calor acumulado durante a dormência vêm sendo amplamente explorados, com resultados obtidos em diferentes locais de cultivo (MALAGI *et al.*, 2015). Cada espécie e/ou cultivar frutífera apresenta características específicas e únicas quando submetidas ao acúmulo de frio ou de calor, de acordo com a fase de dormência. Os modelos mais comumente utilizados para quantificar o acúmulo de frio e calor são aqueles em que as plantas são submetidas a condições próximas às ideais, de acordo com as suas necessidades, além da utilização de modelos que quantificam a presença e a quantidade de açúcares presentes nas estruturas vegetais das plantas de clima temperado (FERNANDEZ *et al.*, 2019; PERTILLE, 2021).

### 2.3 Heterogeneidade de brotação e floração

Diversas são as consequências para uma fruteira de clima temperado quando a brotação e floração ocorre de maneira desuniforme. Um dos principais motivos que levam a essa dessincronização, tanto espacial quanto temporal, é a falta de condições ideais que influenciam na entrada e saída do estado de dormência. Outras consequências, além da heterogeneidade de brotação, que são ocasionados pela inadequada passagem pela dormência, são: diminuição da área foliar por tamanho linear de ramo, redução na brotação do número de gemas totais das plantas, ademais, é perceptível a presença de forte dominância apical, ou seja, o desenvolvimento ocorre quase unicamente de maneira acrótona, bem como diminuição nas taxas de fixação de frutos (PETRI; LEITE, 2004).

Quando estudadas as razões que levam a ocorrência da heterogeneidade de brotação e floração, principalmente em regiões de inverno ameno, tem-se uma carência muito grande de informações, o que dificulta a busca de resultados. Entretanto, em países mundialmente conhecidos por serem locais de cultivos tradicionais de macieiras, já vem sendo motivo de preocupação o constante aumento das temperaturas ambientais com o passar dos anos. Esse fato se trata de uma discussão global bastante atual, além de já se ter relatos de evidências ocasionadas por essas mudanças climáticas, como a heterogeneidade de floração, percebidas a partir da comparação de plantas polinizadoras com plantas produtoras (GLEIZER *et al.*, 2007), fazendo com que os riscos de perdas ocasionados pelas geadas sejam enormes, além de haver a interrupção do acúmulo de frio na etapa da endodormência (LUEDELING *et al.*, 2011).

### 2.4 Tolerância ao congelamento

As mudanças ocasionadas na fisiologia das plantas de clima temperado são ocasionadas de modo a evitar que haja danos drásticos nas estruturas vegetais quando expostas a temperaturas negativas durante o inverno. No momento em que as estruturas da planta passam a entrar em estado de dormência, modificações fisiológicas que diminuem o conteúdo de água presente nas células, bem como aumentam os teores de açúcares solúveis são alguns dos exemplos que evitam danos por baixas temperaturas (POIRIER; LACOINTE; AMEGLIO, 2010; YU *et al.*, 2017).

Quando há formação de cristais de gelo, devido às baixas temperaturas de inverno, as consequências para as células podem ser fatais. São exemplos dessas consequências a desnaturação proteica ou até mesmo a lise das membranas. A desnaturação das proteínas impede que haja 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).

Os mecanismos de defesa naturalmente ativados pelos vegetais, fazem com que o período que ocorra as adaptações metabólicas para superar o inverno, seja coincido justamente



no mesmo momento em que a planta entre em dormência. Ou seja, somente enquanto as frutas de clima temperado estejam em estado de dormência, é que elas serão tolerantes para sobreviver as baixas temperaturas do inverno. Portanto, por esse e outros motivos que, a passagem correta por todas as fases da dormência é tão importante. Em regiões de inverno ameno, onde as macieiras entram apenas em dormência superficial, é possível esperar respostas diferentes das encontradas na literatura, pois diante dessas condições não-ideias, a dinâmica de entrada e saída do estado de dormência são alteradas, deixando as plantas extremamente suscetíveis e, conseqüentemente, prejudicadas (MALAGI *et al.*, 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Material vegetal

Para a realização deste trabalho, foi coletado ramos de macieira em dois pomares comerciais diferentes: o pomar comercial do Lovo, situado no município de Palmas – Paraná (26°31' Sul, 52°00' Oeste e 1.140 metros de altitude) e o pomar comercial do Horizonte, também no município de Palmas, porém em região de maior altitude, no Horizonte/Palmas – Paraná (26°33' Sul, 51°36' Oeste e 1.310 metros de altitude), distante aproximadamente a 40 *Km* um pomar do outro. O clima para ambos os locais é classificado como Cfb, pela classificação Köppen-Geiger. Foram avaliadas as cultivares 'Fuji Suprema' e 'Galaxy', no pomar do Horizonte e as cultivares 'Fuji Suprema', 'Galaxy' e 'Eva', no pomar do Lovo. O pomar Lovo está implantado no local desde 1999, sobre o sistema adensado, com tutoramento e sobre porta-enxerto 'M.9' para as cultivares 'Fuji suprema' e 'Galaxy'. Já para a cultivar 'Eva', também possui sistema adensado, porém sem tutoramento, com porta-enxerto 'Marubakaido' e inter-enxerto com aproximadamente 15 *cm* de 'M.9'. Em relação ao pomar comercial do Horizonte, este encontra-se implantado desde o ano de 2007, em sistema de condução adensado, onde as cultivares 'Galaxy' e 'Fuji Suprema' estão com tutoramento e sobre porta-enxerto 'M.9'. Para a realização dos experimentos, foram realizadas coletas quinzenalmente em ambos os pomares, nos meses de abril a outubro de 2021.

#### 3.2 Tempo médio de brotação

Para essa avaliação, foram utilizadas estacas de ramos do tipo brindila, em condição de campo, que foram coletados em intervalos de 15 dias entre os meses de abril a novembro do ano de 2021. Para cada coleta, foi realizada a secção de 20 ramos em quatro partes distintas e equidistantes, onde houve em cada estaca, necessariamente, a presença de uma gema. As demais gemas encontradas nas estacas foram removidas e os ferimentos recobertos com uso de fita parafinada, de modo a evitar a perda de água. As estacas foram colocadas em espuma fenólica, já umedecida, e passaram a ser mantidas sob condições de temperaturas de 25 °C ( $\pm 1$  °C) em câmara de crescimento e com fotoperíodo de 16 horas. Após isso, houve o acompanhamento diário dessas estacas sendo registrado de maneira individual o tempo de brotação desde o momento em que foi colocado na câmara de crescimento, levando em consideração que estava brotado quando atingido o estágio de ponta-verde (PV). A média de tempo (dias) de brotação de cada estaca, foi o tempo médio de brotação (TMB).

Com o TMB, foi possível estimar e associar os valores a endodormência, pois, foi removida a paradormência com a utilização da gema isolada (removendo as demais que poderia interferir nos dados) e a ecodormência passou a ser suprimida com as condições estabelecidas

na câmara de crescimento. A partir do momento em que o TMB atingiu 12 dias, significa que a endodormência foi considerada superada.

### 3.3 Tolerância ao congelamento de brindilas

Para essa avaliação foram utilizados seis ramos medindo em torno de 35 *cm* para cada uma das cultivares dos locais analisados. Nesse experimento, as plantas foram expostas a diferentes condições de temperaturas, e, para cada cultivar e temperatura, foi utilizado quatro repetições de seis segmentos (com aproximadamente 5 *cm*, sendo um segmento de cada ramo, selecionado ao acaso). Para as amostras, foram separados casca, lenho e gema apical de cada segmento. As amostras foram agrupadas conforme a temperatura que foi utilizada no tratamento. As amostras foram enroladas em papel filtro umedecido e posteriormente em papel alumínio (Figura 1). Para os testes com reduções constantes de temperatura, foi utilizado um banho termostático com circulação interna (Huber – Ministat 240), com utilização de Etilenoglicol 50% como solução de congelamento, sendo a velocidade de redução de 5 °C por hora.

**Figura 1 – Tecidos enrolados em papel filme umedecidos e papel alumínio, com as 6 amostras que vão ser expostas nas 6 temperaturas avaliadas, com as devidas 4 repetições. Esses ‘cartuchinhos’ serão levados ao equipamento Huber – Ministat 240 para que seja possível através de um banho termostático alcançar as temperaturas desejadas**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

Foram mantidas as amostras por 40 minutos sob temperatura de -0.5 °C para mudança de fase, permitindo que ocorresse a equalização da temperatura da amostra com a solução de congelamento. As temperaturas de congelamento testadas foram: -5 °C, -10 °C, -15 °C, -25 °C e -35 °C. Ao atingir a temperatura de congelamento desejada, as amostras ficaram durante 60 minutos ainda sob essa temperatura, e somente depois desse período, foi retirada do equipamento. Depois disso, ocorreu a transferência para BOD, onde as amostras permaneceram por aproximadamente 24 horas a 5 °C (isso foi necessário para que fosse permitido um descongelamento lento). Após o tratamento de congelamento-descongelamento, secções do ramo foram

seccionadas em tamanhos menores, com aproximadamente 5 mm de comprimento, e foram imersas em 10 ml de água deionizada em tubos de ensaio.

Os tubos permaneceram por um período entre 16-24 h a 5 °C (Figura 2). Ao final desse período foi medida a condutividade inicial (C1) através de um medidor de condutividade elétrica (AAKER-MCA150). Após leitura C1, os tubos foram levados para uma autoclave a 120 °C durante 25 minutos (para ocorrer a lise máxima das células), e permaneceram em temperatura ambiente *overnight*. Nesse momento, a condutividade elétrica foi medida novamente para se obter a condutividade máxima (C2). A perda eletrolítica (PEL) foi calculada como descrito por Zhang e Willison (1987):

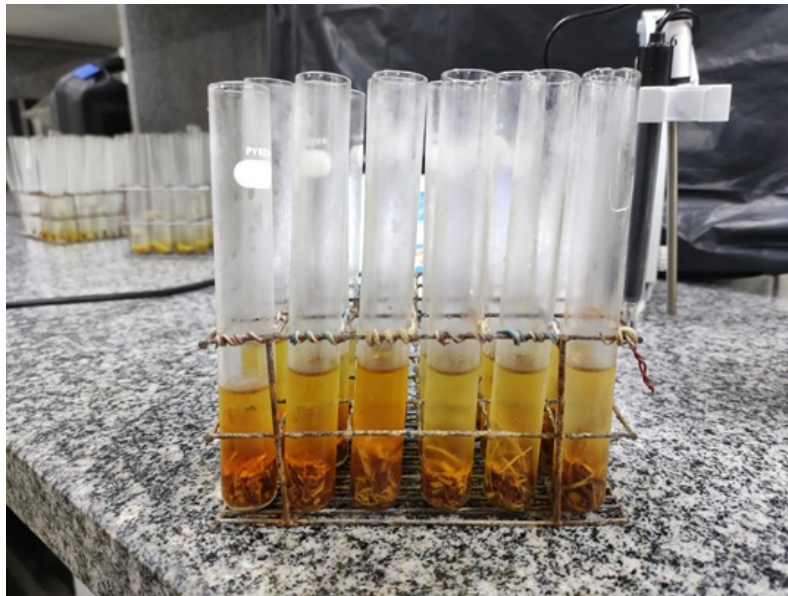
$$PEL = 100 * C1/C2 \quad (1)$$

onde C1 é a condutividade inicial (pós congelamento) e C2 é a condutividade final (pós autoclavagem). A temperatura de letalidade a 50% (TL50) foi encontrada através do ajuste de função logística sigmoide de 4 parâmetros (REPO; LAPPI, 1989), de modelo:

$$y = A/(1 + e^{B(CX)}) + D \quad (2)$$

Onde y é a perda eletrolítica, A e D são as assíntotas da função, B é a inclinação no ponto C, e X é a temperatura de congelamento.

**Figura 2 – Amostras picadas e inseridas em tubos de ensaios com a adição de 10 mL de água ultrapura para a medição da condutividade eletrolítica C1**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

### 3.4 Tolerância ao congelamento de esporões

Nessa avaliação, foram utilizadas amostras com ramos do tipo esporão, ou seja, estruturas menores de 10 *cm* portadoras de uma ou mais gemas mistas. Foram utilizados 25 esporões para analisar a tolerância ao congelamento. Foram cinco repetições de esporões de cada cultivar, bem como de cada temperatura avaliada. As amostras foram agrupadas de acordo com cada temperatura testada. Cada uma dessas amostras foi enrolada por papel umedecido e posteriormente por papel alumínio. A redução de temperatura foi possível através da utilização de um banho termostático com circulação interna (Huber – Ministat 240), com utilização de Etilenoglicol 50% como solução de congelamento, com velocidade de redução de 5 °C por hora. Após isso, as amostras permaneceram por um período de 40 minutos sob temperatura de -0,5 °C para que houvesse a mudança de fase, permitindo a equalização da temperatura da amostra em análise, com a solução de congelamento. As temperaturas de congelamento testadas foram: -3 °C, -8 °C, -13 °C, - 18°C e -23 °C. Utilizou-se temperaturas diferentes do teste TL50 de brindilas, pois nesse experimento utilizou-se apenas gemas que são mais sensíveis, e as temperaturas iniciais são mais próximas das observadas em campo nas zonas produtoras.

**Figura 3 – Escala de notas utilizada para a avaliação de danos por congelamento nas gemas dos esporões das macieiras. Pato Branco, Paraná, 2022**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

Ao atingir as temperaturas de congelamento desejada, as amostras ficaram por um período de 60 minutos sob a temperatura desejada. Somente após esse tempo, que foram transferidas do equipamento para a BOD, onde permaneceram por 24 horas a 5 °C, de maneira que fosse possível que ocorresse um descongelamento lento.

Após esse tratamento de congelamento-descongelamento, os esporões foram colocados em espuma fenólica umedecidas, durante o período de sete dias, sob condições de cres-

cimento (com temperatura de 25 °C), e, assim, foi possível avaliar os danos causados pelo congelamento nos tecidos do esporão. Essa avaliação é realizada visualmente, procedendo-se um corte longitudinal na gema, com o auxílio de uma lupa, sendo atribuído notas, que variaram de 0 a 3 (0 – sem danos visíveis; 1 – menos de 50% de dano; 2 – mais de 50% de dano; 3 – necrose total do tecido), conforme a Figura 3.

Foi calculado a temperatura necessária para causar 50% de dano no tecido da gema por meio de um ajuste de modelo não-linear de quatro parâmetros, descrito como:

$$y = A/(1 + e^{B(CX)}) + D \quad (3)$$

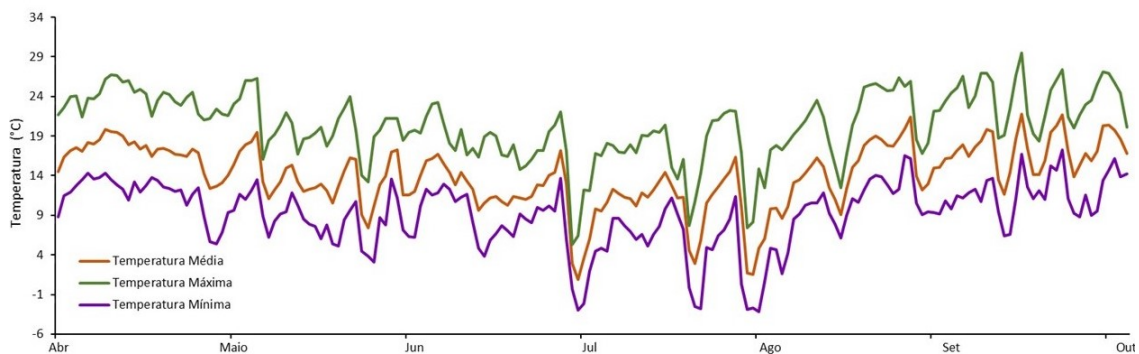
Onde  $y$  é o dano visual,  $A$  e  $D$  são as assíntotas da função,  $B$  é a inclinação no ponto  $C$ , e  $X$  é a temperatura de congelamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Tempo médio de brotação

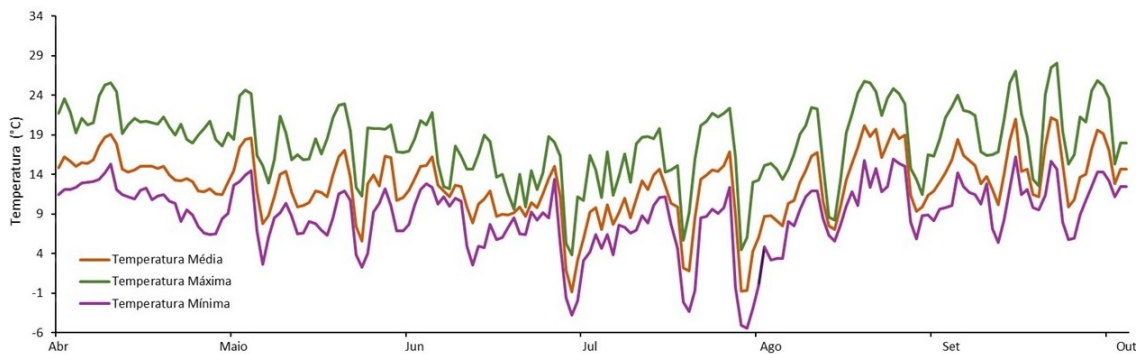
As médias de temperatura para região do Lovo (Figura 4), que apresenta altitude menor quando comparado ao pomar do Horizonte, foram mais altas e seus picos de ondas de frio apresentaram variações consideravelmente mais instáveis quando comparadas ao pomar do Horizonte (Figura 5).

**Figura 4 – Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias de abril a setembro de 2021 no pomar Lovo. Pato Branco, 2022**



Fonte: Autoria própria (2022).

**Figura 5 – Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias de abril a setembro de 2021 no pomar Horizonte. Pato Branco, 2022**



Fonte: Autoria própria (2022).

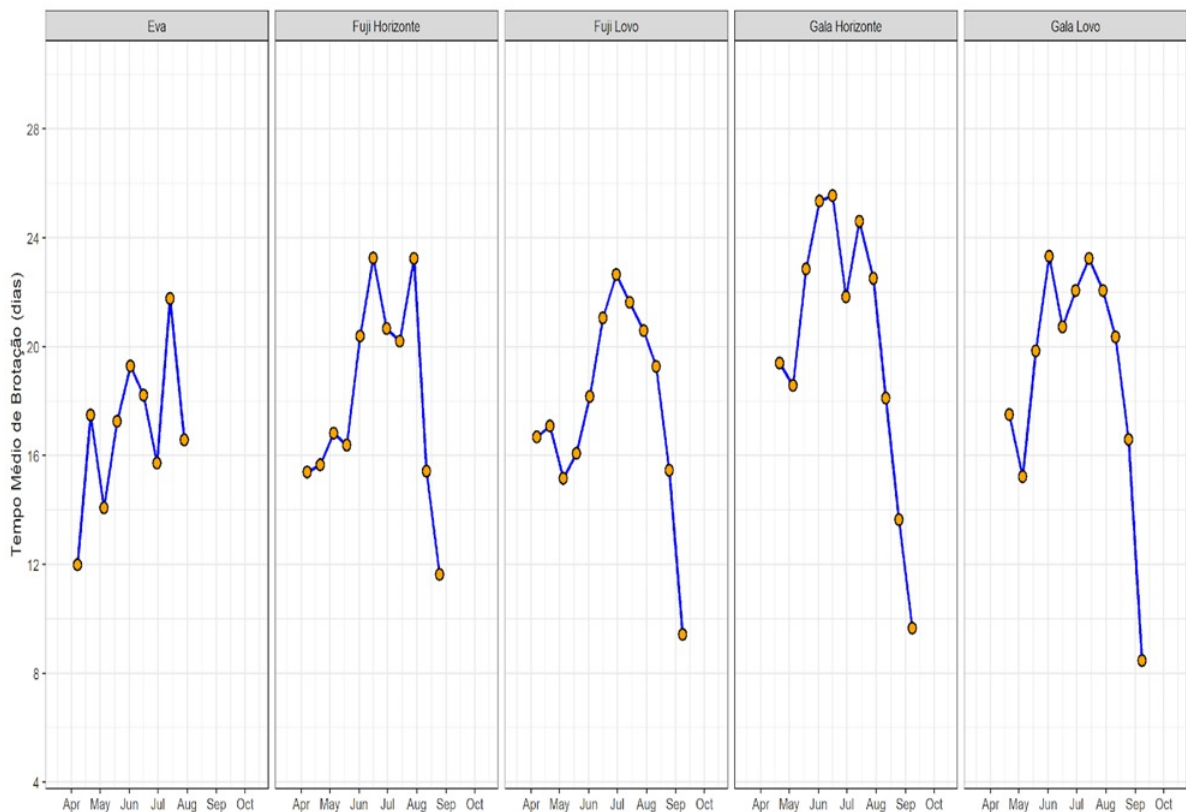
É possível observar que as temperaturas mínimas e máximas para o pomar Lovo não ultrapassaram  $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Já para o pomar Horizonte a temperatura mínima registrada foi  $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a máxima  $28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas médias registradas no período do experimento foi de  $14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  para o pomar Lovo e Horizonte respectivamente.

Durante o período de dormência, a variação encontrada para o TMB foi de 9 a 26 dias para a brotação dos ramos situados nos dois pomares de cultivo (Figura 6). As cultivares Gala e



Fuji apresentaram dormência um pouco mais profunda quando comparada com Eva, podendo ainda ser possível definir os seus momentos de picos de dormência durante o inverno, que variou de meados de junho a início de agosto, com exceção da cultivar Eva que não apresentou pico definido. As amostras do pomar do Lovo apresentaram valores de TMB menores que o pomar do Horizonte, porém ainda próximos. Os valores máximos correspondem à época de endodormência mais profunda, e a queda do TMB a partir deste ponto até 12 dias caracteriza o final da endodormência.

**Figura 6 – Tempo médio de brotação (TMB) das cultivares Eva, Gala e Fuji nos pomares Lovo e Horizonte, durante o período de abril a outubro de 2021. Pato Branco, 2022**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

No pomar Horizonte a cultivar Fuji apresentou um primeiro pico de TMB máximo de aproximadamente 23 dias na primeira quinzena de junho. Já a cultivar Gala apresentou um pico do TMB maior que o da Fuji durante o mesmo período (de aproximadamente 26 dias). Em julho, a 'Gala' e principalmente a 'Fuji' novamente atingiram outro pico de TMB (aproximadamente 24 e 23 dias, respectivamente). A cultivar Fuji localizada no pomar Lovo, apresentou um único momento de pico máximo de aproximadamente 23 dias no início de julho. Depois disso, os valores foram apenas reduzindo até o fim do seu período de dormência.

Já a cultivar Gala obteve dois momentos de picos no TMB, porém inferiores do que apresentou a mesma cultivar no pomar do Horizonte: no início de junho com TMB de aproximadamente 23 dias e na primeira quinzena de julho com TMB de aproximadamente 22 dias. Para



ambos os locais, a cultivar Gala foi a primeira a entrar em endodormência, quando comparada com 'Fuji', possivelmente devido à desfolha antecipada nesta cultivar e a maior sensibilidade aos fatores de indução de endodormência, especialmente as temperaturas noturnas baixas.

Por fim, a cultivar Eva, localizada apenas no pomar do Lovo, apresentou picos de dormência, porém sem padrão de entrada e saída definido. Através das curvas do TMB para essa cultivar é possível de observar que as oscilações não apresentaram uma resposta semelhante às demais, tendo picos que oscilaram entre máximas e mínimas em um intervalo de tempo consideravelmente pequeno. O maior valor alcançado para o seu TMB foi de 22 dias na primeira quinzena de julho, e, comparado com todas as outras cultivares avaliadas independentemente do local, foi o menor valor de pico encontrado. No início do mês de agosto, o período de dormência da cultivar Eva já havia sido encerrado.

As oscilações no TMB da cultivar Eva e a falta de padrão de entrada (indução) e saída de dormência se dá, possivelmente, devido a cultivar não alcançar a fase de endodormência profunda, além de apresentar brotação rápida quando exposta a altas temperaturas que ocorreram durante o inverno, fazendo com que rapidamente a planta entre em ecodormência após uma ligeira acumulação de frio. Em razão dessa cultivar não apresentar dormência profunda, é fator para considerar como cultivar adaptada a regiões mais quentes (PERTILLE *et al.*, 2021; MALAGI *et al.*, 2015). No entanto, cultivares que apresentam baixa necessidade de frio e que não apresentam dormência profunda, como a cultivar Eva, em momentos de elevação de temperatura, ainda no inverno, retomam o crescimento ativo das gemas, tornando a planta suscetível a danos por frio durante a brotação, polinização e fixação de frutos (FERNANDEZ *et al.*, 2020). No campo, foi visualizado floração da Eva em período de extremo frio (segunda quinzena de julho e início de agosto), ocorrendo queima de brotações e flores.

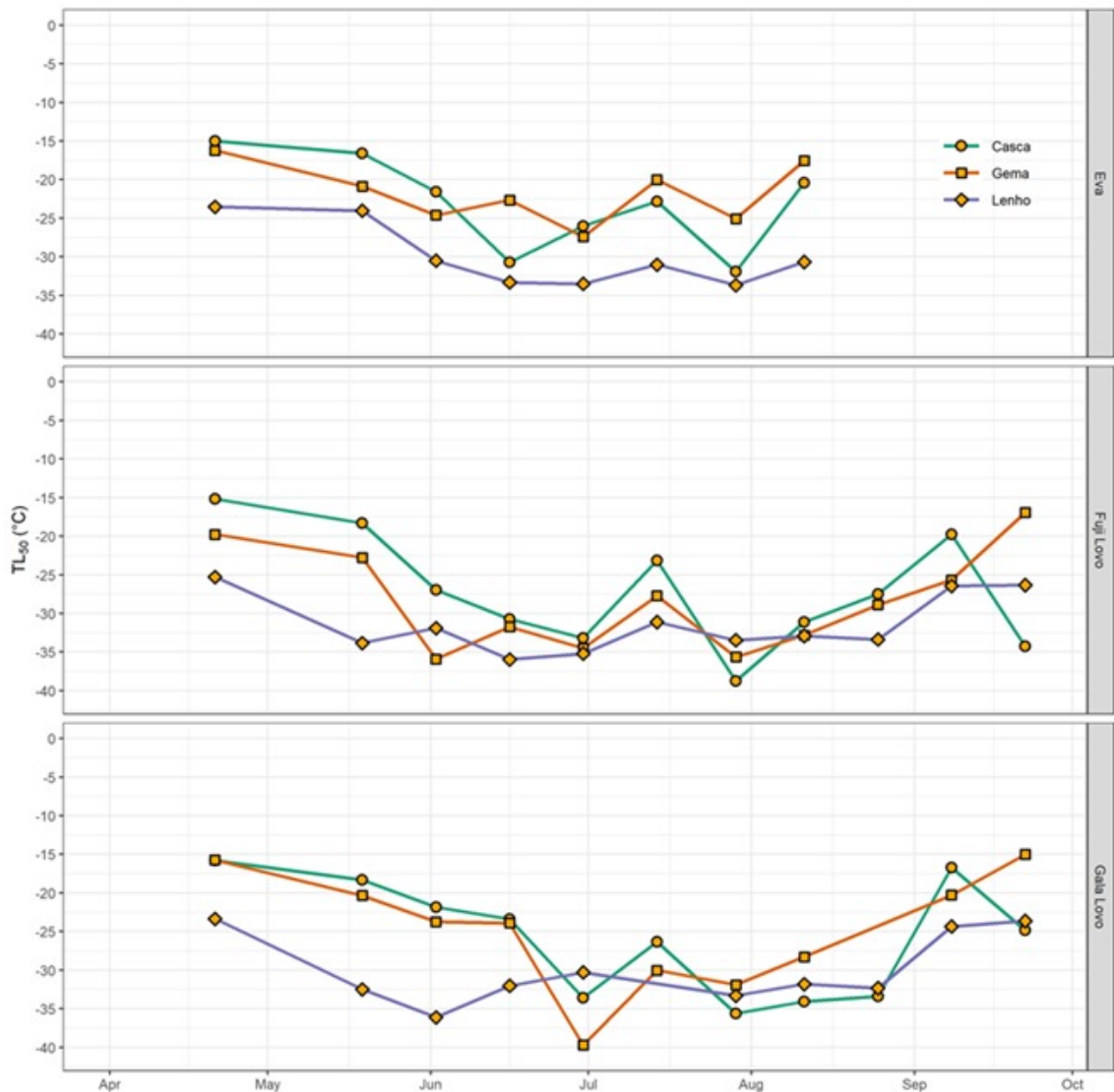
No trabalho de Sachet (2014) foi observado que a medida em que há aumento da exposição ao frio e há um acúmulo suficiente deste, há redução proporcional no TMB. De fato, as cultivares Gala e Fuji, nos dois pomares apresentaram elevação do TMB com a diminuição constante da temperatura médias no outono e início do inverno, e após as ondas mais frias do inverno, o TMB começou a cair até chegar ao período de entrada em ecodormência.

## 4.2 Temperatura de letalidade a 50% de brindilas

Para a TL50 de lise das células de ramos do tipo brindilas, foi possível observar que inicialmente, durante o processo de aclimação, os órgãos estudados, independentemente da cultivar, são mais sensíveis a lise por congelamento (Figura 7 e 8). A medida que aumentando a profundidade de dormência, esses mesmo órgão vão tornando-se mais resistentes ao congelamento e coincide com um maior TMB, por fim durante o processo de 'desaclimação' é observado novamente uma menor resistência ao congelamento que coincide com a diminuição do TMB (Figura 6). Nos primeiros meses de avaliação, de abril a meados de junho, todas as cultivares (Eva, Fuji e Gala) tiveram nitidamente o tecido casca como o menos resistente ao

frio (Figura 7). Foi também verificado que as gemas no decorrer dos meses apresentaram capacidade de aclimação, porém em menores níveis e com constantes variações em menores período de tempo. Já o lenho, independente das cultivares, foi o tecido que se comportou como o mais tolerante ao frio.

**Figura 7 – Tolerância ao frio (TL50) de casca, gema e lenho para as cultivares Eva, Fuji e Gala no pomar do Lovo no ano de 2021. Pato Branco, 2022**



Fonte: Autoria própria (2022).

Para todas as cultivares localizadas no pomar do Lovo, de abril a início de julho, foi observado uma diminuição constante do TL50 que coincide com os momentos de maiores picos do TMB para as cultivares Gala e Fuji localizadas no mesmo pomar (Figura 6). A cultivar Eva apresentou variações mais expressivas apenas para os tecidos casca e gema, mantendo um TL50 com uma curva mais constante para o lenho.

As cultivares Fuji e Gala, na primeira quinzena de julho, tiveram um aumento do TL50 para todos os tecidos. A Fuji apresentou nesse mesmo período um acréscimo do TL50 princi-

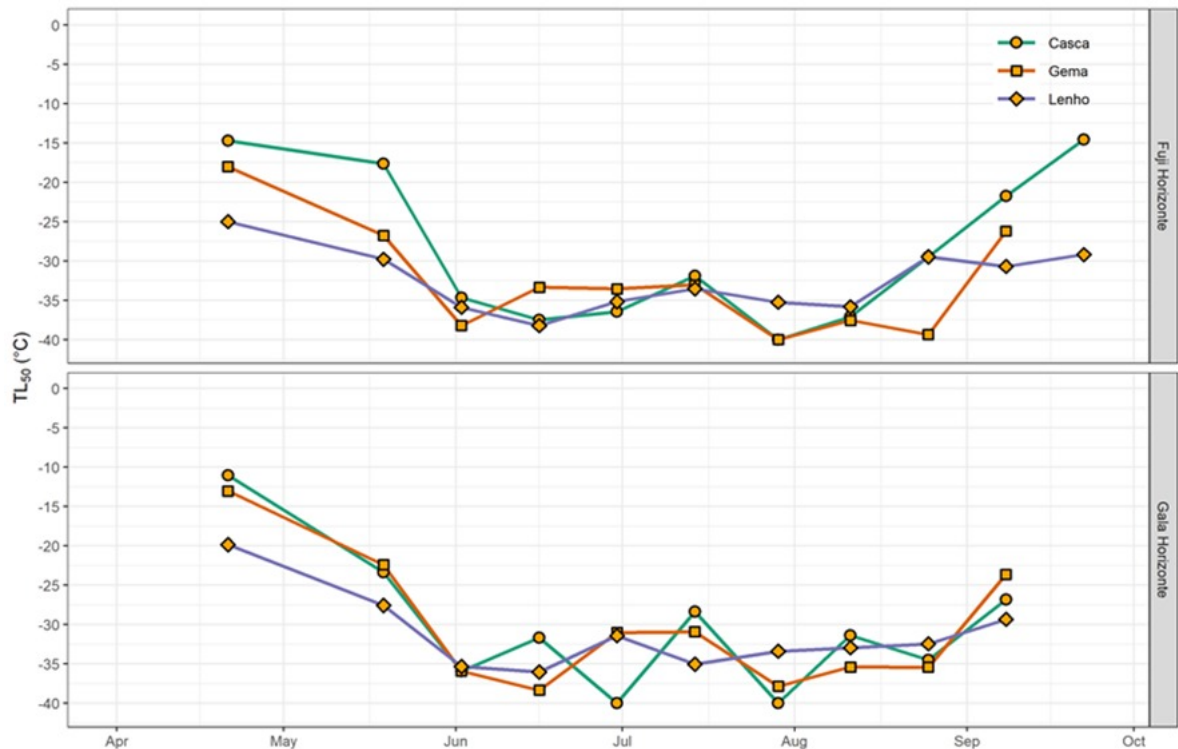
palmente para a casca, passando de -33 °C para -23 °C. Já para cultivar Gala, o TL50 do tecido gema passou de -40 °C para -30 °C. Esse aumento do TL50 pode ser explicado pelas temperaturas mais elevadas ocorridas na semana anterior (Figura 4). Já na coleta seguinte, após uma onda de frio intensa ocorrida na segunda quinzena de julho, o TL50 apresentou uma redução, principalmente para a casca, em todas as cultivares. A partir do início do mês de setembro foi possível perceber um novamente um aumento do TL50 para todos os tecidos de todas as cultivares analisadas.

No pomar Horizonte observa-se que para cultivar Fuji, no final de abril, eram necessárias temperaturas de -15 a -25 °C aproximadamente para que ocorresse a lise de 50% das células de todos os tecidos avaliados (Figura 8). O TL50 atinge o seu pico na primeira quinzena de junho, com valores de TL50 abaixo de -35 °C. Já nos resultados para a cultivar Gala desse mesmo pomar, de meados de abril a início de junho às temperaturas necessárias para que ocorresse a lise de 50% das células das plantas foi bem próxima a cultivar Fuji (de -10 a -20 °C), e o menor valor de TL50 para essa cultivar foi para a casca no final de junho e final de julho. Durante todo o período entre junho até final de agosto, o TL50 permaneceu em níveis baixos. A partir de meados de agosto, houve um aumento gradativo no TL50 para todos os tecidos, principalmente para a casca e a gema. No início de setembro, comparado com o período de início do inverno, temperaturas mais elevadas já eram o suficiente para causar letalidade nos tecidos, principalmente para as gemas.

Observa-se, que no pomar Horizonte, ondas de calor no início de julho e a extrema onda de frio no final de julho também causaram o aumento e a posterior queda do TL50, porém de forma menos evidente que no pomar Lovo (Figura 5 e Figura 8). Apenas a casca da cultivar Gala que apresentou uma flutuação mais expressiva nesse período, saindo de um TL50 de -40°C para -28°C e em seguida retornando para -40°C. Para ambos os locais e cultivares o lenho foi o tecido que menos apresentou variações durante o período avaliado.

Foi possível perceber que o lenho, quando comparado aos outros tecidos avaliados, se apresenta como o mais tolerante ao congelamento. Esse órgão é constituído por células mais especializadas (elementos traqueais), localizados no xilema. Quando essas estruturas atingem um nível de maturidade na planta, ocorre a perda do seu conteúdo citoplasmático, deixando assim apenas paredes secundárias e lignificadas, que fazem com que esse tecido se torne naturalmente menos exposto à lise celular, e, conseqüentemente, menos afetado (TAIZ *et al.*, 2017). Yu *et al.* (2017) observaram em seu trabalho que a casca do tronco e os tecidos lenhosos de ambas as cultivares de pessegueiro (*Prunus persica*), utilizadas no estudo apresentaram mínima resistência ao frio no início do outono de 2014, onde os valores de TL50 foram aproximadamente -10 °C, independentemente da cultivar e do tipo de tecido, o que é contrastante aos resultados do presente estudo onde houve elevada variação não só entre os locais, mas entre as cultivares e os tecidos analisados. Assim como no presente estudo, os autores verificaram que os valores de TL50 diminuíram continuamente, indicando que a resistência ao frio nos

**Figura 8 – Tolerância ao frio (TL50) de casca, gema e lenho para as cultivares Fuji e Gala no pomar do Horizonte no ano de 2021. Pato Branco, 2022**



Fonte: Autoria própria (2022).

tecidos do tronco aumentou. Os valores de TL50 dos tecidos lenhosos foram em sua maioria menores que os dos tecidos da casca, independentemente do método de análise e cultivar.

Estudos sobre a aclimação ao frio mostraram que dois estágios diferentes sucessivos e induzidos seguem-se para permitir a resistência a baixas temperaturas. Numa primeira fase, a aclimação ao frio é induzida apenas após a senescência das folhas e a dormência dos ramos, através de uma diminuição do fotoperíodo e temperatura, sendo, para o caso das macieiras mais importante apenas as condições de temperaturas. Neste momento, as células meristemáticas tornam-se dormentes, compostos das folhas são translocados em partes perenes e proteínas relacionadas ao frio são sintetizadas (WELLING; PALVA, 2006). Posteriormente, durante o segundo estágio, as temperaturas baixas são o principal fator de aclimação. Diferentes sínteses metabólicas são observadas, com diferentes compostos químicos mantendo a fluidez da membrana (ácidos graxos poliinsaturados, esfingolipídios), crioprotetores (proteína anticongelante, deidrinas) ou diminuindo o ponto de congelamento (hidratos de carbono, aminoácidos, ácidos orgânicos) (SAKAI; LARCHER, 1987).

Poirier, Lacoite e Ameglio (2010) em seu estudo com a espécie *Juglans regia* L. (nozueira), verificaram que o nível de resistência ao frio, conforme determinado pelo TL50, variou entre -5 e -10 °C para cultivar Franquette e -10 e -15 °C para híbridos no final do crescimento do verão, valores bem distintos do encontrado no estudo. O nível de resistência ao frio aumentou fortemente no início do inverno, atingindo valores de pico de -22 °C em média (cultivar

'Franquette') e  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  (híbridos) no final de fevereiro, indo de encontro com os resultados presentes neste trabalho. É possível afirmar que as macieiras, principalmente no pomar Lovo, não apresentavam a mesma intensidade de dormência e tolerância ao frio de uma região de clima temperado. Isso é visível pelas rápidas mudanças no TL50 geradas pelas ondas de frio e calor que ocorreram no inverno de 2021. A casca, que é representada pelo floema, estava muito ativa e provavelmente com alta atividade enzimática e de água. Algo também visível no TMB, que em regiões de clima temperado apresenta valores superiores quando em comparação a regiões de clima subtropical (MALAGI *et al.*, 2015).

### 4.3 Temperatura de letalidade a 50% de esporões

Os resultados para TL50 de esporões indicam através da avaliação visual, que para todas as cultivares, independente do pomar localizado, a tolerância ao frio iniciou entre  $-3$  a  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  no início de abril e evoluíram até aproximadamente  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre os meses de junho e julho (Figura 9), sendo os momentos de maiores picos do TMB das cultivares Gala e Fuji de ambos os pomares (Figura 6). Posteriormente, para os meses seguintes, essa tolerância ao TL50 é diminuída, até o início da primavera.

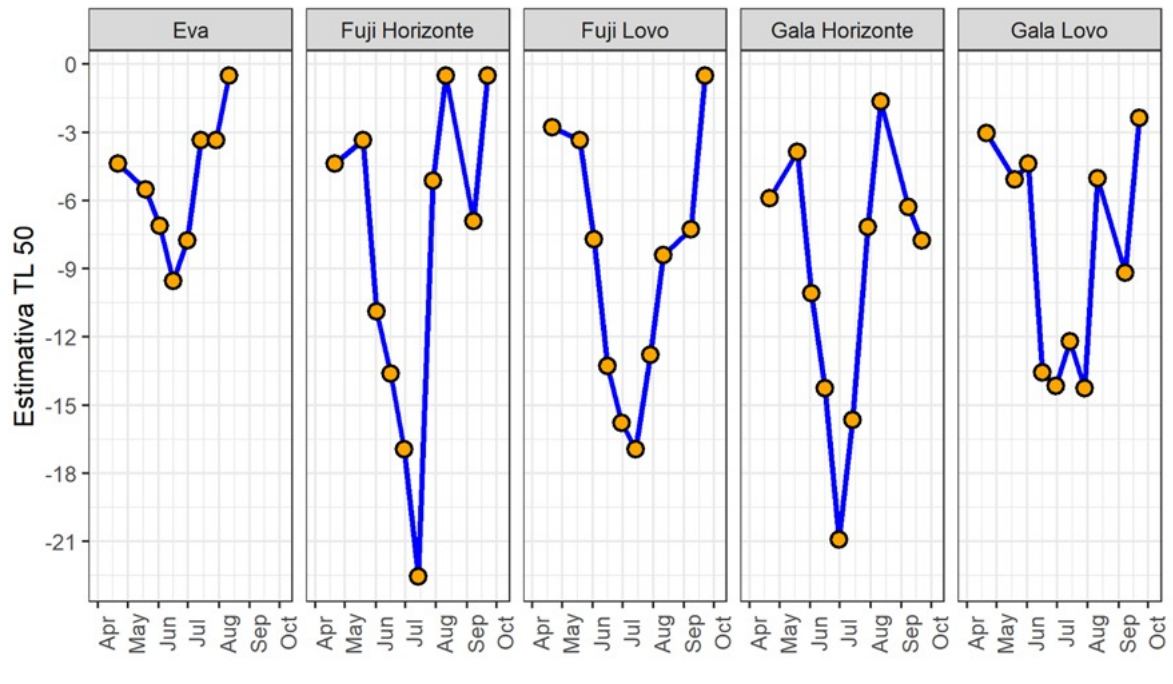
Não foi possível observar grandes flutuações causadas pelas ondas de frio e calor alternadas durante os meses de junho até agosto, assim como ocorreu na tolerância ao frio de brindilas (casca, gema e lenho). Provavelmente a metodologia visual não permite quantificar essas nuances devido a escala de notas qualitativas, e não quantitativas (perda de eletrólitos – lise celular) como na metodologia anterior.

Salazar-Gutiérrez *et al.* (2014) estudando a variação na resistência ao frio de botões florais de cerejeira em diferentes estádios fenológicos observaram que a variação de dano foi quase insignificante entre as cultivares, enquanto dentro das cultivares foram observadas grandes variações para as diferentes datas de amostragens. Os perfis térmicos para cada cultivar mudaram em função da data de amostragem e com o avanço da estação de inverno. Além disso, a tolerância mudou consistentemente à medida que o inverno avançou. Essas observações demonstraram que houve diferenças na tolerância das gemas entre as cultivares à medida que o inverno avança, assim como para os resultados encontrados nos dois locais de estudo.

Assim, a resistência ao frio é uma função tanto das condições ambientais quanto do estágio de desenvolvimento da planta. Ainda segundo os autores, durante o inverno, o TL50 de cultivares de cereja atingiu valores mínimos próximos a  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  em Prosser, Washington. Manteve-se quase estável durante o período mais frio do inverno até o início de fevereiro e com pequenas variações até o início de março, quando as mudanças foram mais claramente observáveis (SALAZAR-GUTIÉRREZ *et al.*, 2014).

A cultivar Eva claramente apresenta aclimação, porém de forma mais superficial. Pela curva de TL50 da cultivar Eva é possível notar que invernos mais rigorosos podem ocorrer grandes perdas em campo. Entre os meses de julho e agosto as temperaturas atingiram mínimas

**Figura 9 – Temperatura de letalidade a 50% de lise das células de esporões das cultivares Gala, Fuji e Eva localizadas no pomar comercial do Lovo e das cultivares Gala e Fuji localizadas no pomar comercial do Horizonte. Pato Branco, Paraná, 2022**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

próximas a -4 °C no pomar Lovo e -6 °C no pomar Horizonte, bem próximo ou até inferior ao TL50 da cultivar Eva nesse período, que estava próximo a -3 °C. Em campo, foram observadas a partir da segunda quinzena de julho grandes quantidades de gemas totalmente danificadas pelo frio (não quantificado), reflexo do nível de aclimação mais superficial da cultivar Eva.

Diferenças na tolerância foram encontradas para as cultivares de maçã avaliadas no presente estudo bem como entre as diferentes datas de amostragem e os dois locais de implantação dos experimentos. As informações geradas neste estudo serão capazes de fornecer uma melhor compreensão da resistência ao frio da macieira e, assim, apoiar e instruir os produtores na tomada de decisões e na escolha do manejo e principalmente cultivares mais adequadas como por exemplo, evitar o uso de cultivares de baixa necessidade de frio e que tenham florescimento precoce em regiões de risco de geadas tardias.

## 5 CONCLUSÕES

A macieira 'Eva' apresenta endodormência superficial, porém, mesmo nesta condição suas estruturas (casca, lenho e gemas) apresentam boa tolerância ao frio. Os danos pelo frio só se tornam mais evidentes na retomada do crescimento ativo (início da brotação/floração), quando a planta fica exposta a riscos de perdas por geadas.

As cultivares Gala e Fuji apresentaram pontos de tolerância ao congelamento bastante satisfatórios e que vão de encontro ao resultado expresso no momento de maior pico do TMB. Isso demonstra que essas cultivares apresentaram dormência mais profunda, principalmente quando cultivadas em ambientes com maior altitude onde, por consequência há maior acúmulo de frio.

A casca e as gemas apresentam menor tolerância ao frio quando comparadas ao lenho.

As flutuações térmicas durante o período de dormência em clima subtropical podem alterar a tolerância ao frio.

## REFERÊNCIAS

- AMEGLIO, T. *et al.* Winter stem xylem pressure in walnut trees: effects of carbohydrates, cooling and freezing. **Tree Physiology**, v. 21, n. 6, p. 387–394, 2001. ISSN 0829-318X, 1758-4469. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article-lookup/doi/10.1093/treephys/21.6.387>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- ANZANELLO, R. Fisiologia e modelagem da dormência de gemas em macieira. 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/66111>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- BONHOMME, M. *et al.* Carbohydrate uptake from xylem vessels and its distribution among stem tissues and buds in walnut (*Juglans regia* L.). **Tree Physiology**, v. 30, n. 1, p. 89–102, 2010. ISSN 0829-318X, 1758-4469. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article-lookup/doi/10.1093/treephys/tpp103>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- CARVALHO, R. I. N. d.; ZANETTE, F. Dinâmica da dormência de gemas de macieira 'Imperial Gala' durante o outono e inverno em região de baixa ocorrência de frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 65–68, 2004. ISSN 0100-2945. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452004000100018&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452004000100018&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 10 nov. 2022.
- CARVALHO, V. R. F. Cadeia produtiva da maçã no Brasil: limitações e potencialidades. **Porto Alegre: BRDE**, p. 202011–04, 2011.
- 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, 2015. ISSN 1664-462X. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2015.00259/abstract>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- FAO, F. a. A. O. o. t. U. N. **Statistical databases**. 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- FAUST, M. *et al.* Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. **HortScience**, American Society for Horticultural Science, v. 32, n. 4, p. 623–629, 1997.
- FAUST, M. *et al.* Bound versus free water in dormant apple buds—A theory for endodormancy. **HortScience**, v. 26, n. 7, p. 887–890, 1991. ISSN 0018-5345, 2327-9834. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/26/7/article-p887.xml>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- FERNANDEZ, E. *et al.* Starch and hexoses concentrations as physiological markers in dormancy progression of sweet cherry twigs. **Trees**, v. 33, n. 4, p. 1187–1201, 2019. ISSN 1432-2285. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01855-0>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- FERNANDEZ, E. *et al.* Prospects of decreasing winter chill for deciduous fruit production in Chile throughout the 21st century. **Climatic Change**, v. 159, n. 3, p. 423–439, 2020. ISSN 0165-0009, 1573-1480. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10584-019-02608-1>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- GLEIZER, B. *et al.* Evolution de la phénologie florale et du risque de gel printanier. **Infos CTIFL**, v. 345, p. 37, 2007. Disponível em: <https://hal.inrae.fr/hal-02660475>. Acesso em: 10 nov. 2021.



- HAWERROTH, F. J. *et al.* Dormência em frutíferas de clima temperado. **Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)**, Pelotas: Embrapa Clima Temperado., 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884602/1/documento310.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maca/br>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maca/br>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- LANG, G. A. *et al.* Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. **Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research**, American Society for Horticultural Science, v. 22, n. 3, p. 371–377, 1987. ISSN 0018-5345.
- LUEDLING, E. *et al.* Climate Change Affects Winter Chill for Temperate Fruit and Nut Trees. **PLoS ONE**, v. 6, n. 5, p. e20155, 2011. ISSN 1932-6203. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0020155>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- MALAGI, G. *et al.* The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches. **Trees**, v. 29, n. 5, p. 1365–1380, 2015. ISSN 0931-1890, 1432-2285. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00468-015-1214-3>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- PERTILLE, R. H. **Influência do ambiente na heterogeneidade de brotação e floração de macieiras**. 2021. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/24709>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- PERTILLE, R. H. *et al.* High-chilling requirement apple cultivar has more accentuated acrotony than low-chilling one in mild winter region. **Trees**, v. 35, n. 4, p. 1135–1150, 2021. ISSN 1432-2285. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02104-z>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- PETRI, J.; LEITE, G. Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. **Acta Horticulturae**, n. 662, p. 53–60, 2004. ISSN 0567-7572, 2406-6168. Disponível em: [https://www.actahort.org/books/662/662\\_4.htm](https://www.actahort.org/books/662/662_4.htm). Acesso em: 26 nov. 2021.
- POIRIER, M.; LACOINTE, A.; AMEGLIO, T. A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. **Tree Physiology**, v. 30, n. 12, p. 1555–1569, 2010. ISSN 0829-318X, 1758-4469. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article-lookup/doi/10.1093/treephys/tpq087>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- REPO, T.; LAPPI, J. Estimation of standard error of impedance-estimated frost resistance. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 4, n. 1-4, p. 67–74, 1989. ISSN 0282-7581, 1651-1891. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02827588909382547>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- SACHET, M. R. **Análises biológicas e bioquímicas na dinâmica da dormência de macieiras em Palmas – PR**. 2014. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/874>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SAKAI, A.; LARCHER, W. **Frost survival of plants: responses and adaptation to freezing stress**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1987. ISBN 978-3-642-71745-1.

SALAZAR-GUTIÉRREZ, M. R. *et al.* Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages. **Scientia Horticulturae**, v. 172, p. 161–167, 2014. ISSN 03044238. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423814001964>. Acesso em: 10 nov. 2022.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. [S.l.]: Artmed Editora, 2017. ISBN 978-85-8271-367-9.

WELLING, A.; PALVA, E. T. Molecular control of cold acclimation in trees. **Physiologia Plantarum**, v. 127, n. 2, p. 167–181, 2006. ISSN 0031-9317, 1399-3054. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.2006.00672.x>. Acesso em: 10 nov. 2022.

YAACOUBI, A. *et al.* Differentiated dynamics of bud dormancy and growth in temperate fruit trees relating to bud phenology adaptation, the case of apple and almond trees. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 11, p. 1695–1710, 2016. ISSN 1432-1254. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1160-9>. Acesso em: 10 nov. 2021.

YU, D. J. *et al.* Changes in cold hardiness and carbohydrate content in peach ( *Prunus persica* ) trunk bark and wood tissues during cold acclimation and deacclimation. **Scientia Horticulturae**, v. 219, p. 45–52, 2017. ISSN 03044238. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030442381730136X>. Acesso em: 10 nov. 2022.

ZHANG, M. I. N.; WILLISON, J. H. M. An improved conductivity method for the measurement of frost hardiness. **Canadian Journal of Botany**, v. 65, n. 4, p. 710–715, 1987. ISSN 0008-4026. Disponível em: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/b87-095>. Acesso em: 10 nov. 2021.