

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS  
CAMPUS DE DRACENA**

**Thamires Mansur Duarte**

Graduanda em Engenharia Agrônoma

**EFEITO DE HERBICIDAS NO CRESCIMENTO,  
PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS DE QUALIDADE NA  
CULTURA DA BATATA-DOCE**

Dracena

2024

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS  
CAMPUS DE DRACENA**

**THAMIRES MANSUR DUARTE**

Graduanda em Engenharia Agrônoma

**EFEITO DE HERBICIDAS NO CRESCIMENTO,  
PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS DE QUALIDADE NA  
CULTURA DA BATATA-DOCE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias  
e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Tropaldi

Co-orientador: Prof. Dr. Rafael Simões Tomaz

Dracena

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS  
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Efeito de herbicidas no crescimento, produtividade e atributos de qualidade na cultura da batata-doce

Modalidade: Trabalho de atividade pesquisa

Autor: Thamires Mansur Duarte

Orientador (a): Leandro Tropaldi

Co-orientador(es): Rafael Simões Tomaz

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 07/06/2024



Dr. Leandro Tropaldi



Dr. Renan Souza Silva



Dra. Ana Karollyna Alves de  
Matos

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

Thamires Mansur Duarte, nascida no dia 30 de junho de 2001 no município de Lucélia – SP, ingressou na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT – Campus de Dracena da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”) em 2020. Por meio de processo seletivo, participou da Empresa Júnior GERUD, inicialmente em outubro de 2020 como estagiária, mas eleita um ano depois como Diretora de Marketing. Iniciou participação ativa no Grupo de Pesquisa em Matologia (GPM), no qual foi bolsista de Iniciação à Extensão Universitária nos anos de 2021 e 2022, com projeto vinculado à atendimento e assistências. Posteriormente, foi contemplada com bolsa de Iniciação Científica FAPESP em novembro de 2022 com projeto intitulado “Efeito de herbicidas no crescimento, produtividade e atributos de qualidade na cultura da batata-doce”. Fez parte da equipe ganhadora do “1º Rally de Ideias” do Celeiro de Ideias da Unesp de Dracena, ganhando o maior prêmio ao solucionar uma problemática da Prefeitura do Município. Participou da Comissão Organizadora da “VI Expedição da Engenharia Agrônômica”, que proporcionou visitas em empresas e fazendas nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Recebeu menção honrosa pelo 2º melhor trabalho apresentado na 1ª fase do “XXXV Congresso de Iniciação Científica da Unesp – CIC 2023” em Dracena – SP, sendo classificada para a 2ª fase do evento, o qual foi realizada em Atibaia – SP. Além disso, durante a graduação, contribuiu no Grupo de Experimentação em Cana-de-açúcar, com avaliações biométricas em campo e análises morfofisiológicas em laboratório.

## DEDICATÓRIA

Para aqueles que me amparam em seus braços, mesmo quando estão cansados. Para aqueles que deixaram de realizar seus sonhos para que eu pudesse sonhar os meus.

*- Para minha mãe, Jucileide, e meu pai,  
Márcio. Vocês são meu alicerce.*

## AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão aos meus exemplos de vida, meu pai Márcio José Duarte e minha mãe Jucileide Mansur de Almeida, por me ensinarem o verdadeiro significado de amor incondicional e por terem me dado asas para voar em busca de minhas conquistas, apoiando-me desde sempre em meus estudos e se orgulhando de mim até nas mais pequenas vitórias do cotidiano. Espero que um dia eu possa retribuí-los pelo o que fizeram e fazem por mim, mas sei que nem se eu vivesse por milhões de anos, eu jamais conseguiria corresponder à altura, porque é impossível mensurar tamanha afeição e lutas diárias para dar o melhor para mim e aos meus dois irmãos.

À minha primeira amiga, minha irmã mais velha, Thayná Mansur Duarte, que dormia de mãos dadas comigo quando eu sentia medo na infância e hoje me defende com unhas e dentes quando eu não consigo fazer isso sozinha. Ao meu irmão mais novo, Otávio Gabriel Mansur Duarte, que cresceu muito rápido e agora já é um homem carinhoso, mas que nunca deixará de ser uma criança brilhante, inteligente e curiosa para mim.

Aos meus avós paternos, Jair Duarte e Corina Duarte, que são meus guardiões. Eu só tenho a agradecer a Deus por me permitir tê-los em minha vida, tão joviais e com sede de viver. Eu só tenho a pedir a Deus para protegê-los, como os dois fazem comigo e com todos os seus netos. Eu sei que seria muito ganancioso de minha parte implorar para os anjos darem a vida eterna a eles, então só suplico para que os seus dias sejam confortáveis até o último segundo.

Aos meus tios que são pessoas muito importantes para mim e, em especial, à minha tia Andréia que se eu pedir “tia, venha aqui, eu preciso de você”, ela sai de onde for para me ajudar. Aos meus primos. É impossível não me lembrar dos velhos tempos e eles não estarem presentes. Todas as brincadeiras, todas as risadas, todas as vezes que aprontávamos juntos.

Às meninas da República Ohana, que são minha segunda família. Obrigada por terem me ensinado que nós mulheres somos capazes de tudo e que foi o mundo que nos disse o contrário. Eu fico muito feliz por ter conhecido mulheres tão fortes que me mostraram quão importante é se expressar e ser você mesma.

A todos os amigos da minha sala e pessoas mais do que especiais que a Unesp de Dracena me permitiu conhecer, a citar: João Pedro de Aguiar Mazeto, Elis

Maria do Nascimento, Gabrielle Santinoni, João Cordeiro Malenowtch, Franco Fabrino, Silas Eduardo e outros.

Aos grupos de estudo que me proporcionaram visão prática e agrônômica. Se eu tinha alguma dúvida em relação a profissão que eu escolhi, os grupos que eu participei durante a faculdade as removeram. Meu mais sincero agradecimento ao Grupo de Pesquisa em Matologia (GPM) e ao Grupo de Experimentação em Cana-de-açúcar (GECANA).

À minha inspiração na carreira, meu orientador Prof. Dr. Leandro Tropaldi. Um profissional ético e cordial, que manifesta paixão em seus olhos quando leciona e transparece seus conhecimentos aos seus alunos. Obrigada por ter enxergado potencial em mim e me introduzir no universo científico da matologia. - *Você nasceu para ensinar!* Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Rafael Simões Tomaz, que foi peça fundamental para meu aprendizado estatístico e o desenvolvimento da avaliação de fenotipagem, o qual não sairia do papel sem o seu suporte. Ao Prof. Dr. Paulo Alexandre de Monteiro Figueiredo por ter contado muitas histórias durante as avaliações de trocas gasosas para o tempo passar mais rápido e por ter transmitido seu conhecimento fisiológico.

À Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Processo 22/09885-4), por ter financiado o projeto que resultou nesse trabalho. Ao CERAT (Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Unesp de Botucatu) e técnico Elder Mattos por ter auxiliado na condução do experimento.

Aos professores mais do que preparados que são de extrema importância para a minha formação como engenheira agrônoma. Aos colaboradores e todos os funcionários da FCAT, que fazem tudo acontecer no dia a dia para manter o nosso campus em perfeitas condições.

À banca examinadora, por aceitar meu convite para contribuir com correções e sugestões em meu trabalho: Prof. Dr. Renan Souza Silva, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Karollyna Alves de Matos e, como suplente, Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, que foi meu lar durante cinco anos e me abriu portas que eu não conseguiria em outro local senão esse.

- *A todos que me apoiaram. Que Deus abençoe todos vocês! Muito obrigada!*

*NINGUÉM CRESCE SOZINHO!*

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.

O saber se aprende com mestres e livros.

A Sabedoria, com o corriqueiro, com a vida e com os humildes.

O que importa na vida não é o ponto de partida, mas a caminhada.

Caminhando e semeando, sempre se terá o que colher”

(Cora Coralina)

## RESUMO

Nos últimos anos, as áreas de cultivo comercial da cultura da batata-doce têm aumentado consideravelmente no Estado de São Paulo. Um dos principais desafios do sistema de produção da batata-doce é o manejo de plantas daninhas, devido as poucas ferramentas de manejo, o que dificulta o controle e aumenta os riscos de interferência. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes herbicidas à cultura da batata-doce, buscando compreender a influência destes nos parâmetros de crescimento, produtividade e qualidade das raízes, a fim de obter informações que possam ser úteis na identificação de herbicidas com potencial de uso para o manejo de plantas daninhas na cultura no futuro. Além disso, também foi avaliado se por meio da técnica de fenotipagem de alto rendimento é possível identificar se os herbicidas estudados provocam efeitos fitotóxicos na cultura e, se estes estão associados a redução dos parâmetros de crescimento, de produção e qualidade da cultura. A pesquisa foi desenvolvida em campo, na safra de verão 2022/2023 no município de Dracena/SP, em um Argissolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por nove herbicidas (flumioxazin, oxyfluorfen, metribuzin, clomazone, S-metolachlor, pendimethalin, linuron, atrazine+S-metolachlor, glyphosate), aplicados em pré-emergência das plantas daninhas e após o plantio das ramas das de batata-doce, além de uma testemunha (sem aplicação de herbicidas). Os efeitos dos tratamentos foram mensurados periodicamente por meio de avaliações de fitointoxicação visual, teores de clorofila, trocas gasosas, fenotipagem de alto rendimento, população final de plantas, produtividade e qualidade das raízes tuberosas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey (DMS) a 5% de probabilidade. Os tratamentos apresentaram diferenças na fitointoxicação da cultura, sendo que as injúrias foram diminuindo com o tempo. No entanto, glyphosate, oxyfluorfen e atrazine+S-metolachlor foram os tratamentos que mantiveram altos índices de fitointoxicação até aos 35 dias após aplicação (DAA), ao passo que para os demais tratamentos, a fitointoxicação foi reduzida a porcentagens inferiores a 10%. Os índices de clorofila apresentaram diferenças apenas na primeira avaliação (7 DAA), com os menores índices de clorofila total para glyphosate, mas que não se diferiram de oxyfluorfen, metribuzin, linuron e atrazine+S-metolachlor; nos períodos avaliados posteriormente não foram observadas diferenças significativas. Para as variáveis fisiológicas, os efeitos foram apenas nas avaliações iniciais para condutância estomática e taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, posteriormente não foi observado diferenças entre os tratamentos. Independente do herbicida utilizado, com exceção do glyphosate, não provocaram reduções de produtividade. Não foi observado efeito para nenhum dos parâmetros qualitativos das raízes de batata-doce em função dos tratamentos realizados. A rede neural artificial ajustada foi capaz de prever a população de plantas, a produtividade comercial e não comercial de batata-doce. Assim, conclui-se que as plantas de batata-doce podem ter a capacidade de se recuperar dos sintomas iniciais das injúrias provocadas por alguns herbicidas, os quais têm potencial de serem seletivos.

**Palavras-chave:** *Ipomoea batatas* (L.) Lam., seletividade de herbicidas, fitotoxicidade, fenotipagem de alto rendimento.

## ABSTRACT

In recent years, commercial sweet potato cultivation areas have increased considerably in the State of São Paulo. One of the main challenges in the sweet potato production system is weed management, as there are few management tools, which makes control difficult and increases the risk of interference. The objective to evaluate the effect of different herbicides on the sweet potato crop, seeking to understand their influence on growth parameters, productivity and root quality, in order to obtain information that could be useful in identifying herbicides with potential for use in weed management in the crop in the future. In addition, it was also assessed whether it is possible to identify whether the herbicides studied have phytotoxic effects on the crop through the high-throughput phenotyping technique, and whether these are associated with a reduction in the crop's growth, production and quality parameters. The research was conducted in the field during the 2022/2023 summer harvest in the municipality of Dracena/SP, on a typical dystrophic Red Argisol with a sandy texture. The experimental design was randomized blocks with four replications. The treatments consisted of nine herbicides (flumioxazin, oxyfluorfen, metribuzin, clomazone, S-metolachlor, pendimethalin, linuron, atrazine+S-metolachlor, glyphosate), applied pre-emergently to the weeds and after planting the sweet potato plants, as well as a control (no herbicide application). The effects of the treatments were measured periodically through visual assessments of phytointoxication, chlorophyll levels, gas exchange, high-yield phenotyping, final plant population, productivity and quality of tuberous roots. The data was submitted to analysis of variance and the means of the treatments were compared using the Tukey test (MSD) at 5% probability. The treatments showed differences in crop phytointoxication, with damage decreasing over time. However, glyphosate, oxyfluorfen and atrazine+S-metolachlor were the treatments that maintained high levels of phytointoxication up to 35 days after application (DAA), while for the remaining treatments phytointoxication was reduced to percentages of less than 10%. The chlorophyll indices showed differences only in the first evaluation (7 DAA), with the lowest total chlorophyll indices for glyphosate, but which did not differ from oxyfluorfen, metribuzin, linuron and atrazine+S-metolachlor; in the periods evaluated afterwards, no significant differences were observed. With regard to the physiological variables, the effects were only felt in the initial evaluations for stomatal conductance and net CO<sub>2</sub> assimilation rate, and there were no differences between the treatments afterwards. Regardless of the herbicide used, with the exception of glyphosate, there was no reduction in productivity. None of the qualitative parameters of the sweet potato roots were affected by the treatments. The adjusted artificial neural network was able to predict the plant population, commercial, and non-commercial productivity of sweet potatoes. Therefore, it is concluded that sweet potato plants may have the ability to recover from initial symptoms of injuries caused by certain herbicides, which have the potential to be selective.

**Keywords:** *Ipomoea batatas* (L.) Lam., herbicide selectivity, phytotoxicity, high-throughput phenotyping.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 13 |
| 2 OBJETIVOS.....  | 14 |
| 2.1 Objetivo Geral .....  | 14 |
| 2.1 Objetivos Específicos .....   | 14 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA.....  | 15 |
| 3.1 A cultura da batata-doce no Brasil .....                            | 15 |
| 3.2 Controle químico de plantas daninhas na cultura da batata-doce..... | 17 |
| 3.3. Mecanismo e modo de ação de herbicidas .....                       | 19 |
| 3.4 Seletividade de herbicidas em culturas .....                        | 24 |
| 3.5 Uso da fenotipagem de alto rendimento .....                         | 26 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 32 |
| 3.3 Caracterização da área experimental.....                            | 32 |
| 3.3 Delineamento experimental e tratamentos.....                        | 33 |
| 4.3 Instalação e condução do experimento.....                           | 33 |
| 4.4 Avaliações.....   | 39 |
| 4.5 Análise dos dados.....  | 44 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 45 |
| 5.1 Fitointoxicação da cultura.....                                     | 45 |
| 5.2 Índices de clorofila.....   | 46 |
| 5.3 Trocas gasosas.....   | 48 |
| 5.4 População final de plantas .....                                    | 52 |
| 5.5 Número de raízes comerciais, não comerciais e totais .....          | 53 |
| 5.6 Produtividade comercial, não comercial e total .....                | 53 |

|   |    |
|---|----|
| 5.7 Teor de MS, proteína, açúcares redutores, totais e amido nas raízes tuberosas ..... | 56 |
| 5.8 Fenotipagem de alto rendimento.....   | 56 |
| 6 CONCLUSÃO .....   | 64 |
| REFERÊNCIAS .....   | 65 |

## 1 INTRODUÇÃO

A batata-doce é a terceira hortaliça tuberosa mais importante no mundo (NEDUMCHEZHIAN *et al.*, 2012). Desempenhando um papel importante na melhoria da segurança e saúde alimentar. Tal fato, contribuiu para o aumento na sua demanda de seu consumo e, conseqüentemente, suas áreas de cultivo comercial estão expandindo no Brasil, alcançando 58,5 mil hectares com uma produção de 847,1 mil toneladas no ano de 2022 (IBGE, 2024). Apesar de ser considerada uma planta rústica, a produtividade e qualidade das raízes de batata-doce, que são a parte de maior valor econômico, podem ser significativamente afetadas pela interferência de plantas daninhas (SILVA *et al.*, 2008; MEYERS *et al.*, 2010). Em áreas maiores e com maior tecnificação do sistema de produção, geralmente são utilizados herbicidas devido à escassez de mão de obra e custo mais elevado do controle mecânico (Correa e Carvalho, 2021).

Atualmente, no Brasil, a batata-doce é considerada uma Cultura de Suporte Fitossanitário Insuficiente (CSFI), de acordo com a Instrução Normativa Conjunta Nº 1/2014, com apenas três moléculas herbicidas registradas, sendo duas seletivas à cultura (linuron e clethodim) e uma não seletiva (glyphosate), recomendada somente para o manejo antes do plantio das ramas (BRASIL, 2024). Portanto, logo após o plantio, o manejo químico tem sido realizado com uma aplicação de linuron e, entre 20 e 30 dias após o plantio, uma aplicação de clethodim para o controle das espécies de folha estreita (TROPALDI *et al.*, 2021).

Com o frequente relato dos produtores sobre as dificuldades para o controle das plantas daninhas em decorrência do escape de várias espécies e o aumento dos custos de produção em razão das operações adicionais de catação manual, estudos com herbicidas alternativos, visando a expansão das ferramentas para o controle químico da comunidade infestante de forma eficaz, econômica e segura na cultura da batata-doce, são necessários.

Com isso, a hipótese do trabalho é de que alguns herbicidas pré-emergentes podem ser seletivos à cultura da batata-doce, mesmo quando ocasionam fitotoxicidade após a aplicação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os efeitos de diferentes herbicidas na cultura da batata-doce, buscando compreender sua influência nos parâmetros de crescimento, produtividade e de qualidade das raízes, a fim de obter informações que possam ser úteis na identificação de herbicidas com potencial de uso para o manejo de plantas daninhas na cultura no futuro.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Avaliar se os herbicidas afetam os parâmetros de crescimento, produtividade e qualidade da cultura da batata-doce;
- Avaliar se por meio da técnica de fenotipagem de alto rendimento é possível identificar se os herbicidas provocam efeitos fitotóxicos e influenciam no crescimento da cultura da batata-doce.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A cultura da batata-doce no Brasil

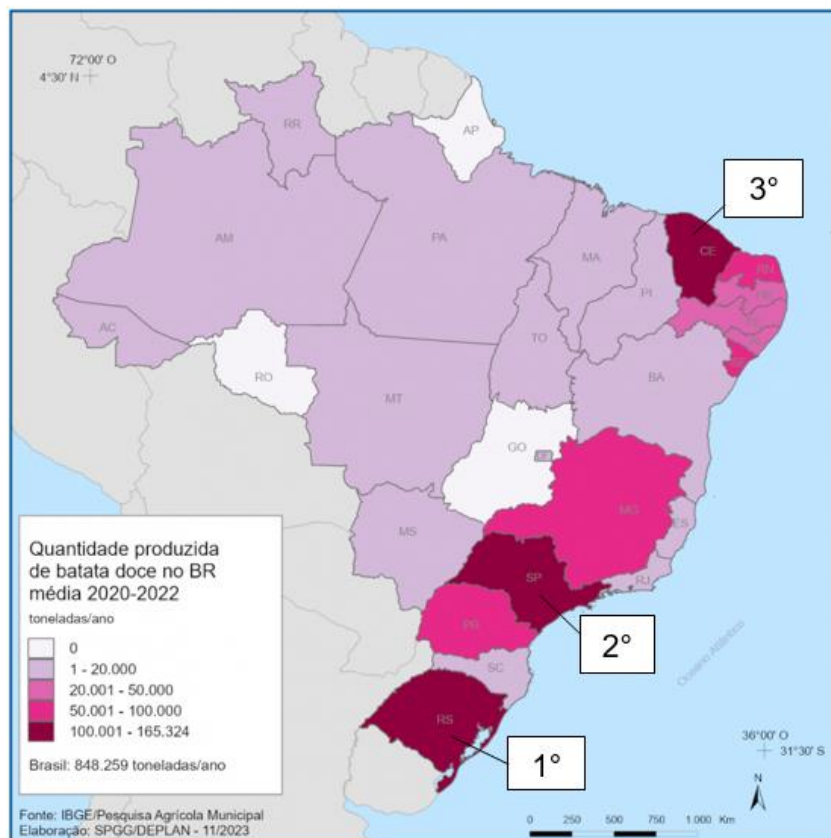
A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é uma planta da família da Convolvulaceae, nativa das Américas e considerada como a terceira cultura alimentar mais importante do mundo dentre as hortaliças tuberosas (NEDUMCHEZHIAN *et al.*, 2012). Suas raízes tuberosas são a parte de maior valor econômico, sendo altamente nutritivas, ricas em carboidratos, vitaminas e minerais, além de apresentarem propriedades nutraceuticas (JONES; BRAUW, 2015; SUÁREZ *et al.*, 2020). A demanda de consumo dessa hortaliça está aumentando em todo mundo, uma vez que a batata-doce está ganhando reconhecimento por desempenhar um importante papel na melhoria da segurança alimentar e saúde, sendo, portanto, incorporada à dieta para uma alimentação mais equilibrada, tanto por meio do consumo *in natura* como também de forma processada, por exemplo, em suplementos e farinhas (BURI, 2011; FETUGA *et al.*, 2013).

Embora a batata-doce seja cultivada em todas as regiões do país, atualmente as áreas de cultivo comercial vêm sendo consideravelmente expandidas em virtude do aumento da demanda. Na última década, a área cultivada de batata-doce aumentou 39,6%, saindo de 41,9 mil hectares em 2010 para 58,5 mil hectares em 2022, com produção de 847,1 mil toneladas e produtividade média de 14,4 toneladas por hectare (IBGE, 2024). Atualmente, as áreas de cultivo comercial estão se expandindo em algumas regiões, como é o caso do Estado de São Paulo que, na safra de 2022, cultivou cerca de 9,12 mil hectares, passando a ocupar a segunda posição no ranking nacional (IBGE, 2024) (Figura 1).

Tradicionalmente, a batata-doce sempre foi cultivada em pequenas áreas, por pequenos produtores e com o objetivo de autoconsumo, dessa forma empregando baixo nível tecnológico (SILVA, LOPES, MAGALHÃES, 2008). No entanto, nos últimos anos, essa cultura tem despertado o interesse de produtores, que impulsionados pelo aumento dos preços de comercialização passaram a cultivar áreas maiores, como está ocorrendo no Estado de São Paulo. Nesse caso, geralmente, o cultivo ocupa áreas de reforma de pastagem e cana-de-açúcar, além de empregar maiores níveis de tecnologia, como o uso de mecanização e insumos,

com foco para atender os grandes centros e o mercado internacional (TROPALDI *et al.*, 2021).

Figura 1 – Produção de batata-doce nos estados brasileiros e ranking nacional de área cultivada, em hectares



Fonte: IBGE. Elaborado por SPGG/DEPLAN (2023). Adaptado pela autora.

A batata-doce é uma cultura herbácea perene, no entanto tratada como cultura anual, tendo o ciclo relativamente curto de 4 a 5 meses, podendo ser cultivada o ano todo (WOOLFE, 2008). Apesar de ser considerada uma planta rústica, sua produtividade e qualidade das raízes podem ser significativamente afetadas pela interferência das plantas daninhas (SILVA *et al.*, 2008; MEYERS *et al.*, 2010), além de proporcionar maiores dificuldades quanto aos tratos culturais e/ou colheita. Reduções de produtividade de 14 a 99,7% já foram observadas dependendo do grau de interferência estabelecido entre a cultura da batata-doce e a comunidade infestante (La BONTE *et al.*, 1990; HARRISON; JACKSON, 2011; CAVALCANTE *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2018). Para o manejo de plantas daninhas, Correa e Carvalho (2021) destacam que, nas áreas maiores e com maior tecnificação do

sistema de produção da batata-doce, as plantas daninhas geralmente são controladas com herbicidas, devido à escassez de mão de obra e ao custo mais elevado do controle mecânico, como a capina manual.

### 3.2 Controle químico de plantas daninhas na cultura da batata-doce

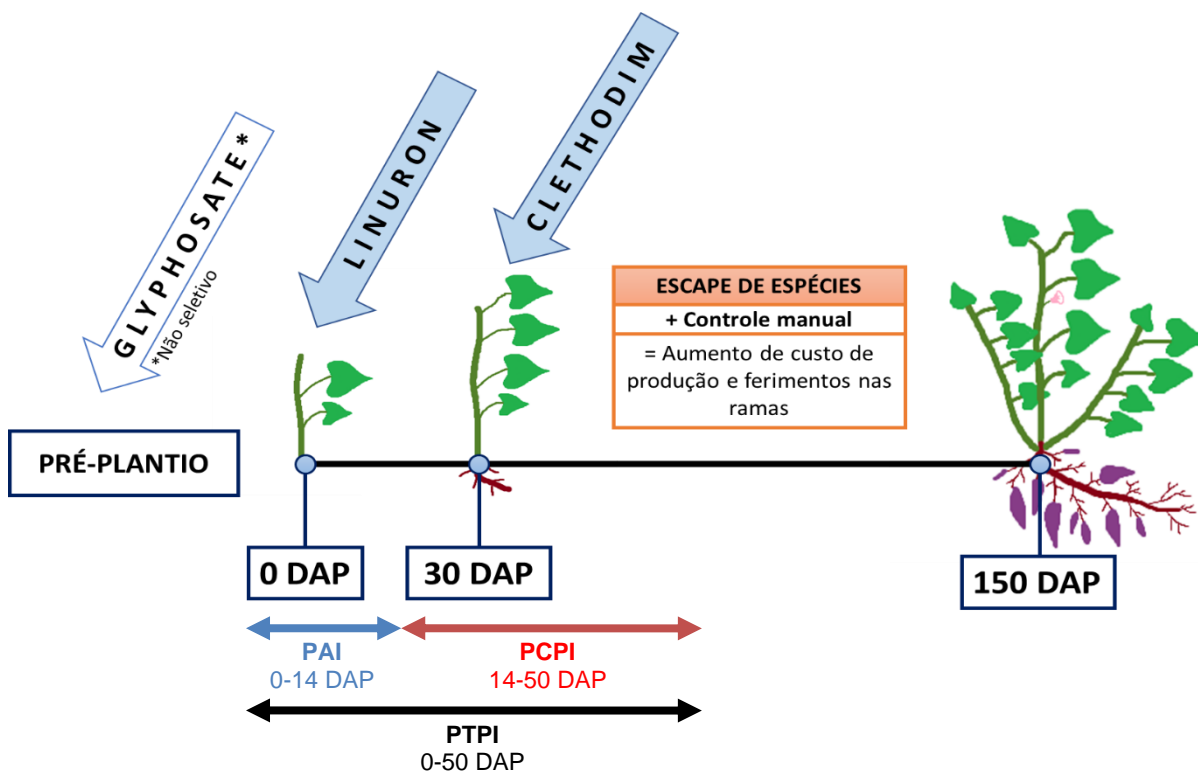
O controle químico de plantas daninhas se dá através do uso de herbicidas. Tais produtos podem ser aplicados sobre as plantas ou diretamente no solo. Sob o ponto de vista de Roman *et al.* (2005) e Carvalho (2013), os herbicidas podem ser classificados quanto:

- Ao espectro de ação (graminicida, latifolicida e amplo espectro);
- À seletividade (seletivo e não seletivo);
- À translocação (ação de contato e de ação sistêmica);
- À época de aplicação (pré-plantio, pré-plantio incorporado, pré-emergência e pós-emergência);
- Ao mecanismo de ação (Inibidores do fotossistema II – FSII; Inibidores da 1-deoxi-D-xilulose 5-fosfato sintase – DOXP sintase; Inibidores da protoporfirinogênio oxidase – PROTOX; etc.).

No Brasil, atualmente, a batata-doce é considerada uma cultura de suporte fitossanitário insuficiente (Instrução Normativa Conjunta N°1/2014). Existem apenas três princípios ativos de herbicidas registrados: dois seletivos à cultura, os quais são o linuron e o clethodim, e o glyphosate que é não seletivo e recomendado somente para o manejo antes do plantio das ramas de batata-doce (BRASIL, 2024).

Dentre as moléculas com seletividade, o linuron é recomendado para aplicações em pré e/ou pós-emergência de algumas espécies de plantas daninhas de folhas estreitas e largas, enquanto o clethodim controla somente espécies da família Poaceae em aplicações de pós-emergência (BRASIL, 2024). Portanto, o manejo químico tem sido realizado com uma aplicação de linuron logo após o plantio da batata-doce e uma aplicação de clethodim entre 20 e 30 dias após o plantio para o controle das espécies de folha estreita, conforme exemplificado na Figura 2 (TROPALDI *et al.*, 2021).

Figura 2 – Esquema do manejo químico adotado por produtores na cultura da batata-doce, com os períodos<sup>1</sup> anterior à interferência (PAI), total de prevenção à interferência (PTPI) e crítico de prevenção à interferência (PCPI)



Fonte: Adaptado de Tropaldi *et al.* (2021). <sup>1</sup>Cavalcante *et al* (2017). Elaborado pela autora (2024).

Contudo, é frequente o relato dos produtores sobre as dificuldades para o controle de plantas daninhas nas áreas de produção em decorrência ao escape de controle de várias espécies. Por isso, operações adicionais de catação manual, têm-se tornado comuns em muitas áreas, impactando fortemente os custos de produção, além de oferecer risco de ferimento das ramas e tubérculos da cultura. Sendo assim, estudos com herbicidas alternativos, visando futuramente a expansão das ferramentas para o manejo químico das plantas daninhas de forma eficaz, econômica e segura, são necessários.

Nesse sentido, trabalhos sobre o efeito de herbicidas pré-emergentes com ação residual em batata-doce têm sido realizados em vários países, buscando identificar alternativas para o manejo de plantas daninhas na cultura. Por exemplo, metribuzin (MOTSENBOCKER, MONACO, 1993; HARRISON Jr e DUKES, 1996; MEYERS, JENNINGS, MONKS, 2017), clomazone (POTER, 1993; HARRISON Jr;

JACKSON, 2011), flumioxazin (KELLY, SHANKLE, MILLER, 2006; MEYERS *et al.*, 2010), e S-metolachlor (MEYERS *et al.*, 2010; MEYERS, JENNINGS, MONKS, 2012; ABUKARI, SHANKLE, REDDY, 2015) já são utilizados nos cultivos de batata-doce nos Estados Unidos, embora que em sua grande maioria foi observado tolerância diferencial aos genótipos avaliados. Em condições brasileiras, os estudos sobre seletividade de herbicidas para a cultura da batata-doce ainda são escassos, limitando-se a poucos trabalhos que envolvem poucos herbicidas, genótipos e/ou sistemas de produção. Merece destaque o trabalho de Santos *et al.* (2018) que avaliaram o efeito de clomazone e, Correia e Carvalho (2021) que avaliaram clomazone, flumioxazin, linuron, metribuzin, oxdiazon e sulfentrazone em alguns clones e em dois cultivares brasileiros, respectivamente.

### **3.3. Mecanismo e modo de ação de herbicidas**

Uma das formas de classificar herbicidas é por meio do mecanismo de ação, o qual se refere à primeira lesão bioquímica ou biofísica causada por eles nas plantas. Todavia, normalmente é necessário um conjunto de eventos, com outras reações químicas, para que uma determinada planta morra ou tenha o seu crescimento paralisado – e esse somatório de eventos é denominado modo de ação (VIDAL, 1997; MARCHI, MARCHI, GUIMARÃES, 2008). Os herbicidas que possuem o mesmo mecanismo de ação, em geral, causam sintomas semelhantes, apresentam modelos parecidos de translocação e são aplicados da mesma forma (ROSS e CHILDS, 1996).

Dentre os mecanismos de ação, os princípios ativos presentes neste trabalho pertencem ao grupos dos inibidores da fotossíntese no FSII (metribuzin, linuron e atrazine), inibidores da PROTOX (flumioxazin e oxyfluorfen), inibidores da síntese de carotenoides na DOXP sintase (clomazone), inibidores da síntese de lipídeos (S-metolachlor e pendimethalin) e inibidores da 5-enolpiruvilshikimate-3-fosfato sintase sintase (glyphosate).

- Inibidores do FSII

Os herbicidas que atuam no FSII impedem a ligação entre os elétrons gerados no fotossistema e a plastoquinona, que é a proteína carreadora de elétrons. Uma vez que a cadeia de elétrons é interrompida, uma série de reações oxidativas são iniciadas dentro da célula vegetal, provocando a peroxidação de lipídeos da membrana plasmática (HESS, 2000; BREITENBACH *et al.*, 2001; ROMAN *et al.*, 2005; CARVALHO, 2013).

Segundo Rodrigues e Almeida (2011), o herbicida metribuzin é seletivo e sistêmico. No Brasil, é registrado principalmente para o controle de plantas daninhas eudicotiledôneas, em pré ou pós-emergência, nas culturas de café, cana-de-açúcar, soja, tomate, mandioca, trigo e aspargo (Rodrigues e Almeida, 2011). Pertencente ao grupo químico das triazinonas, o metribuzin é altamente solúvel em água ( $S = 1100 \text{ mg L}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ ), o que favorece a absorção via radicular. É uma base fraca com constante de dissociação eletrolítica ( $\text{pKa} = 1,3$  ( $25^\circ\text{C}$ )), e o coeficiente de partição octano/água ( $\text{Log Kow}$ ) em  $\text{pH } 7$  e  $20^\circ\text{C} = 1,7$ . A meia-vida ( $T_{1/2}$ ) do metribuzin, em solos, é de 14 a 28 dias (PPDB-UH, 2024a).

Enquanto o linuron pertence ao grupo químico das ureias e é um herbicida seletivo de ação sistêmica, sendo posicionado em pré ou pós-emergência e indicado, no Brasil, para o controle de algumas espécies infestantes de folhas largas ou estreitas nas culturas de alho, cebola, batata, cenoura, camomila, batata-salsa, batata yacon, gengibre, inhame, mandioca, coentro, salsa e batata-doce (ADAMA, 2024). De acordo com o Banco de Dados de Propriedades de Pesticidas disponibilizado pela Universidade de Hertfordshire (2024b), o linuron é moderadamente solúvel em água ( $S = 63,8 \text{ mg L}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ ), possui  $\text{pKa}$  a  $25^\circ\text{C} =$  não ionizável e  $\text{Log Kow}$  ( $20^\circ\text{C}$  e  $\text{pH } 7$ ) = 3,0 e potencial de persistência de 60 dias no solo.

Nesse trabalho, a molécula atrazine foi utilizada associada à outra com diferente modo de ação, no entanto, de maneira individual, pode-se citar sua grande importância entre os herbicidas inibidores do FSII, sendo amplamente utilizada. Pertencente ao grupo químico das triazinas, o herbicida atrazine é seletivo de ação sistêmica registrado para as culturas de cana-de-açúcar, milheto, milho, pastagens e

sorgo, como pré ou pós-emergente, para controle de espécies de folhas largas anuais, tendo também ação gramínicida moderada (NORTOX, 2024). O herbicida atrazine é pouco solúvel em água ( $S = 35 \text{ mg L}^{-1}$ , a  $20^\circ\text{C}$ ), sendo uma base fraca com  $\text{pKa}$  a  $25^\circ\text{C} = 1,7$ ,  $\text{Log Kow}$  ( $20^\circ\text{C}$  e  $\text{pH } 7$ ) =  $2,7$  e tempo médio de meia-vida no solo de 46 dias (PPDB-UH, 2024c).

- Inibidores da PROTOX

Os herbicidas que atuam na inibição da PROTOX, enzima presente nos cloroplastos das plantas e responsável pela oxidação do protoporfirinogênio para produzir precursor da clorofila e de agrupamentos necessários para a transferência de elétrons (protoporfirina IX), resultam na perda da clorofila e rompimento das membranas, extravasando protoporfirinogênio para o citoplasma, que é convertido em protoporfirina IX, causando a morte em decorrência do estresse oxidativo (VIDAL, 1997; HESS, 2000; MARKWELL *et al.*, 2006).

O flumioxazin é um herbicida seletivo, não-sistêmico para aplicação em pré e pós-emergência, destinado ao controle de plantas daninhas de folhas largas e algumas monocotiledôneas nas culturas de batata, café, cana-de-açúcar, cebola, eucalipto, pinus, feijão e soja (Agrolink, 2024). O flumioxazin possui baixa solubilidade em água ( $S = 0,786 \text{ mg L}^{-1}$ , a  $20^\circ\text{C}$ ), com  $\text{pKa}$  ( $25^\circ\text{C}$ ) = não ionizável e  $\text{Log Kow}$  ( $20^\circ\text{C}$  e  $\text{pH } 7$ ) =  $2,55$ , além disso apresenta baixo risco de lixiviação por não se dissociar em água e sua meia-vida no solo varia de 11,9 a 17,5 dias, classificado como não persistente (PPDB-UH, 2024d; Up Herb, 2024).

Quanto ao outro herbicida inibidor da PROTOX estudado, o oxyfluorfen é um herbicida seletivo de ação de contato, posicionado como pré ou pós-emergente para o controle de plantas infestantes de folhas largas e estreitas nas culturas de algodão, arroz irrigado, café, cana-de-açúcar, citros, pinus, eucalipto, cebola e repolho (WeedOut, 2023a). Em relação às suas características físico-químicas, o oxyfluorfen é pouco solúvel em água ( $0,116 \text{ mg L}^{-1}$ , a  $20^\circ\text{C}$ ), possui  $\text{pKa}$  ( $25^\circ\text{C}$ ) = não ionizável e  $\text{Log Kow}$  ( $\text{pH } 7$ ,  $20^\circ\text{C}$ ) =  $4,86$ . Além disso, é moderadamente persistente, com meia-vida média no solo de 35 dias. Graças à sua baixa solubilidade e também à elevada adsorção ( $K_{oc} = 100.000 \text{ mL g}^{-1}$ ), o oxyfluorfen é imóvel na maioria dos solos. Ademais, é prontamente absorvido pela parte aérea

(folhas), não atuando sobre as raízes das plantas (VELINI *et al.*, 2000; ALISTER *et al.*, 2009; ALMEIDA e RODRIGUES, 2011; WeedOut, 2023a; PPDB-UH, 2024e).

- Inibição da biossíntese de carotenoides

Os herbicidas que atuam na inibição da biossíntese de carotenoides são subdivididos em grupos, sendo atuantes na enzima 4-HPPD ou não 4-HPPD, como é o caso do clomazone, pertencente ao grupo químico das isoxazolidinonas. Apesar do mecanismo de ação do clomazone ser amplamente questionado em relação ao seu sítio de ação, sabe-se que o controle de plantas daninhas por esse herbicida ocorre por meio da inibição da enzima DOXP, enzima chave na via fosfato-metil-eritrol (MEP), responsável pela síntese de isoprenoides, plastídeos ligados a cloroplastos, incluindo pigmentos fotossintéticos (fitol da cadeia lateral da clorofila), carotenoides, transportadores de elétrons (plastoquinona), e outros (SCOTT *et al.*, 1994; TROPALDI, 2012; CARVALHO, 2013; TROPALDI *et al.*, 2018; DIAS, 2018; ANDRADE, 2020). Carotenoides são pigmentos que se localizam nos cloroplastos e, além de aumentarem o espectro de luz capturada, protegem as moléculas de clorofila durante a fotossíntese. Sem carotenoides, a clorofila é degradada e, por consequência, não há pigmentação verde nos tecidos da planta, caracterizando o sintoma típico de albinismo de herbicidas que pertencem a esse mecanismo de ação (ROSS e CHILDS, 1996). O clomazone é um herbicida pré e pós-emergente, de ação sistêmica, não-ionizável, altamente solúvel em água ( $S = 1.212 \text{ mg L}^{-1}$ , a  $20^\circ\text{C}$ ), predisposto à volatilização devido valor relativamente alto de pressão de vapor ( $PV = 27 \text{ mPa}$ , a  $20^\circ\text{C}$ ), indicado para o controle de várias gramíneas e algumas plantas daninhas de folhas largas nas culturas de mandioca, soja, algodão, batata e cana-de-açúcar, com meia-vida média de 19 dias em condições de solo (FMC, 2023; PPDB-UH, 2024f).

- Inibição da biossíntese de lipídeos

Os herbicidas que atuam na divisão celular (não-enzimáticos) são divididos em dois grupos: a) inibidores do arranjo de microtúbulos (pendimethalin) e b) inibidores da biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (S-metolachlor).

O herbicida pendimethalin age inibindo a formação das fibras dos microtúbulos, impedindo a movimentação dos cromossomos e interrompendo a

divisão celular na prófase do processo da mitose ao ligar-se no microtúbulo no lugar de sua principal proteína constituinte, a tubulina. Dessa maneira, a plântula morre, em muitos casos, até mesmo antes de emergir, pois há interrupção de divisão celular nos órgãos e partes das plantas em pleno crescimento, como os tecidos meristemáticos (ROMAN *et al.*, 2007; CARVALHO, 2013). Um dos representantes do grupo químico das dinitroanilinas no Brasil, o herbicida pendimethalin é seletivo, de contato e aplicado em pré-emergência para o controle de mono e eudicotiledôneas nas culturas de algodão, alho, amendoim, arroz, batata, café, cana-de-açúcar, cebola, citros, eucalipto, feijão, fumo, maçã e pinus. Além disso, o pendimethalin é pouco solúvel em água ( $0,275 \text{ mg L}^{-1}$ , a  $25^\circ\text{C}$ ), considerado não-ionizável, possui  $\text{Log Kow} = 5,4$  ( $20^\circ\text{C}$ , pH 7), além de ser moderadamente persistente com meia-vida média em condições de campo de 44 dias, sendo absorvido pelas raízes e coleótilos (WeedOut, 2023b; PPDB-UH, 2024g).

Enquanto o herbicida S-metolachlor, do grupo químico da cloroacetamidas, atua na divisão celular por causa da inibição na síntese de ácidos nucleicos e proteínas, entretanto o mecanismo bioquímico primário ainda não é exato. Sabe-se que as cloroacetamidas, como S-metolachlor, afetam a síntese de lipídios, ácidos graxos, ceras da camada cuticular das folhas, flavonoides e proteínas (ROMAN *et al.*, 2007; CARVALHO, 2013). Ainda segundo Roman *et al.* (2007) e Carvalho (2013), o mecanismo de ação do S-metolachlor já foi muito estudado e a proposta mais aceita diz que esse herbicida possa degradar a aminoacil tRNA sintetase, enzima de múltiplos domínios que faz a ligação entre os tRNAs e seus aminoácidos, definindo o código genético e mediando a síntese de proteínas. Logo com a presença desse herbicida, ocasiona-se a inibição da divisão celular e interferência hormonal, levando as plantas à morte. O herbicida S-metolachlor é seletivo, sistêmico, não-ionizável, utilizado principalmente para o controle pré-emergente de folhas estreitas, além de algumas eudicotiledôneas, nas culturas de soja, sorgo, milho, cana-de-açúcar, feijão, algodão, girassol, canola, mandioca e uva (WeedOut, 2023c). Possui média solubilidade em água ( $480 \text{ mg L}^{-1}$ , a  $20^\circ\text{C}$ ) e meia-vida média no solo de 17 dias (PPDB-UH, 2024h).

- Inibição da EPSP sintase

Os herbicidas que atuam na enzima EPSPs (5-enol-piruvil-shikimato-3-fosfato sintase) são representados pela herbicida glyphosate. A enzima EPSPs é responsável por uma das etapas de síntese dos aminoácidos aromáticos triptofano, fenilalanina e tirosina que, por sua vez, são precursores de outros compostos, como a lignina, além de serem requeridos na síntese de proteínas, vitaminas, hormônios vegetais, do pigmento antocianina e de outros metabólitos secundários (CHRISTOFFOLETI e LÓPEZ-OVEJERO, 2003; VELINI *et al.*, 2009; CARVALHO, 2013). Além disso, a enzima EPSPs ao ser inibida causa interferência no controle de entrada de carbono na via do chiquimato, causando dreno de carbono produzido na fotossíntese, acumulação de chiquimato e, conseqüentemente, reduzindo a eficiência fotossintética (GOMES, 2011). Dessa forma, desencadeando processos que causam alterações e paralização no crescimento e desenvolvimento da planta, resultando na morte (VELINI *et al.*, 2009).

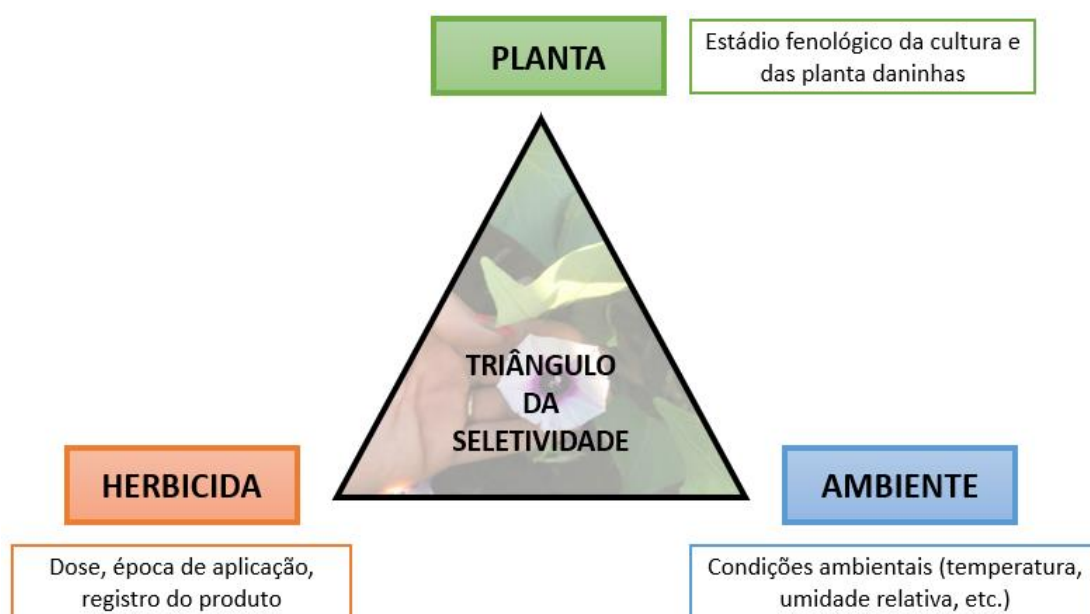
De acordo com Velini *et al.* (2009), uma característica marcante do glyphosate é a rápida translocação através da via simplasto (floema), das folhas da planta para as raízes, rizomas e meristemas apicais. Exceto as plantas geneticamente modificadas que possuem seletividade adquirida à molécula do glyphosate, todas as plantas são sensíveis em maior ou menor magnitude a esse herbicida, devido ao seu amplo espectro de ação (ARANTES, 2007; GODOY, 2007; GOMES, 2011; CARVALHO, 2013). Portanto, o glyphosate é um herbicida sistêmico, não seletivo e pós-emergente, também utilizado na dessecação pré-plantio (CHRISTOFFOLETI e LÓPEZ-OVEJERO, 2003; CARVALHO, 2013). Possui alta solubilidade em água, baixa volatilidade, meia-vida média no solo de aproximadamente uma semana e, além disso, o glyphosate é considerado um ácido fraco, tendo quatro valores de pKa – sendo dois com maior importância prática: 2,6 e 5,6 (COUTINHO e MAZO, 2005; ROMAN *et al.*, 2007; CARVALHO, 2013).

### **3.4 Seletividade de herbicidas em culturas**

A seletividade de herbicidas em culturas é avaliada com base em interações complexas entre culturas e plantas daninhas, seu ambiente e o herbicida utilizado

(REIS *et al.*, 2021) (Figura 3). Sob a perspectiva de Azania e Azania (2014), a definição de seletividade é a capacidade de um herbicida em matar ou retardar o crescimento de uma ou mais espécies de plantas infestantes, enquanto a cultura agrícola de interesse comercial não é prejudicada. É importante ressaltar que a seletividade é sempre relativa, pois depende do estágio de desenvolvimento das plantas, das condições climáticas, da textura do solo, da dose aplicada, do uso correto da tecnologia de aplicação e outros fatores (CARVALHO, 2013). Além disso, é importante levar em consideração a realidade do produtor em relação ao planejamento das aplicações, uma vez que pode ocorrer atraso de alguns dias. Esse atraso pode intensificar a intoxicação da cultura, bem como para algumas moléculas acarretar em um maior escape de controle.

Figura 3 – Triângulo da seletividade de herbicidas



Fonte: Adaptado de Reis *et al.* (2021) e Giraldeleli (2023). Elaborado pela autora (2024).

Os danos causados por herbicidas às plantas podem causar redução no vigor, crescimento, produtividade e qualidade de seus produtos de maior valor. Relatos de injúrias causadas por herbicidas em culturas são comuns e frequentemente relatados, incluindo na batata-doce (KELLY, SHANKLE, MILLER, 2006; MEYERS *et al.*, 2012; REIS *et al.*, 2021). Portanto, evidencia-se que a utilização de herbicidas não seletivos pode resultar em danos à cultura da batata-doce e promover dificuldades para o estabelecimento na área de plantio,

aumentando a problemática de plantas daninhas nos espaços deixados pelas plantas intoxicadas após o manejo com herbicida (FAGERNESS *et al.*, 2002).

Dias (2018) relata que a seletividade de herbicidas é a base para o sucesso do controle químico. Visto a necessidade de empregar novas ferramentas para o controle de folhas largas e estreitas na batata-doce, estudos utilizando herbicidas de diferentes mecanismos de ação, visando a rotação dos produtos, com resultados satisfatórios apresentam elevado potencial para uso no manejo integrado de plantas daninhas nessa cultura de ascendente importância econômica no estado de São Paulo.

### **3.5 Uso da fenotipagem de alto rendimento**

A lesão provocada por herbicida é normalmente avaliada por inspeção visual (SBCPD, 1995), que depende da experiência humana e é demorada, trabalhosa e, até certo ponto, subjetiva. Por isso, na pesquisa com herbicidas, o uso de ferramentas modernas, como a fenotipagem de alto rendimento, uso de sensores ópticos de imagem, como o RGB, e análise automatizada de imagens capturadas por drones têm sido utilizadas para a avaliação de danos às culturas por herbicidas (BELL, *et al.*, 2000; THELEN, KRAVCHENKO, LEE, 2004; DIAS, 2018; DUDDU *et al.*, 2019).

Existem trabalhos disponíveis na literatura que trazem a implantação de diferentes tipos de protocolos de fenotipagem, sendo na maioria dos casos, voltados para o melhoramento das culturas, utilizando índices espectrais de vegetação e inteligência artificial como métodos para avaliar características e situações que influenciam o desempenho de plantas, sendo comum a utilização desses protocolos na avaliação e/ou previsão de produtividade, ataque de pragas e deficiência nutricional, como visto nos trabalhos de Simões (2022) e Ribeiro (2023), nas culturas da cana-de-açúcar e soja, respectivamente.

Na cultura da batata-doce, os registros de estudos com uso da fenotipagem de alto rendimento por análise de imagens, em diversos países, estão relacionados com aspectos de qualidade, nutrição e produtividade das raízes (ANASTÁCIO e

SILVA, 2016; KADIRI e GBADAMOSI, 2019; TANG *et al.*, 2023; RAMÍREZ *et al.*; 2023), com a caracterização e melhoramento de genótipos (PLACIDE *et al.*, 2015; PINTO, 2021; FERNANDES, 2022) e também com processos como secagem no pós-colheita (ONWUDE *et al.*, 2018; KIM e SHIN, 2023; SOVLJANSKI *et al.*, 2024). Na modalidade brasileira, não há trabalhos que avaliam injúrias causadas por herbicidas com o uso da fenotipagem de alto rendimento na batata-doce, evidenciando a necessidade de popularizar mais pesquisas com essa tecnologia, aplicada às diversas variáveis estudadas na ciência das plantas daninhas e métodos de controle, principalmente em culturas com o suporte fitossanitário insuficiente que desempenham importante papel social e econômico em diferentes regiões do país, tendo em vista quão imprescindível é empregar inovações na agricultura para prosperar resultados positivos na produtividade dessas culturas de forma prática e sustentável.

A fenotipagem de plantas refere-se à descrição quantitativa das propriedades anatômicas, genéticas, fisiológicas e bioquímica do vegetal (WALTER, LIEBISCH, HUND, 2015). Para essa tarefa, a análise de imagens é uma ferramenta de grande utilidade, por permitir a medição e contagem com maior proveito, rapidez e baixa necessidade de mão de obra (GEBREMEDHIN *et al.*, 2019). Ao contrário das medidas manuais que podem necessitar de execução durante um espaço de tempo pré-definido, fenótipos gerados pela associação de imagens com programas de computador podem ser consultados de acordo com a conveniência do pesquisador, ao longo dos anos (FERNANDES, 2022). A fenotipagem de alto rendimento é uma área da biologia que tem como objetivo a caracterização e mensuração das características físicas e bioquímicas de um indivíduo, através do uso de imagens que permitem a extração de índices que possibilitam essa caracterização de forma precisa e a baixos custos (FRITSCHÉ-NETO, BORÉM, 2015; GEBREMEDHIN *et al.*, 2019).

Uma imagem é composta por pixels, que representam o menor ponto que compõe uma imagem digital (BARBOSA *et al.*, 2016). Essas imagens podem ter espectro bidimensional, ou seja, em níveis de cinza, ou tridimensionais, contendo as três cores primárias, vermelho, verde e azul (RGB, do inglês, *Red Green Blue*), em que a interpolação dessas cores representa a cor do pixel (BARBOSA *et al.*, 2016).

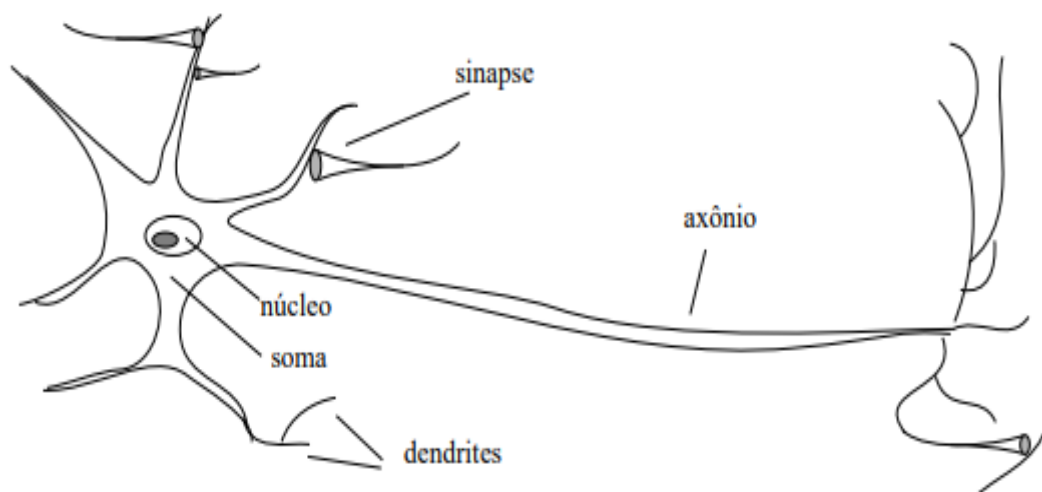
Entre as principais ferramentas dentro da análise de imagens digitais utilizadas para mensurar caracteres morfológicos e fisiológicos de plantas, destacam-se as câmeras RGB (GOLZARIAN *et al.*, 2011). Rasmussen *et al.* (2013) avaliaram sintomas em plantas daninhas após aplicação de herbicidas em área de pousio usando uma câmera RGB, por meio da estimação do índice da cor verde. Para testar o efeito de diferentes herbicidas na canola e cevada, Streibig *et al.* (2014) utilizaram a detecção por sensores das três cores primárias nas variáveis do dossel dessas culturas.

Para a extração de informações, as imagens aéreas de alta resolução, capturadas por drones, conhecidas como ortofotos, devem ser submetidas a algumas etapas de pré-processamento para corrigir possíveis distorções, como deslocamento e inclinação, a fim de construir um ortomosaico em softwares de processamento com a união das ortofotos (Volotão, 2004; Altamap, 2021). Sendo assim, um ortomosaico é uma representação fotográfica de uma área da superfície terrestre na qual todos os seus elementos são iguais em escala, livre de erros e deformações, com a mesma validade de um plano cartográfico (OrtoPixel, 2021).

Dentro da fenotipagem de alto rendimento e análise de imagens multiespectrais, aplica-se a inteligência artificial por meio do gerenciamento dos dados de uma cultura, de acordo com a visão computacional, aprendizado de máquinas e reconhecimento de padrões, para auxiliar na predição de determinada variável estudada, como a produtividade. Um dos modelos computacionais de grande destaque são as redes neurais artificiais.

Redes neurais artificiais (ANN – *Artificial Neural Network*) simulam o funcionamento do sistema nervoso dos seres humanos (SILVA, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2015). Em concordância com Ramón e Cajál (1911), os neurônios são os constituintes estruturais do cérebro e seu papel se resume a conduzir impulsos sob determinadas condições de operações. O neurônio é uma célula que pode ser dividida em três partes principais: dendrites, corpo celular (conhecido como soma) e axônio (Figura 4).

Figura 4 – Representação do neurônio biológico



Fonte: Rauber (2014).

A saída da informação do soma é realizada por impulsos elétricos que se propagam através do axônio. No final do axônio existem inúmeras ramificações que distribuem a informação para outros neurônios vizinhos. A ligação com outros neurônios é realizada através de sinapses que estão conectadas a um dendrite do neurônio receptor. A sinapse dispara uma substância química quando for excitada pelo impulso do axônio. A substância se transmite entre sinapse e dendrite realizando a conexão entre dois neurônios vizinhos. Conforme as excitações (ou inibições) que células vizinhas transmitem para a célula em consideração ela processa a informação novamente e a transmite via seu axônio (SILVA, 2011; RAUBER, 2014; AZEVEDO *et al.*, 2015).

Uma vez que as redes neurais artificiais foram desenvolvidas a partir de modelos conhecidos do sistema nervoso e do próprio cérebro humano, os elementos computacionais, denominados de neurônios artificiais, são modelos simplificados não-lineares dos neurônios biológicos (SILVA, 2011). McCulloch e Pitts (1943) propuseram um modelo de neurônio artificial (Figura 5), sendo ainda o mais utilizado nas diversas arquiteturas de ANN, o qual posteriormente foi aprimorado por Rosenblatt (1958), que o nomeou de *perceptron*. Nos neurônios artificiais, aplicam-se funções matemáticas aos dados (função de ativação), gerando ao final uma única resposta de saída (SILVEIRA, 2014).

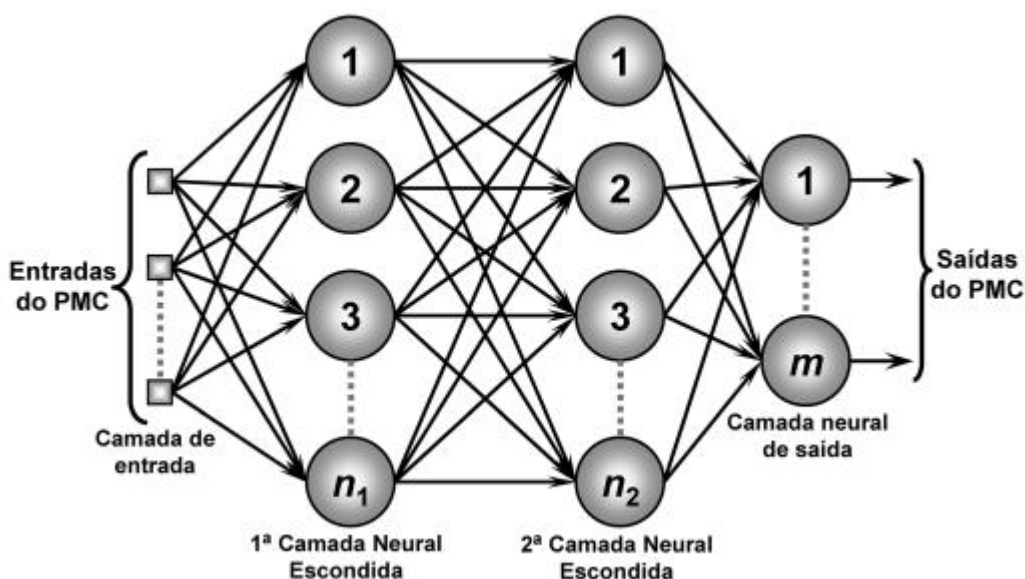
Uma ANN do tipo *perceptron* multicamadas é tipicamente composta de camadas alinhadas de neurônios, em que a primeira é formada pelas variáveis de entrada, que distribuí as informações às camadas intermediárias ou ocultas da rede. A última é chamada de camada de saída, na qual é obtida a solução do problema (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Um modelo de ANN do tipo *perceptron* está apresentado na Figura 6.

Figura 5 – Modelo de neurônio artificial



Fonte: Adaptado de Macculloch e Pitts (1943). Elaborado pela autora (2024).

Figura 6 – Modelo de Rede Neural Artificial do tipo *Perceptron* multicamadas (PMC)



Fonte: Silva (2010).

Empregando essa tecnologia no manejo de plantas daninhas, as informações obtidas pelo uso da rede neural artificial a respeito do dossel são importantes para verificar a fitotoxicidade dos herbicidas no campo, analisar o crescimento da cultura e, quando associadas aos parâmetros produtivos e de qualidade, é possível concluir sobre a seletividade das moléculas herbicidas, seu uso e adequado posicionamento.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi conduzido em condições de campo entre outubro de 2022 a abril de 2023, na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Unesp, no município de Dracena – SP.

### 4.1 Caracterização da área experimental

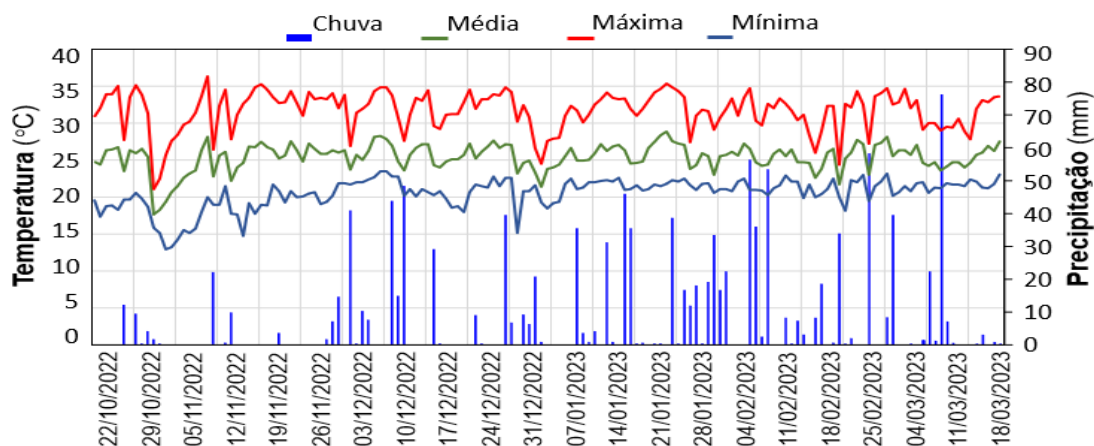
O experimento foi conduzido em área experimental situada nas coordenadas de latitude e longitude de 21° 27' 35,4" Sul e 51° 33' 10,7" Oeste de Greenwich, respectivamente, altitude média de 378 m localizada no município de Dracena – SP (Figura 7). O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa (EMBRAPA, 2013) e o clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, tropical com estação seca definida, com precipitação média anual de 1.132 mm e temperatura média anual de 23,9°. Os dados climáticos de precipitação pluvial e temperatura mínima, média e máxima durante a pesquisa foram obtidos na estação Meteorológica Campbell Scientific CR10X, instalada na FCAT (Unesp – Campus de Dracena), constando-se na Figura 8.

Figura 7 – Foto aérea proveniente do Google Earth da área experimental, em evidência, adjunta à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena – SP



Fonte: Google Earth (2022).

Figura 8 – Temperatura mínima, média e máxima (°C) e precipitação (mm) obtidos na estação Meteorológica Campbell Scientific CR10X instalada na FCAT (Unesp – Campus de Dracena) durante a condução do experimento - safra 2022/2023



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## 4.2 Instalação e condução do experimento

O solo da área experimental foi amostrado e analisado de acordo com a metodologia proposta por Raij *et al.* (2001) (Tabela 2). O preparo do solo foi realizado de forma convencional com gradagem pesada, aração e gradagem leve no início de outubro de 2022. O levantamento das leiras foi realizado de forma mecanizada, com um arado, deixando as leiras a um espaçamento de 1,2 m entre si (Foto 3 e 4, Figura 9). As parcelas foram constituídas por 3,6 m de largura, contendo três linhas de batata-doce, e 5 m de comprimento. Sendo a segunda linha da parcela considerada como área útil, com 4 m de comprimento, totalizando 5,2 m<sup>2</sup>.

Tabela 1 – Características físico-químicas do solo 0-20 cm da área que o experimento foi conduzido em 2022

| pH                            | M.O.<br>g dm <sup>-3</sup> | Presina<br>mg dm <sup>-3</sup> | Al <sup>3+</sup>                  | H+Al <sup>3+</sup> | K     | Ca | Mg | SB              | CTC | V% | S<br>mg dm <sup>-3</sup> |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------|----|----|-----------------|-----|----|--------------------------|
|                               |                            |                                | -----mmolc dm <sup>-3</sup> ----- |                    |       |    |    |                 |     |    |                          |
| 5,8                           | 12                         | 78                             | 0                                 | 12                 | 3,8   | 30 | 8  | 42              | 54  | 78 | 4                        |
| Areia total                   |                            |                                | Argila                            |                    | Silte |    |    | Textura do solo |     |    |                          |
| -----g Kg <sup>-1</sup> ----- |                            |                                |                                   |                    |       |    |    |                 |     |    |                          |
| 858                           |                            |                                | 87                                |                    | 55    |    |    | Arenosa         |     |    |                          |

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Foto 1 – Etapas do processo de escolha da área para condução do experimento, delimitação e preparo do solo



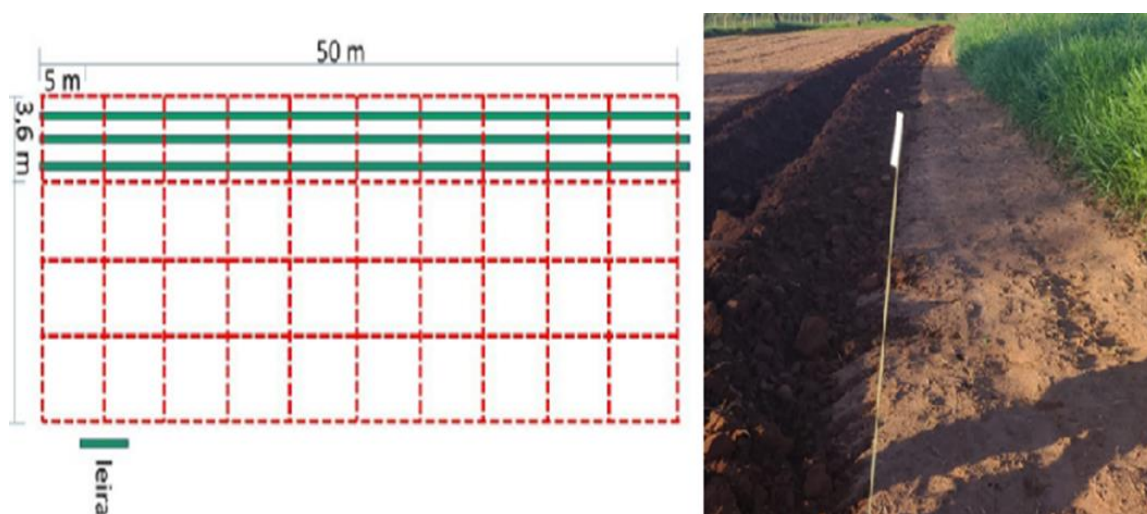
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Foto 2 – Levantamento das leiras para subseqüente plantio das ramas de batata-doce, com o uso de subsolador



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

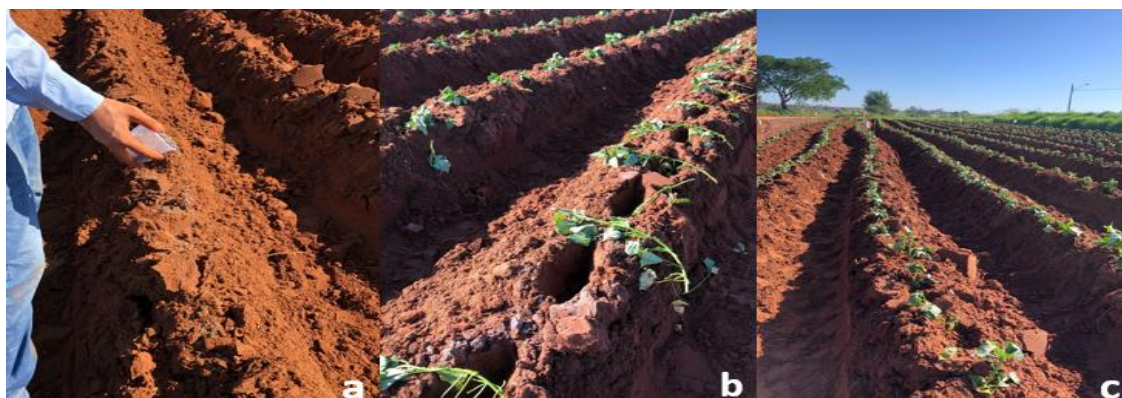
Figura 9 – Delimitação das parcelas dentro da área experimental com estaquia das hastes de identificação para referenciar os tratamentos



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A adubação de base foi realizada de acordo com a análise de solo e as recomendações de Lorenzi *et al.* (1997), utilizando-se o formulado 04-14-08 (NPK) e incorporando-o à leira. O plantio das ramas de batata-doce foi realizado nas leiras já fertilizadas no dia 30 de outubro de 2022. Para o plantio, foram utilizadas ramas de aproximadamente 30 cm de comprimento da cultivar Canadense. As ramas foram retiradas de matrizes jovens e foram plantadas uma rama por cova, com 10-12 cm de profundidade, no topo das leiras, utilizando-se o espaçamento de 30 cm entre plantas (Foto 5).

Foto 3 – a) Aplicação da adubação de base; b) distribuição das ramas de batata-doce nas leiras; c) ramas de batata-doce plantadas



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### 4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com 10 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por nove herbicidas aplicados em pré-emergência das plantas daninhas e após o plantio das ramas de batata-doce, além de uma testemunha sem aplicação de herbicidas. O nome do ingrediente ativo, do produto comercial, do mecanismo de ação e a dosagem de cada herbicida estudado estão na Tabela 1.

Para a escolha da dose a ser utilizada considerou-se a faixa (dose média) que o produto é recomendado para a maioria das culturas registradas e representativas para a batata-doce. O tratamento glyphosate foi incluído visando haver um tratamento que provocasse intensa fitointoxicação à cultura, para efeito de comparação. Todas as parcelas experimentais foram mantidas livre da presença das plantas daninhas durante todo o ciclo de cultivo.

Tabela 2 – Relação dos tratamentos aplicados na cultura da batata-doce

| Nº | Ingrediente ativo      | Produto comercial           | Mecanismo de ação       | Dose (g i.a. ha <sup>-1</sup> ) |
|----|------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1  | Flumioxazin            | Flumyzin 500 <sup>®</sup>   | Prottox                 | 25                              |
| 2  | Oxyfluorfen            | Goal BR <sup>®</sup>        | Prottox                 | 480                             |
| 3  | S-metolachlor          | Dual Gold <sup>®</sup>      | Divisão celular         | 1440                            |
| 4  | Clomazone              | Reator <sup>®</sup>         | Inibidor de carotenoide | 1080                            |
| 5  | Metribuzin             | Sencor 480 <sup>®</sup>     | Fotossistema II         | 480                             |
| 6  | Pendimethalin          | Herbadox <sup>®</sup>       | Divisão celular         | 1200                            |
| 7  | Linuron                | Afalon 450 SC <sup>®</sup>  | Fotossistema II         | 450                             |
| 8  | Atrazine+S-metolachlor | Primestra Gold <sup>®</sup> | FSII + Divisão celular  | 1295 + 1015                     |
| 9  | Glyphosate             | Roundup WG <sup>®</sup>     | EPSPs                   | 720 (g e.a. ha <sup>-1</sup> )  |
| 10 | Testemunha             | -                           | -                       | -                               |

i.a: ingrediente ativo. Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As aplicações dos herbicidas foram realizadas com pulverizador costal com pressão constante pressurizado por CO<sub>2</sub>, equipado com barra de aplicação contendo seis pontas de pulverização (XR 11002) espaçadas a 0,5 m e calibrado para uma taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> (Foto 6). A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 2 de novembro de 2022, três dias após o plantio das ramas (Foto 7). Na

ocasião a temperatura foi 25,6°C, a umidade relativa do ar de 61,9% e a velocidade do vento de 3,2 m s<sup>-1</sup>.

Foto 6 – Regulagem e calibração do pulverizador a ser utilizado para aplicação dos tratamentos na batata-doce



Elaborado pela autora (2022).

Foto 7 – Aplicação dos tratamentos e a deposição das gotas na fase abaxial da folha de batata doce



Elaborado pela autora (2022).

#### 4.4 Colheita

Por volta de 150 DAP, a colheita da batata-doce foi realizada, na leira central das parcelas. Anterior à colheita das raízes, colheu-se a parte aérea (ramas) para subsequente pesagem da massa fresca total. Em seguida, retirou-se uma amostra do material ainda úmido e fresco, acondicionou-a em sacos de papel kraft para aferir o seu peso também (Foto 8 e 9). Posteriormente, as amostras foram levadas até o Laboratório de Plantas Daninhas para secá-las em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante a fim de obter a massa seca da parte aérea. Em relação à colheita das raízes tuberosas, essa foi realizada de forma manual, com o auxílio de enxadas para removê-las do solo. Tal remoção ocorreu de forma cuidadosa para não ferir os tubérculos. No próximo tópico a respeito das avaliações realizadas será abordado sobre a metodologia utilizada para a pesagem, separação e classificação das raízes tuberosas em comercial ou não comercial.

Foto 8 – Colheita da parte aérea da batata-doce, pesagem e separação das amostras



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Foto 9 – Colheita das raízes tuberosas de batata-doce, aproximadamente 150 DAP



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

#### 4.5 Avaliações

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados por meio de nota visual de fitointoxicação, índice de clorofila, trocas gasosas, fenotipagem de alto rendimento, população final de plantas, produtividade e qualidade (teor de MS, proteína, açúcares redutores, totais e amido) das raízes tuberosas.

- Fitointoxicação da cultura

As injúrias visuais dos herbicidas nas plantas de batata-doce foram avaliadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação (DAA) dos herbicidas. Para isso, foi estabelecido uma escala percentual de notas, atribuídas por meio da comparação visual com a testemunha (sem aplicação de herbicidas), considerando-se zero (0) para ausência de injúrias (sintomas) e 100% para a morte de todas as plantas (SBCPD, 1995).

- Índices de clorofila

Os índices de clorofila *a*, clorofila *b* e total ( $Cl_a + Cl_b$ ) foram obtidos aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAA dos herbicidas utilizando-se o clorofilômetro ClorofiLOG CFL1030 (Falker) (Foto 8). As leituras foram realizadas na folha mais recente totalmente expandida de cinco plantas por parcelas, e sempre procurando evitar as nervuras do limbo foliar.

Foto 4 – Avaliação do índice de clorofila com o uso do clorofilômetro ClorofiLOG CFL 1030 (Falker), realizada aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação dos herbicidas



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

- Trocas gasosas

Foram realizadas aos 7, 21 e 35 DAA, realizando-se cinco mensurações na folha mais recente totalmente expandida de duas plantas por parcelas, e sempre procurando evitar as nervuras do limbo foliar. Foi utilizado um medidor de

fotossíntese, IRGA LCpro-T (ADC BioScientific Ldt, UK) equipado com compensadores de luz configurados para operar a  $1.300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-2}$  e com a concentração de  $\text{CO}_2$  ambiente (Foto 9).

Foram analisadas as seguintes variáveis: Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  (A) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ); Transpiração foliar (T) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ); Concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ); Temperatura interna da folha ( $T_{\text{leaf}}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ ) e Condutância estomática (GS) ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Com base nas variáveis já citadas foram determinados os valores de Eficiência instantânea de carboxilação ( $E_iC$ ) ( $A/C_i$ ), em  $[(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}]$  e Eficiência de uso da água (EUA) ( $A/T$ ), em  $[(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}]$ .

Foto 5 – Avaliação de trocas gasosas realizada com o medidor de fotossíntese IRGA LCpro-T aos 7, 21 e 35 dias após aplicação dos herbicidas



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

- População final de plantas

A população final de plantas foi determinada pela contagem do número de plantas presentes na linha central (4,0 m de comprimento) de cada parcela. Posteriormente, os valores foram convertidos para plantas por hectare.

- Número, peso médio e produtividade de raízes tuberosas

Na colheita, aos 150 DAP, foram coletadas todas as raízes tuberosas da linha central de quatro metros de comprimento (área útil) de cada parcela. Posteriormente, as raízes tuberosas foram classificadas e contadas. As raízes tuberosas lisas de formato alongado e uniforme e com peso entre 80 e 800 g foram classificadas como comercializáveis, enquanto que as raízes tuberosas deformadas e com tamanho maior que 800 g ou menor que 80 g foram contabilizadas como raízes não comercializáveis. Após classificadas, as raízes tuberosas foram pesadas para a obtenção das produtividades comercial e não comercial. A produtividade total foi obtida pelo somatório das produtividades comercial e não comercial (Adaptado de EMBRAPA, 1995; CEAGESP, 2018).

- Teor de MS, proteína, açúcares redutores, totais e amido nas raízes tuberosas

O teor de massa seca (MS) nas raízes tuberosas foi determinado no momento da colheita. Amostras de raízes tuberosas foram coletadas, pesadas (peso fresco), fatiadas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até o peso constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas e seus teores de MS foram calculados. Em seguida, as amostras secas foram moídas e o teor de proteína foi determinado pelo método Kjeldahl (920.87 da AOAC) (HORWITZ; LATIMER Jr., 2005), utilizando no cálculo o fator de 6,25 para conversão em proteína bruta. Os teores de amido, açúcares redutores e totais foram determinados nas amostras secas através da metodologia de Somogyi, adaptada por Nelson (1944), sendo as leituras realizadas em espectrofotômetro a 535 nm. Posteriormente, os teores de proteína, açúcares (totais e redutores) e amido foram convertidos para teores na matéria fresca.

- Fenotipagem de Alto Rendimento

A fenotipagem de alto rendimento foi realizada por meio da aquisição de imagens aéreas com um drone Mavic 2 Pro com sua câmera nativa 4K 60 fps, por meio do aplicativo DJI GSP – Ground Station Pro para iPad. Foram realizados seis

voos após o plantio das ramas da cultura, a uma altura de 25 metros. Para construção dos ortomosaicos, foram utilizadas em média 117 fotografias. A criação dos ortomosaicos foi realizada por meio do software OpenDroneMap. Por fim, selecionou-se o ortomosaico que apresentou melhor associação com os dados de produtividade da cultura. O ortomosaico para análise foi então processado por meio do pacote FieldImageR (MATIAS *et al.*, 2020) no software livre R, a partir do qual foram obtidas as estimativas, por parcela experimental, dos índices espectrais: BI, GLI, HI, NGRDI, SI, VARI e BGI (Tabela 3).

As imagens foram avaliadas visando realizar associação das imagens das parcelas amostrais com os dados obtidos a campo, como produtividade e densidade populacional da cultura de batata-doce. Para associação dos dados extraídos das imagens, foi ajustada uma Rede Neural Artificial (RNA ou ANN – *Artificial Neural Network*) do tipo *perceptron* multicamada. A respeito da arquitetura da rede, foram utilizadas como covariáveis de entradas, tais fatores: a aplicação dos tratamentos (herbicidas) e os blocos, as estimativas de média, mediana e desvio padrão dos pixels das camadas Vermelho, Verde e Azul (RGB) da imagem das parcelas experimentais extraídas do ortomosaico. À vista disso, as estimativas foram associadas a cada um dos índices espectrais citados (Tabela 3). Dessa forma, foram consideradas, à princípio, 25 informações como covariáveis na camada de entradas. Posteriormente, foram desconsideradas aquelas covariáveis que não apresentaram variação. Na entrada da rede, para cada covariável, os dados foram normalizados por meio da função  $f(X_i) = \frac{X_i - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)}$ , sendo  $X_i$  o valor real da determinada covariável de entrada, e  $f(X_i)$ , o valor normalizado de  $X_i$ .

Tabela 3 – Índices Espectrais avaliados por meio do FieldImageR

| Descrição                                  | Índice | Multiespectral                 |
|--|--------|--------------------------------|
| Índice de Brilho                           | BI     | $\text{Sqrt}((R^2+G^2+B^2)/3)$ |
| Índice de Verde na folha                   | GLI    | $(2*G-R-B)/(2*G+R+B)$          |
| Índice de Matriz de Cores primárias        | HI     | $(2*R-G-B)/(G-B)$              |
| Índice Normalizado Verde/Vermelho          | NGRDI  | $(G-R)/(G+R)$                  |
| Índice de Saturação da inclinação Spectral | SI     | $(R-B)/(R+B)$                  |
| Índice de Resistência Visível Atmosférica  | VARI   | $(G-R)/(G+R-B)$                |
| Índice de Pigmento Azul/Verde              | BGI    | $B/G$                          |

$R$  = Valor de reflectância no vermelho;  $G$  = valor de reflectância no verde;  $B$  = Valor de reflectância no azul.  
Fonte: Adaptado de Escadafal *et al.*, 1994. Elaborado pela autora (2024).

Foram utilizados 75% dos valores fenotípicos do experimento no processo de treinamento da ANN e os 25% restantes no processo de validação. A estimação dos pesos da ANN foi realizada em processo iterativo, considerando mil (1.000) repetições, sendo salva aquela que proporcionou melhores métricas, para o conjunto de treinamento e para o conjunto de teste.

A avaliação da eficácia da ANN foi realizada por meio de uma métrica de ajuste dos valores preditos e observados, a citar: coeficiente de determinação –  $R^2$ , cuja equação é dada por  $R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}$ . Todo procedimento foi ajustado por meio do software livre R, utilizando o pacote *neuralnet*.

#### **4.5 Análise dos dados**

Os dados foram submetidos à análise de variância quando as pressuposições foram satisfeitas. Os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste de comparação de médias de Tukey ao nível de significância de 5%. As análises foram realizadas por meio do software R (R Core Team, 2024) e pacotes específicos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Fitointoxicação da cultura

A fitointoxicação da cultura da batata-doce aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação (DAA) dos herbicidas estão apresentadas na Tabela 4. Diferenças significativas foram observadas entre os tratamentos nos diferentes períodos de avaliação que se estenderam até aos 35 DAA, sendo que os valores médios de fitointoxicação para a maioria dos tratamentos foram reduzindo com o avançar do desenvolvimento da cultura.

Tabela 4 – Fitointoxicação aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas na cultivar Canadense em função dos herbicidas estudados, pulverizados 3 dias após o plantio das ramas de batata-doce, e da testemunha<sup>1</sup>

| Tratamentos            | 7DAA                | 14DAA    | 21DAA    | 28DAA   | 35DAA   |
|------------------------|---------------------|----------|----------|---------|---------|
| Flumioxazin            | 5,00 a <sup>2</sup> | 8,75 bc  | 1,25 a   | 1,25 a  | 0,00 a  |
| Oxyfluorfen            | 42,50 b             | 52,50 ef | 43,75 c  | 42,50 d | 20,00 c |
| S-metolachlor          | 23,75 ab            | 11,25 bc | 6,25 ab  | 7,50 bc | 5,00 ab |
| Clomazone              | 11,25 a             | 2,50 ab  | 1,25 a   | 2,50 ab | 0,00 a  |
| Metribuzin             | 23,75 ab            | 21,25 cd | 12,50 b  | 11,25 c | 6,25 ab |
| Pendimethalin          | 26,25 ab            | 23,75 cd | 17,50 b  | 13,75 c | 8,75 bc |
| Linuron                | 25,00 ab            | 15,00 c  | 12,50 b  | 12,50 c | 6,25 ab |
| Atrazine+S-metolachlor | 26,25 ab            | 37,50 de | 55,00 cd | 74,50 d | 21,25 c |
| Glyphosate             | 40,00 b             | 72,50 f  | 75,00 d  | 87,50 e | 60,00 d |
| Testemunha             | 0,00 a              | 0,00 a   | 0,00 a   | 0,00 a  | 0,00 a  |
| C,V. (%)               | 27,21               | 20,12    | 18,55    | 14,90   | 25,95   |

<sup>1</sup> Testemunha sem aplicação de herbicida. <sup>2</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Os herbicidas que proporcionaram as menores fitointoxicação aos 7 DAA foram flumioxazin (5%), clomazone (11,25%), mas que não diferiram de S-metolachlor (23,75%), metribuzin (23,75%), pendimethalin (26,25%), linuron (25,00%) e atrazine+S-metolachlor (26,25%) (Tabela 4). A partir dos 14 DAA flumioxazin, S-metolachlor, clomazone, metribuzin, pendimethalin e linuron apresentaram reduções graduais até aos 35 DAA alcançando níveis de fitointoxicações inferiores a 10% (Tabela 4). Por outro lado, é importante ressaltar que a partir de 21 DAA apenas os tratamentos oxyfluorfen, atrazine+S-metolachlor e

glyphosate apresentaram fitointoxicações superiores a 40%. Por fim, aos 35 DAA novamente apenas os tratamentos oxyfluorfen, atrazine+S-metolachlor e glyphosate apresentaram as maiores fitointoxicação com 20, 21,25 e 60%, respectivamente (Tabela 4).

## 5.2 Índices de clorofila

Na Tabela 5 são apresentadas as médias dos índices de clorofila a (Cla), b (Clb) e total (Cla+Clb) aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAA.

Tabela 5 – Índice de clorofila a, clorofila b e total (Cla+Clb) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas na cultivar Canadense em função dos herbicidas estudados, pulverizados 3 dias após o plantio das ramas de batata-doce, e da testemunha<sup>1</sup> (*Continua*)

| Tratamentos            | 7DAA                 |                     |                    | 14 DAA              |                    |                    |
|------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|                        | Cla                  | Clb                 | Cla+Clb            | Cla                 | Clb                | Cla+Clb            |
| Flumioxazin            | 54,11 a <sup>2</sup> | 20,55 a             | 74,66 a            | 53,99               | 18,73              | 72,72              |
| Oxyfluorfen            | 40,36 ab             | 12,35 bcd           | 52,71 bc           | 51,06               | 21,26              | 72,32              |
| S-metolachlor          | 51,12 a              | 19,56 ab            | 70,68 ab           | 53,42               | 19,48              | 72,90              |
| Clomazone              | 50,99 a              | 19,31 ab            | 70,30 ab           | 50,61               | 16,79              | 67,41              |
| Metribuzin             | 40,63 ab             | 9,95 d              | 50,58 bc           | 47,91               | 15,96              | 63,87              |
| Pendimethalin          | 48,88 a              | 18,68 abc           | 67,57 ab           | 54,55               | 20,26              | 74,82              |
| Linuron                | 45,93 ab             | 15,28 abcd          | 61,21 abc          | 50,13               | 17,57              | 67,70              |
| Atrazine+S-metolachlor | 39,28 ab             | 11,49 cd            | 50,78 bc           | 53,02               | 18,73              | 71,76              |
| Glyphosate             | 33,98 b              | 9,05 d              | 43,03 c            | 46,00               | 15,74              | 61,74              |
| Testemunha             | 54,01 a              | 21,67 a             | 75,68 a            | 51,41               | 17,78              | 69,19              |
| Fcal                   | 5,24 <sup>**</sup>   | 10,19 <sup>**</sup> | 7,27 <sup>**</sup> | 1,82 <sup>ns</sup>  | 1,46 <sup>ns</sup> | 1,57 <sup>ns</sup> |
| C.V. (%)               | 13,29                | 18,81               | 14,02              | 7,86                | 16,37              | 9,75               |
| Tratamentos            | 21 DAA               |                     |                    | 28 DAA              |                    |                    |
|                        | Cla                  | Clb                 | Cla+Clb            | Cla                 | Clb                | Cla+Clb            |
| Flumioxazin            | 54,67                | 20,51               | 75,18              | 49,36               | 18,55 ab           | 67,92              |
| Oxyfluorfen            | 56,49                | 20,75               | 77,22              | 51,63               | 18,75 ab           | 70,38              |
| S-metolachlor          | 56,18                | 22,76               | 78,94              | 49,89               | 18,63 ab           | 98,52              |
| Clomazone              | 54,16                | 20,09               | 74,25              | 49,76               | 19,36 ab           | 69,13              |
| Metribuzin             | 55,56                | 20,60               | 76,16              | 45,61               | 17,37 ab           | 62,98              |
| Pendimethalin          | 55,79                | 21,40               | 77,19              | 49,48               | 18,67 ab           | 68,15              |
| Linuron                | 56,45                | 20,59               | 77,04              | 52,87               | 19,10 ab           | 71,97              |
| Atrazine+S-metolachlor | 53,51                | 18,64               | 72,15              | 45,95               | 14,90 ab           | 60,85              |
| Glyphosate             | 47,58                | 17,74               | 65,32              | 44,66               | 13,26 b            | 57,93              |
| Testemunha             | 57,12                | 23,26               | 80,38              | 47,58               | 21,13 b            | 68,72              |
| Fcal                   | 1,96 <sup>ns</sup>   | 1,76 <sup>ns</sup>  | 1,90 <sup>ns</sup> | 1,135 <sup>ns</sup> | 2,262 <sup>*</sup> | 1,45 <sup>ns</sup> |
| C.V. (%)               | 7,2                  | 12,08               | 8,12               | 10,3                | 16,91              | 11,21              |

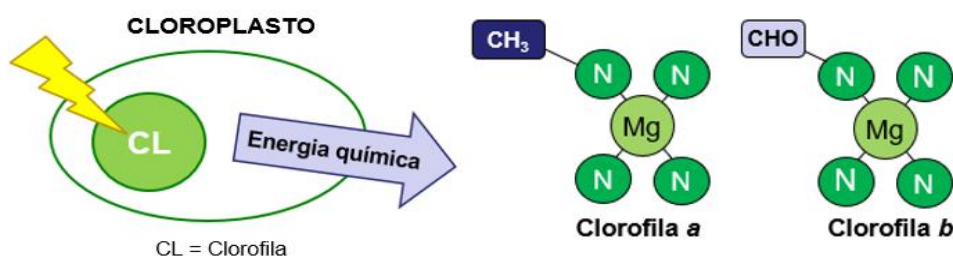
Tabela 5 – Índice de clorofila *a*, clorofila *b* e total (*Cl*<sub>a</sub>+*Cl*<sub>b</sub>) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas na cultivar Canadense em função dos herbicidas estudados, pulverizados 3 dias após o plantio das ramas de batata-doce, e da testemunha<sup>1</sup> (*Conclusão*)

| 35 DAA                 |                        |                        |   |
|------------------------|------------------------|------------------------|---|
| Tratamentos            | <i>Cl</i> <sub>a</sub> | <i>Cl</i> <sub>b</sub> | <i>Cl</i> <sub>a</sub> + <i>Cl</i> <sub>b</sub> |
| Flumioxazin            | 43,86                  | 11,26                  | 55,12   |
| Oxyfluorfen            | 45,25                  | 10,45                  | 55,70   |
| S-metolachlor          | 39,70                  | 8,92                   | 48,62   |
| Clomazone              | 42,02                  | 10,26                  | 52,29   |
| Metribuzin             | 39,76                  | 9,82                   | 49,59   |
| Pendimethalin          | 41,53                  | 10,54                  | 52,07   |
| Linuron                | 44,88                  | 11,09                  | 55,97   |
| Atrazine+S-metolachlor | 44,41                  | 10,92                  | 55,33   |
| Glyphosate             | 46,15                  | 11,63                  | 57,78   |
| Testemunha             | 41,78                  | 10,32                  | 52,10   |
| F <sub>cal</sub>       | 0,894 <sup>ns</sup>    | 0,819 <sup>ns</sup>    | 0,873 <sup>ns</sup>                             |
| C.V. (%)               | 11,27                  | 16,3                   | 11,92   |

<sup>1</sup> Testemunha sem aplicação de herbicida. <sup>2</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F. \*, \*\* Significativo aos níveis de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Existem duas formas predominantes de clorofilas, *a* e *b*, que diferem ligeiramente entre si em sua estrutura. A principal função da clorofila é converter energia luminosa em energia química, processo que ocorre nos cloroplastos (STREIT *et al.*, 2005). Compreender essas variáveis são importantes para entender melhor a seletividade de herbicidas e suas interações com o desenvolvimento das plantas (Figura 10).

Figura 10 – Função e formas da clorofila *a* e *b*



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Diferenças significativas foram observadas apenas aos 7 DAA entre os tratamentos para *Cl*<sub>a</sub>, *Cl*<sub>b</sub> e total. Desse modo, para clorofila *a*, o glyphosate foi o tratamento que mais reduziu o índice, mas não se diferenciou de oxyfluorfen,

metribuzin, linuron e atrazine+S-metolachlor. Para a clorofila *b* no mesmo período, o glyphosate e metribuzin foram os tratamentos que proporcionaram os menores índices, 9,05 e 9,95 respectivamente, não se diferenciando de oxyfluorfen, linuron e atrazine+S-metolachlor (Tabela 5). Por fim, para o índice de clorofila total, o tratamento glyphosate também foi o que provocou maiores reduções e que não se diferiram de oxyfluorfen, metribuzin, linuron e atrazine+S-metolachlor (Tabela 5). No entanto, não foram observadas diferenças significativas nos períodos avaliados posteriormente (14, 21, 28 e 35 DAA), exceto para a clorofila *b* aos 28 DAA (Tabela 5), demonstrando que, com o crescimento das ramas e por consequência da emissão de novas folhas, os índices de clorofila não foram afetados.

Os herbicidas podem provocar fitointoxicação das culturas por resultarem em injúrias que causam o retardamento do florescimento, aumento do ciclo da cultura e redução de produtividade (COBUCCI, 2008; OLIVEIRA JR *et al.*, 2011; LINHARES *et al.*, 2014; TAKANO *et al.*, 2015). No entanto, foi observado para a maioria dos tratamentos estudados (exceto glyphosate) que os sintomas visuais de injúrias foram reduzidos/ou reduziram após o desenvolvimento da cultura, enquanto que os teores de clorofilas normalizaram até a não significância na análise de variação, sendo os resultados de produtividade imprescindíveis para averiguar a seletividade dos herbicidas.

### 5.3 Trocas gasosas

Na Tabela 6 serão apresentadas as médias provenientes da avaliação de trocas gasosas, realizada com o uso do medidor de fotossíntese, IRGA LCpro-T (ADC BioScientific Ltd, UK). Aos 7 DAA, somente as variáveis fisiológicas de condutância estomática (GS) e taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) contiveram diferenças significativas observadas, em função dos herbicidas e da testemunha sem aplicação. Ao verificar a condutância estomática, nota-se que o valor do tratamento clomazone (0,845 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) foi maior que os demais herbicidas aplicados, sendo semelhante estatisticamente aos tratamentos flumioxazin, oxyfluorfen, S-metolachlor, metribuzin, pendimethalin, linuron e atrazine+S-metolachlor. Por outra via, o tratamento glyphosate resultou no menor valor (0,235 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>).

Tabela 6 – Temperatura interna da folha (*Tleaf*), Concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*); Transpiração foliar (*T*), Condutância estomática (*GS*), Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), Eficiência de uso da água (*EUA*) e Eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*), em função dos herbicidas estudados, pulverizados 3 dias após o plantio das ramas de batata-doce, e testemunha<sup>1</sup>

| Tratamentos            | 7 DAA              |                    |                    |                       |                    |                    |                    |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                        | <i>Tleaf</i>       | <i>Ci</i>          | <i>T</i>           | <i>GS</i>             | <i>A</i>           | <i>EUA</i>         | <i>EiC</i>         |
| Flumioxazin            | 36,3               | 277                | 4,95               | 0,568 ab <sup>2</sup> | 16,7 ab            | 3,6                | 0,0605             |
| Oxyfluorfen            | 36,8               | 294                | 4,93               | 0,340 ab              | 13,38 ab           | 2,41               | 0,05               |
| S-metolachlor          | 37,2               | 277                | 5,38               | 0,460 ab              | 17,23 ab           | 3,28               | 0,0639             |
| Clomazone              | 37,2               | 270                | 6,05               | 0,845 a               | 21,57 a            | 3,65               | 0,0797             |
| Metribuzin             | 37,1               | 270                | 5,28               | 0,591 ab              | 18,82 ab           | 3,54               | 0,0696             |
| Pendimethalin          | 37,5               | 255                | 4,96               | 0,441 ab              | 18,99 ab           | 3,67               | 0,0818             |
| Linuron                | 38,4               | 254                | 5,38               | 0,365 ab              | 17,24 ab           | 3,32               | 0,0682             |
| Atrazine+S-metolachlor | 38,4               | 299                | 5,28               | 0,411 ab              | 12,61 ab           | 2,27               | 0,0432             |
| Glyphosate             | 38,1               | 303                | 4,06               | 0,235 b               | 9,04 b             | 2,04               | 0,0307             |
| Testemunha             | 38,2               | 246                | 6,04               | 0,451 ab              | 20,50 ab           | 3,54               | 0,0836             |
| Fcal                   | 1,37 <sup>ns</sup> | 1,67 <sup>ns</sup> | 1,3 <sup>ns</sup>  | 1,86*                 | 2,51*              | 1,9 <sup>ns</sup>  | 2,28 <sup>ns</sup> |
| C.V. (%)               | 3,34               | 10,98              | 19,29              | 52,14                 | 29,43              | 29,41              | 36,53              |
| Tratamentos            | 21 DAA             |                    |                    |                       |                    |                    |                    |
|                        | <i>Tleaf</i>       | <i>Ci</i>          | <i>T</i>           | <i>GS</i>             | <i>A</i>           | <i>EUA</i>         | <i>EiC</i>         |
| Flumioxazin            | 37,5               | 202                | 5,02 ab            | 0,212 ab              | 17,67 a            | 4,27               | 0,0908             |
| Oxyfluorfen            | 38,5               | 207                | 5,30 ab            | 0,210 ab              | 15,74 ab           | 3,05               | 0,0904             |
| S-metolachlor          | 38,9               | 187                | 5,76 ab            | 0,217 ab              | 18,23 a            | 3,28               | 0,1006             |
| Clomazone              | 38,7               | 237                | 5,83 ab            | 0,230 ab              | 15,04 ab           | 2,56               | 0,0672             |
| Metribuzin             | 39                 | 223                | 6,27 a             | 0,234 ab              | 16,19 ab           | 2,57               | 0,0776             |
| Pendimethalin          | 39                 | 177                | 6,34 a             | 0,249 a               | 19,03 a            | 3,28               | 0,1689             |
| Linuron                | 39,5               | 212                | 6,57 a             | 0,247 a               | 17,60 a            | 2,69               | 0,0827             |
| Atrazine+S-metolachlor | 39,9               | 207                | 5,96 a             | 0,197 ab              | 15,22 ab           | 2,53               | 0,0813             |
| Glyphosate             | 39,3               | 251                | 3,63 b             | 0,114 b               | 7,72 b             | 1,87               | 0,0333             |
| Testemunha             | 40                 | 195                | 5,75 ab            | 0,181 ab              | 15,61 ab           | 2,73               | 0,0839             |
| Fcal                   | 1,78 <sup>ns</sup> | 1,07 <sup>ns</sup> | 3,31**             | 2,27*                 | 2,63*              | 2,21 <sup>ns</sup> | 1,15 <sup>ns</sup> |
| C.V. (%)               | 2,82               | 20,55              | 16,47              | 25,1                  | 24,6               | 29,79              | 71,84              |
| Tratamentos            | 35 DAA             |                    |                    |                       |                    |                    |                    |
|                        | <i>Tleaf</i>       | <i>Ci</i>          | <i>T</i>           | <i>GS</i>             | <i>A</i>           | <i>EUA</i>         | <i>EiC</i>         |
| Flumioxazin            | 35,8               | 315                | 4,61               | 0,36                  | 10,74              | 2,31 ab            | 0,0349             |
| Oxyfluorfen            | 35,6               | 315                | 4,07               | 0,289                 | 8,74               | 2,25 ab            | 0,0285             |
| S-metolachlor          | 35,9               | 339                | 4,1                | 0,311                 | 6,66               | 1,63 b             | 0,02               |
| Clomazone              | 36,3               | 286                | 4,12               | 0,323                 | 13,59              | 3,19 a             | 0,0494             |
| Metribuzin             | 37,2               | 296                | 3,86               | 0,28                  | 10,01              | 2,48 ab            | 0,0358             |
| Pendimethalin          | 37,1               | 278                | 4,13               | 0,305                 | 13                 | 3,14 a             | 0,047              |
| Linuron                | 37,5               | 282                | 4,03               | 0,257                 | 11,54              | 2,93 a             | 0,0412             |
| Atrazine+S-metolachlor | 37,3               | 266                | 4,08               | 0,265                 | 13,4               | 3,22 a             | 0,054              |
| Glyphosate             | 37,3               | 275                | 40,04              | 0,303                 | 12,7               | 3,13 a             | 0,0472             |
| Testemunha             | 37                 | 292                | 3,75               | 0,232                 | 9,29               | 2,71 ab            | 0,0341             |
| Fcal                   | 0,51 <sup>ns</sup> | 1,72 <sup>ns</sup> | 0,24 <sup>ns</sup> | 0,51 <sup>ns</sup>    | 0,97 <sup>ns</sup> | 1,9 <sup>ns</sup>  | 1,04 <sup>ns</sup> |
| C.V. (%)               | 5,43               | 11,63              | 22,18              | 34,99                 | 42,52              | 28,22              | 52,3               |

<sup>1</sup> Testemunha sem aplicação de herbicida. <sup>2</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F. \*, \*\* Significativo aos níveis de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

A condutância estomática é controlada majoritariamente pela abertura estomática. Assim, a condutância é proporcional ao número e tamanho dos estômatos e diâmetro de sua abertura, características que dependem de outros fatores endógenos e ambientais (CONCENÇO *et al.*, 2008).

Como os estômatos se enquadram como a principal via de trocas gasosas entre a atmosfera e o interior do aparato fotossintético, acompanhar o comportamento da condutância estomática é essencial para a compreensão dos processos fisiológicos (AMARAL; RENA; AMARAL, 2006).

A fotossíntese é afetada direta ou indiretamente por diversos fatores como, déficit hídrico, estresse térmico, concentração interna e externa de gases, e composição e intensidade da luz. A exposição da planta a condições de estresse abiótico, como aquele causado por herbicidas, induz ao fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, reduz a perda de água pelas plantas por transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em um estudo realizado por Gonçalves (2008), foram avaliadas doses crescentes de glyphosate ao simular deriva na cultura da batata-doce. A autora observou que, com o aumento das doses do herbicida, houve uma redução na condutância estomática, o que limitou a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> devido à resistência da difusão gasosa (Paiva *et al.*, 2005). Em concordância com Nascimento (2009), o principal fator que influencia a atividade fotossintética é a limitação estomática, uma vez que a maior abertura dos estômatos aumenta a entrada de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática.

Aos 7 DAA, a taxa de assimilação líquida (A) se comportou de forma semelhante à condutância estomática (GS), corroborando sua relação direta com a abertura de estômatos. O tratamento clomazone (21,57  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e 0,845  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , respectivamente) obteve valores em evidência numérica em relação aos outros tratamentos, porém não se diferiu, na comparação de médias pelo teste t, de flumioxazin, oxyfluorfen, S-metolachlor, metribuzin, pendimethalin, linuron e atrazine+S-metolachlor (Tabela 6), sendo resultados coerentes em relação aos que foram obtidos na avaliação de produtividade (Tabela 9).

Os herbicidas, por apresentarem diferentes mecanismos de ação, podem influenciar de forma direta ou indireta na atividade fotossintética. Desse modo, os

danos em virtude da fitointoxicação das plantas podem ser mais eficientemente mensurados a partir da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e de variáveis associadas a essa (GALON *et al.*, 2010).

Aos 21 DAA, as variáveis transpiração foliar (T), condutância estomática (GS) e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) foram significativas. Para transpiração foliar, não houve diferença estatística entre flumioxazin, oxyfluorfen, S-metolachlor, clomazone, metribuzin, pendimethalin, linuron e atrazine+S-metolachlor, mas ressalva-se que os maiores valores foram proporcionados pelos tratamentos linuron (6,57  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), pendimethalin (6,34  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), metribuzin (6,27  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e atrazine+S-metolachlor (5,96  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). O tratamento que apresentou a menor média de transpiração foliar, nesse período, foi o glyphosate (3,63  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), distinguindo-se estatisticamente de linuron, pendimethalin, metribuzin e atrazine+S-metolachlor (Tabela 6).

Quando se avalia a condutância estomática, os tratamentos pendimethalin (0,249  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e linuron (0,247  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) conferiram as maiores médias, entretanto não se diferenciaram de flumioxazin, oxyfluorfen, S-metolachlor, clomazone, metribuzin e atrazine+S-metolachlor. E novamente o tratamento glyphosate resultou no menor valor de condutância estomática, entregando a média de 0,114  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , fator que explica o comportamento reduzido quanto à transpiração foliar, possivelmente em razão do fechamento dos estômatos e menor perda de água (Tabela 6).

Ao observar a taxa de assimilação líquida, os tratamentos flumioxazin, S-metolachlor, metribuzin, pendimethalin e linuron se destacaram numericamente, porém não se diferenciaram estatisticamente dos tratamentos oxyfluorfen, clomazone e atrazine+S-metolachlor. Em concordância com os resultados obtidos nas variáveis de transpiração e condutância estomática, o tratamento glyphosate (7,72  $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) apresentou a menor média, possivelmente em razão ao fechamento de estômatos e pela redução nas trocas gasosas, conferindo às plantas que receberam esse tratamento um menor potencial fotossintético (Tabela 6).

No período posterior, aos 35 DAA, não foram observadas diferenças significativas para nenhuma das variáveis fisiológicas avaliadas. Ao associar os

resultados obtidos com a avaliação de fitointoxicação, nota-se que houve uma redução na porcentagem para a maioria dos tratamentos.

#### 5.4 População final de plantas

Na Tabela 7 serão apresentadas as médias de população final de plantas, obtidas a partir da conversão do número de plantas presentes na linha central de cada parcela para plantas por hectare. Os resultados não foram significativos para a população final de plantas, assim como para Correia e Carvalho (2021) que para efeito de tratamento não obtiveram significância no teste de F, utilizando os herbicidas metribuzin, flumioxazin, linuron e clomazone, que foram testados nesse estudo, além de outros não posicionados. Os autores Correia e Carvalho (2021) alcançaram resultados significativos em relação à avaliação de população de plantas para o fator isolado de cultivar, ao testar duas variedades, sendo a Canadense e a Brazlândia Roxa. Neste estudo, observou-se que nenhum dos tratamentos utilizados provocaram a morte das plantas.

Tabela 7 – População final de plantas, em função dos herbicidas estudados, pulverizados 3 dias após o plantio das ramas de batata-doce, e testemunha<sup>1</sup>

| <b>Tratamentos</b>     | <b>População final (plantas ha<sup>-1</sup>)</b> |
|------------------------|--|
| Flumioxazin            | 8333,33  |
| Oxyfluorfen            | 9375,00  |
| S-metolachor           | 8854,17  |
| Clomazone              | 9895,83  |
| Metribuzin             | 9375,00  |
| Pendimethalin          | 9895,83  |
| Linuron                | 9375,00  |
| Atrazine+S-metolachlor | 10416,67   |
| Glyphosate             | 8333,33  |
| Testemunha             | 9895,83  |
| Fcal                   | 0,8 <sup>ns</sup>                                |
| CV. (%)                | 16,56  |

<sup>1</sup> Testemunha sem aplicação de herbicida. <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F. Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

## 5.5 Número de raízes comerciais, não comerciais e totais

Na Tabela 8 serão apresentadas as médias dos números de raízes classificadas como comerciais e não comerciais por hectare, assim como o somatório dessas para obtenção do número de raízes totais.

Tabela 8 – Número de raízes comerciais, não comerciais e total em função dos herbicidas estudados, pulverizados 3 dias após o plantio das ramas de batata-doce, e testemunha<sup>1</sup>

| Tratamentos            | Número de raízes ha <sup>-1</sup> |                   |                    |
|------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------|
|                        | Comerciais                        | Não comerciais    | Totais             |
| Flumioxazin            | 23.958                            | 76.563            | 100.521            |
| Oxyfluorfen            | 28.646                            | 72.396            | 101.042            |
| S-metolachlor          | 23.438                            | 36.458            | 59.896             |
| Clomazone              | 33.854                            | 65.625            | 99.479             |
| Metribuzin             | 18.229                            | 69.271            | 87.500             |
| Pendimethalin          | 21.354                            | 58.854            | 80.208             |
| Linuron                | 16.667                            | 55.208            | 71.875             |
| Atrazine+S-metolachlor | 29.167                            | 57.813            | 86.979             |
| Glyphosate             | 12.500                            | 40.104            | 52.604             |
| Testemunha             | 19.792                            | 53.646            | 73.438             |
| Fcal                   | 1,56 <sup>ns</sup>                | 1,6 <sup>ns</sup> | 2,08 <sup>ns</sup> |
| C.V. (%)               | 45,3                              | 35,38             | 28,93              |

<sup>1</sup> Testemunha sem aplicação de herbicida. C.V. Coeficiente de variação. <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F. Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Notou-se que no que se refere ao número de raízes comerciais, não comerciais e totais por hectare não se constatou diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que, para essa variável, todas as moléculas herbicidas estudadas não influenciaram na produção de raízes tuberosas de batata-doce.

## 5.6 Produtividade comercial, não comercial e total

Na Tabela 9 serão apresentadas as médias das produtividades comercial, não comercial e total, as quais foram obtidas após a classificação e pesagem das raízes tuberosas por ocasião da colheita e conversão para produtividade por hectare. Os resultados foram significativos, na análise de variância, para as produtividades comercial e total.

Tabela 9 – Produtividade comercial, não comercial e total das raízes tuberosas, em função dos herbicidas estudados, pulverizados 3 dias após o plantio das ramas de batata-doce, e da testemunha<sup>1</sup>

| Tratamentos            | Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) |                    |           |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------|
|                        | Comercial                            | Não Comercial      | Total     |
| Flumioxazin            | 7.341 ab <sup>2</sup>                | 12.091             | 19.432 a  |
| Oxyfluorfen            | 10.810 ab                            | 10.096             | 20.906 a  |
| S-metolachlor          | 10.406 ab                            | 7.461              | 17.867 ab |
| Clomazone              | 12.211 a                             | 9.865              | 22.076 a  |
| Metribuzin             | 8.852 ab                             | 10.010             | 18.862 ab |
| Pendimethalin          | 9.992 ab                             | 10.154             | 20.146 a  |
| Linuron                | 5.807 ab                             | 7.987              | 13.794 ab |
| Atrazine+S-metolachlor | 6.977 ab                             | 10.086             | 17.063 ab |
| Glyphosate             | 4.188 b                              | 4.016              | 8.203 b   |
| Testemunha             | 6.914 ab                             | 7.609              | 14.523 ab |
| Fcal                   | 2,36*                                | 1,52 <sup>ns</sup> | 3,23**    |
| C.V. (%)               | 39,21                                | 40,66              | 26,63     |

<sup>1</sup> Testemunha sem aplicação de herbicida. <sup>2</sup> Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F. \*, \*\* Significativo aos níveis de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

O herbicida que proporcionou a maior produtividade de raízes comerciais foi o clomazone (12.211 kg ha<sup>-1</sup>), mas não se diferiu de flumioxazin, oxyfluorfen, S-metolachlor, metribuzin, pendimethalin, linuron e atrazine+S-metolachlor (Tabela 9). Por outro lado, o tratamento glyphosate (4.188 kg ha<sup>-1</sup>) apresentou a menor produtividade comercial (Tabela 9). Para produtividade total, os tratamentos clomazone (22.076 kg ha<sup>-1</sup>), oxyfluorfen (20.906 kg ha<sup>-1</sup>), pendimethalin (20.146 kg ha<sup>-1</sup>) e flumioxazin (19.432 kg ha<sup>-1</sup>) foram os que apresentaram os maiores valores, não se diferenciando de S-metolachlor, metribuzin, linuron, atrazine+S-metolachlor (Tabela 9). Enquanto, o tratamento glyphosate (8.203 kg ha<sup>-1</sup>) também provocou a maior redução de produtividade total (Tabela 9).

Os herbicidas que apresentaram bom desempenho em produtividade total como clomazone, flumioxazin, metribuzin e linuron corroboraram com resultados similares encontrados por Correa e Carvalho (2021), os quais os classificaram como possíveis produtos para uso na cultura da batata-doce, utilizando também a cultivar 'Canadense'.

Para Kelly, Shankle e Miller (2006), as parcelas tratadas com flumioxazin, em pré-emergência, produziram números mais expressivos do que a batata-doce em que se aplicou clomazone, ocorrendo o mesmo para o rendimento comercial, porém com o uso de outra cultivar, a 'Beauregard'. Apesar de estatisticamente não haver diferenças entre clomazone e flumioxazin nesse estudo, o tratamento clomazone se destacou como o que mais produziu tanto na produtividade total quanto na comercial, diferenciando do que foi obtido por Kelly, Shankle e Miller (2006).

De acordo com a Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (1995), avaliar a produtividade é de grande importância no estudo da seletividade de moléculas herbicidas, pois há produtos que apesar de não demonstrarem sintomas visuais, afetam o rendimento da cultura de interesse e outros que, por sua vez, provocam injúrias acentuadas, mas que permitem a cultura manifestar seu potencial produtivo.

Observa-se que para esse estudo, os herbicidas que proporcionaram as menores fitointoxicações (clomazone e flumioxazin) nos períodos de 7, 14, 21 e 28 DAA, com redução até ambos chegarem à porcentagem de 0% de injúrias visuais aos 35 DAA, se sobressaíram em produtividade de raízes tuberosas de batata-doce. Enquanto isso, o tratamento oxyfluorfen, o qual representou a maior fitointoxicação aos 7 DAA (42,50%) e acometeu injúrias superiores a 40% nos períodos de 14, 21 e 28 DAA, com redução do percentual para 20% na última avaliação aos 35 DAA, foi um tratamento que também obteve bom potencial produtivo, sendo um dos maiores, numericamente, tanto em produtividade comercial quanto em produtividade total.

Portanto, notou-se que a recuperação da batata-doce foi mais lenta para alguns tratamentos, como é o caso do oxyfluorfen, porém com o passar do tempo, o nível de intoxicação foi reduzido, evidenciando a hipótese de que determinadas moléculas posicionadas em pré-emergência podem ser seletivas à cultura mesmo apresentando fitointoxicação inicial, recuperando-se do efeito nocivo de herbicidas e tendo a capacidade de produzir raízes tuberosas, sem prejuízos significativos.

## 5.7 Teor de MS, proteína, açúcares redutores, totais e amido nas raízes tuberosas

No que se refere à qualidade da batata-doce, as raízes produzidas por plantas expostas aos herbicidas estudados não tiveram a qualidade afetada. Portanto, os teores de massa seca, proteína (%), açúcar redutor (%), açúcar total e amido (%) são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Teores de amido, açúcar redutor e açúcar total de raízes de batata-doce em função de diferentes tratamentos

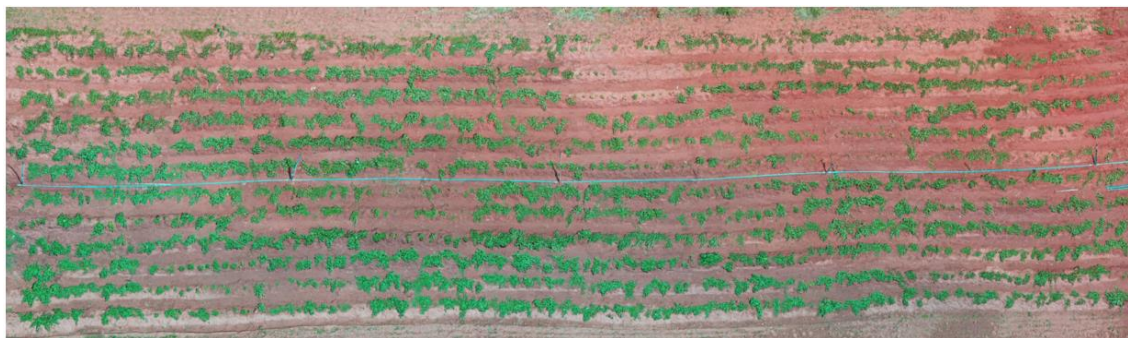
| Tratamentos            | Teor de MS % | Proteína % | Açúcar redutor % | Açúcar total % | Amido % |
|------------------------|--------------|------------|------------------|----------------|---------|
| Flumioxazin            | 22,69        | 4,25       | 0,98             | 2,19           | 64,12   |
| Oxyfluorfen            | 22,15        | 4,27       | 1,43             | 2,11           | 70,05   |
| S-metolachlor          | 23,32        | 4,3        | 0,91             | 1,56           | 73,45   |
| Clomazone              | 24,70        | 4,3        | 1,64             | 2,02           | 68,05   |
| Metribuzin             | 23,02        | 4,3        | 1,64             | 2,02           | 68,05   |
| Pendimethalin          | 23,47        | 4,37       | 1,4              | 2,58           | 66,93   |
| Linuron                | 23,47        | 4,2        | 1,12             | 1,8            | 68,97   |
| Atrazine+S-metolachlor | 23,36        | 4,17       | 0,98             | 1,63           | 71,11   |
| Glyphosate             | 23,85        | 4,32       | 0,85             | 2,19           | 66,53   |
| Testemunha             | 23,43        | 4,2        | 0,78             | 1,85           | 68,31   |
| Ftrat                  | 0,68ns       | 1,41ns     | 1,84ns           | 1,41ns         | 1,37ns  |
| C.V. (%)               | 7,11         | 2,74       | 42,87            | 26,43          | 6,84    |

<sup>1</sup> Testemunha sem aplicação de herbicida. <sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F. Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

## 5.8 Fenotipagem de alto rendimento

Com relação a fenotipagem de alto rendimento, após a aquisição das imagens aéreas pelo drone, o primeiro passo constituiu-se na construção dos ortomosaicos a partir de ortofotos pré-processadas. Os três ortomosaicos construídos estão apresentados na Foto 10, 11 e 12. Para execução da análise, considerando o mais adequado mediante os dados de produtividade, selecionou-se o segundo ortomosaico (Foto 11).

Foto 6 – Primeiro ortomosaico, construído a partir das imagens adquiridas 30 dias após o plantio



Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Foto 7 – Segundo ortomosaico, construído com imagens adquiridas 37 dias após o plantio



Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

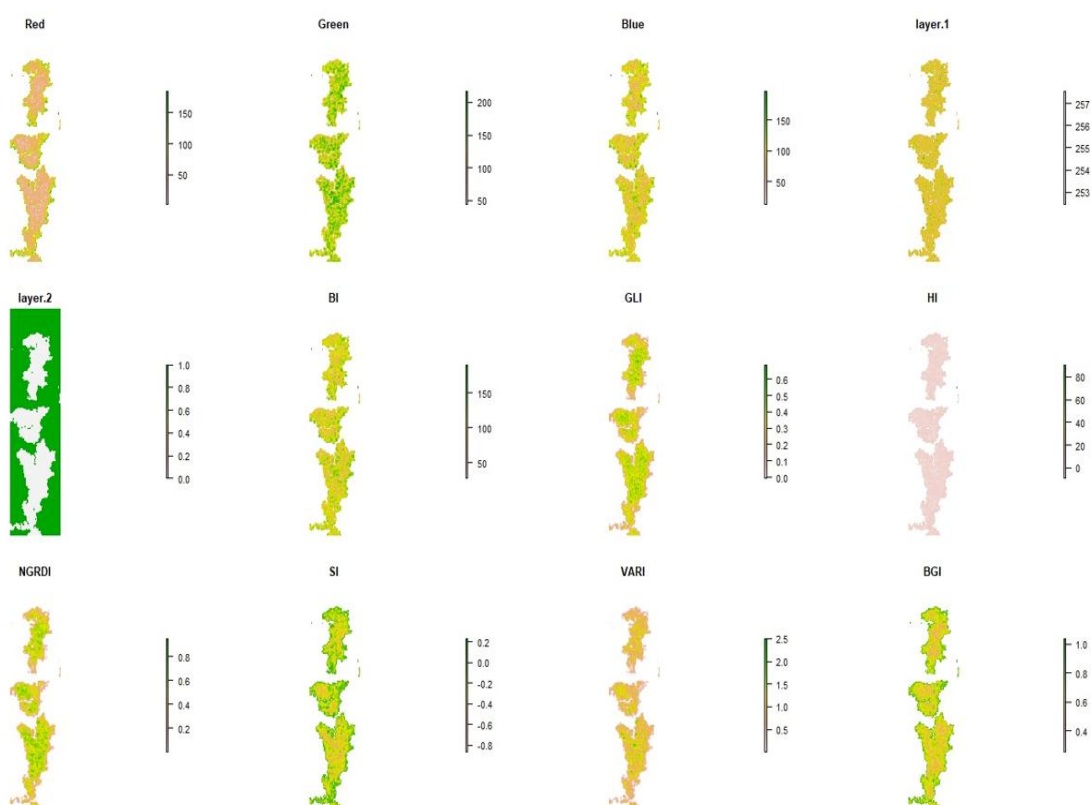
Foto 8 – Terceiro ortomosaico, construído com imagens adquiridas 44 dias após o plantio



Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Após a delimitação de cada parcela experimental, constituída por 3 leiras com 5 metros de comprimento, através do software livre R, foram aplicados os índices espectrais avaliados e as informações associadas aos pixels da imagem foram extraídas, com a finalidade de que, com as camadas de cores RGB e as camadas dos índices, as parcelas pudessem ser mensuradas, modeladas e comparadas por meio das fotografias (Figura 11).

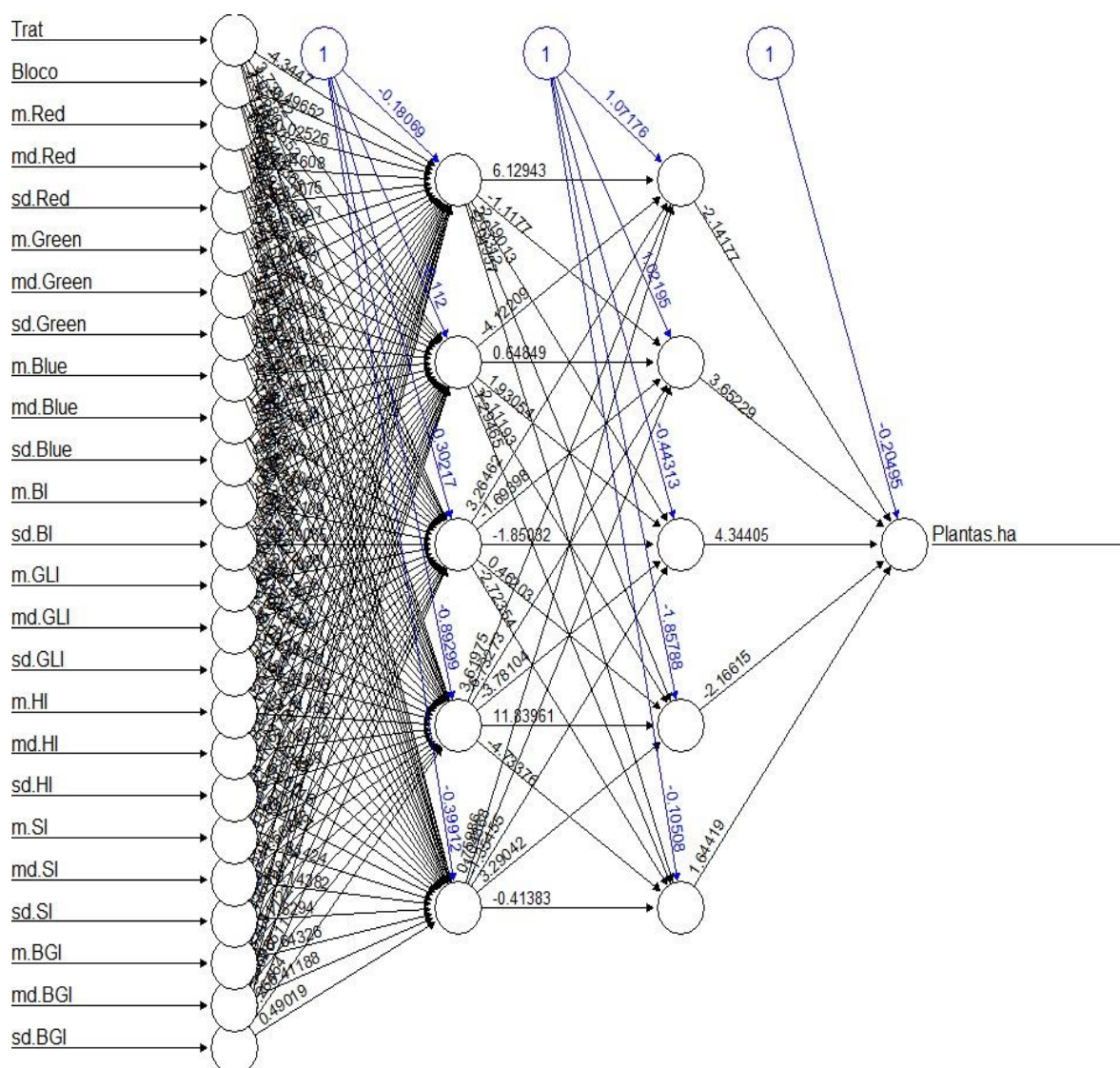
Figura 11 – Exemplo de extração de dados das parcelas experimentais



Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Após a extração de dados de todas as parcelas, as informações obtidas foram utilizadas para a construção de uma ANN com o intuito de prever a população final de plantas, a produtividade de raízes comerciais e a produtividade de raízes não comerciais. Um exemplo de arquitetura utilizada na ANN ajustada para as variáveis que foram preditas está apresentado na Figura 12. A rede ajustada possui 25 entradas, cinco neurônios dispostos em duas camadas intermediárias e um neurônio de saída da rede, sendo que esse último prediz a informação de população de plantas e a produtividade da cultura da batata-doce.

Figura 12 – Exemplo de arquitetura da Rede Neural Artificial (ANN) utilizada na avaliação de fenotipagem de alto rendimento



Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

A melhor ANN ajustada proporcionou um ajuste adequado do conjunto de dados, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 98% para o conjunto de treinamento e 95% para o conjunto de teste para a variável de população de plantas por hectare. Enquanto para produtividade de raízes comerciais, a ANN proporcionou um  $R^2$  de treinamento de 97% e 94% para o teste. Já em relação à produtividade de raízes não comerciais, a ANN ajustada resultou em um  $R^2$  de 98% para o conjunto de treinamento e 96% para o conjunto de teste. Para que haja uma correlação positiva, o coeficiente de determinação deve ser acima de 70%.

Na Tabela 11, apresenta-se os resultados das métricas associadas entre a fenotipagem de alto rendimento e a população de plantas, produtividade de raízes comerciais e produtividade de raízes não comerciais por hectare, a partir de uma rede neural ajustada para a conjunto de treinamento e de teste de todos os dados empregados, com o uso do software R e o pacote específico *neuralnet*.

Tabela 11 – Métricas de ajuste da Rede Neural

| <b>R<sup>2</sup> – Conjunto de Teste</b>       |                      |                         |                             |
|--|----------------------|-------------------------|-----------------------------|
|  | População de plantas | Produtividade comercial | Produtividade não comercial |
| Mínima   | 0,0009               | 0,05                    | 0,22                        |
| Média  | 0,66                 | 0,72                    | 0,74                        |
| Máxima   | 0,95                 | 0,94                    | 0,96                        |
| <b>R<sup>2</sup> – Conjunto de Treinamento</b> |                      |                         |                             |
|  | População de plantas | Produtividade comercial | Produtividade não comercial |
| Mínima   | 0,002                | 0,001                   | 0,26                        |
| Média  | 0,86                 | 0,89                    | 0,91                        |
| Máxima   | 0,98                 | 0,97                    | 0,98                        |

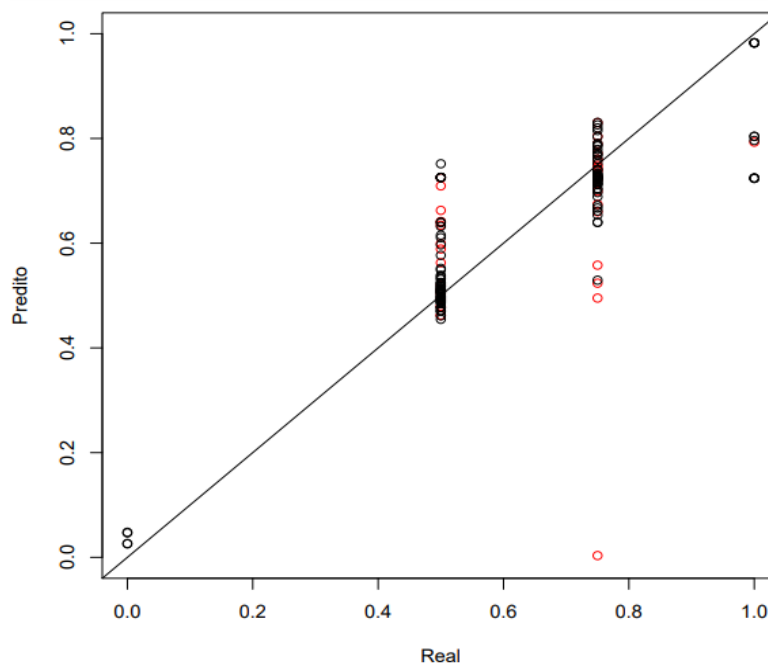
Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Os resultados da predição podem ser melhor visualizados por meio das plotagens da Figura 13, 14 e 15, no qual estão dispostos os valores reais das variáveis estudadas e os valores preditos pela ANN. Quanto mais os pontos se aproximam da reta, melhor constitui o modelo de predição.

Os resultados indicam que a Rede Neural Artificial, adicionada à informação contida nas imagens, foi capaz de prever a população de plantas e ambas produtividades, em função dos tratamentos considerados no experimento. Portanto, percebe-se, que devido à quantidade acrescida de massa verde presente nas parcelas, houve conseqüentemente um maior número de plantas, assim produzindo mais raízes comerciais e não comerciais. Por outro lado, nas parcelas com quantidade decrescida de massa verde em decorrência das falhas e injúrias causadas pela aplicação dos tratamentos, que podem ser visualizadas nos ortomosaicos apresentados nas Foto 10, 11, 12, a população de plantas e a

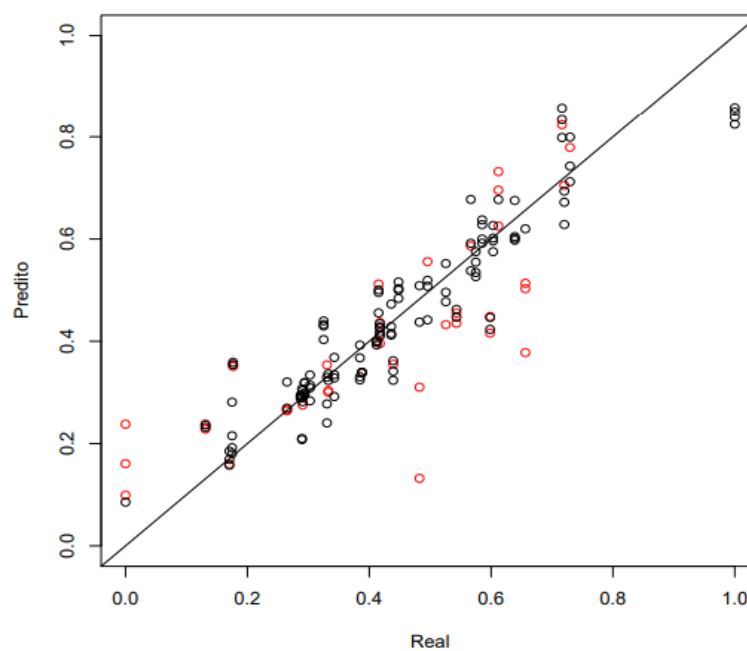
produtividade de raízes comerciais foram menores, no entanto, ainda assim produziu-se o produto de interesse, como observado na Tabela 10.

Figura 13 – Estimativas reais e preditas da população de plantas de batata-doce por hectare pela Rede Neural Artificial



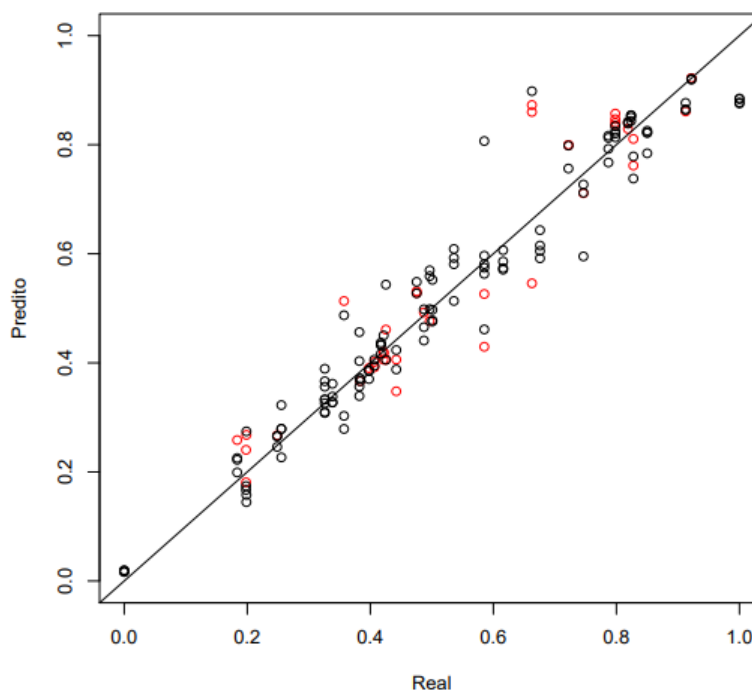
Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Figura 14 – Estimativas reais e preditas da população de plantas de batata-doce por hectare pela Rede Neural Artificial



Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Figura 15 – Estimativas reais e previstas da produtividade de raízes não comerciais por hectare pela Rede Neural Artificial



Fonte: Dados da pesquisa da autora (2024).

Da mesma forma, em relação à produtividade de raízes não comerciais (Tabela 10), observa-se que em todas as parcelas houveram raízes que não poderiam ser comercializadas por causa das deformações ou tamanho fora do padrão. Portanto, tratando-se de uma tecnologia que precisa ser mais explorada em trabalhos com herbicidas na batata-doce, novas experimentações com condições diferentes, são necessárias para aferir a predição de produtividade dessa cultura, expressa debaixo do solo.

Para promover o emprego consciente das práticas agrônômicas, é essencial combinar o conhecimento técnico e prático adquirido ao longo dos anos nas propriedades rurais com as tecnologias emergentes na área digital. Com o avanço tecnológico, o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, tem desempenhado um papel crucial na modernização das propriedades rurais. Cada vez mais, observa-se a disponibilidade de softwares capazes de auxiliar na detecção do desenvolvimento das lavouras e na promoção da sanidade das plantações, principalmente no controle de pragas e plantas daninhas (RIBEIRO, 2023).

Isso é viabilizado por meio de sensores que captam imagens para gerar relatórios, evidenciando a situação real da área agrícola. Esses relatórios facilitam o planejamento estratégico para o correto posicionamento das diversas tecnologias disponíveis ao agricultor (OLIVEIRA *et al.*, 2020). A associação da rede neural com imagens é uma ferramenta interessante a ser empregada na cultura da batata-doce, que demanda mão-de-obra em todo o ciclo. Essa tecnologia pode ser utilizada até mesmo para a classificação das raízes, tarefa que tradicionalmente depende de inspeção visual e experiência, em estudos futuros.

## 6 CONCLUSÃO

- Os tratamentos apresentaram diferenças na fitointoxicação da cultura, sendo que as injúrias foram diminuindo com o tempo;
- Os índices de clorofila apresentaram diferenças apenas na primeira avaliação após a aplicação dos herbicidas (7 DAA);
- As variáveis fisiológicas que apresentaram diferenças significativas foram a condutância estomática e taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> aos 7 DAA, com coerência em relação aos resultados obtidos na avaliação de produtividade. Aos 21 DAA, além dessas, a variável transpiração foliar também foi significativa;
- A aplicação dos herbicidas não afetou a produtividade da cultura da batata-doce, exceto o glyphosate, demonstrando que os mesmos possuem seletividade para a cultura;
- Não foi observado efeito para nenhum dos parâmetros qualitativos das raízes de batata-doce em função dos tratamentos realizados;
- A rede neural artificial ajustada foi capaz de prever a população de plantas, a produtividade comercial e não comercial de batata-doce. Assim, conclui-se que as plantas de batata-doce podem ter a capacidade de se recuperar dos sintomas iniciais das injúrias provocadas por alguns herbicidas, os quais têm potencial de serem seletivos.

## REFERÊNCIAS

- ABUKARI, I.A.; SHANKLE, M.W.; REDDY, K.R. S-metolachlor and rainfall effects on sweetpotato (*Ipomoea batatas* L. [Lam]) growth and development. *Scientia Horticulturae*, v. 185, p. 98-104, 2015.
- ADAMA, 2024. Informações técnicas – Afalon. Disponível em: <<https://www.adama.com/brasil/pt/protacao-de-cultivos/herbicidas/afalon>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.
- ALISTER, C.A., GOMEZ, P.A., ROJAS, S. & KOGAN, M. 2009. Pendimethalin and oxyfluorfen degradation under two irrigation conditions over four years application. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 44(4): 337-343.
- Altamap, 2021. Drones na agricultura: O que é um ortomosaico georreferenciado? Disponível em: <<https://www.altamap.com.br/post/o-que-e-um-ortomosaico-georreferenciado>>. Acesso em: 03/05/2024.
- AMARAL, J. A. T. do; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T do. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- ANDRADE, J. F. Fisiotivadores e a fitotoxicidade causadas pelos herbicidas sulfentrazone e clomazone na cultura da cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2020. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-08102020-102000/publico/Jeisiane\\_de\\_Fatima\\_Andrade\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-08102020-102000/publico/Jeisiane_de_Fatima_Andrade_versao_revisada.pdf)>. Acesso em: 09 de abril de 2024.
- ARANTES, S. A. C. M. Retenção e degradação de <sup>14</sup>C-glifosato e remobilização dos seus resíduos ligados em diferentes classes de solo. 2007. 122f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- BURRI, B.J. Evaluating sweet potato as an intervention food to prevent vitamin A deficiency. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. v. 10, p. 118-130, 2011.
- CARVALHO, L. B. Herbicidas. Editado pelo autor, Lages, SC, 2013, vi, 62 p.
- CAVALCANTE, J. T.; FERREIRA, P. V.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, M. T. Períodos de interferência de plantas daninhas em genótipos de batata-doce. **Cultura Agrônômica**, v. 26, n. 4, p. 640-656, 2017.
- CEAGESP, 2015. Batata doce. Disponível em: <[https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/batata\\_doce.pdf](https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/batata_doce.pdf)>. Acesso em: 27 de maio de 2024.
- CHRISTOFFOLETI, P. J., & LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta daninha**, v. 21, p. 507-515, 2003.

COBUCCI, T. Manejo e controle de planta daninha em feijoeiro In: VARGAS, L.; RONAM, E.S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa, 2008. p.533- 560.

CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; GALON, L.; REIS, M. R.; d'ANTONINO, L.; VARGAS, L.; SILVA, L. V. B. D. Fotossíntese de biótipos de azevém sob condição de competição. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p.595-600, 2008.

CORREA, N. M.; CARVALHO, A. D. F. Seletividade de herbicidas para batata-doce. **Weed Control Journal**, v. 20, e202100740, 2021.

COUTINHO, C. F., & MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, v. 28, p. 1038-1045, 2005.

DIAS, R. C. Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência em espécies de grama. 2018, 92 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/3d6796d3-ac66-49df-b1a5-f37653a08c80/content>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

DUDDU, H. S. N.; JOHNSON, E. N.; WILLENBORG, C. J.; SHIRTLIFFE, S. J. High throughput UAV Image-based method is more precise than manual rating of herbicide tolerance. **Plant Phenomics**, v. 2019, Artigo ID 6036453, 2019.

EMBRAPA. A cultura da batata-doce. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional Pesquisa de Hortaliças. Coleção Plantar. 1995.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2013, p.353.

FERREIRA, E. A., PEREIRA, G. A. M., DEIVIDE, P. A., AGAZZI, L. R. A., SILVA, D. V., & DE ANDRADE JÚNIOR, V. C. Capacidades fisiológicas e produção de matéria seca de acessos de batata-doce batata-doce. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 4, 493, 2019.

FETUGA, G. O.; TOMLINS, K.; BECHOFF, A.; HENSHAW, F. O.; IDOWU, M. A.; WESTBY, A. A survey of traditional processing of sweet potato flour for amala, consumption pattern of sweet potato amala and awareness of orange-fleshed sweet potato (OFSP) in South West Nigeria. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v. 11, n. 3, p. 67-71, 2013.

FMC, 2023. Bula Herbicida Reator. Disponível em: <<https://www.fmcagricola.com.br/Content/Fotos/Bula%20-%20Reator%20360%20CS.pdf>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

GALON, L; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; ASPIAZÚ, I; CONCENÇO, G; FIALHO, C. M. T.; SANTOS, E. A.; TIRONI, S. P.; BARBOSA, M. H. P. Seletividade de herbicidas a genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, p.1083-1093, 2010. (Edição Especial).

GODOY, M. C. Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção do fósforo pela soja. 2007. 43 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu., 2007.

GOLZARIAN, M. R.; FRICK, R. A.; RAJENDRAN, K.; BERGER, B.; ROY, S.; TESTER, M.; LUN, D. S. Accurate inference of shoot biomass from high-throughput images of cereal plants. **Plant Methods**, v. 7, n. 2, p. 1-11, 2011.

GOMES, G. L. G. C. Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glyphosate e fosfito. 2011. 97p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas). Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2011.

GONÇALVES, Flávia Barreira. Efeitos da deriva simulada do glyphosate na fisiologia e produção da batata-doce (cv. Duda). 2018.

HARRISON Jr., H.F.; JACKSON, D.M. Response of two sweet potato cultivars to weed interference. **Crop Protection**, v. 30, p. 1291-1296, 2011.

HARRISON, Jr., H.F.; DUKES, P.D. Sensitivity of four sweetpotato clones to metribuzin herbicide. **HortScience**, v. 31, n. 5, p. 846-847,

HESS, F. D. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed Science**, v. 48, p. 160-170, 2000.

HORWITZ, W.; LATIMER JUNIOR, G. W. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. 18th. ed. Gaythersburg: AOAC.

IBGE. Produção Agrícola – Lavoura temporária Ano 2020. Sistema IBGE de International, 2005. Recuperação Automática. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10233?indicador=10236>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

International Journal of Food Properties, v. 23, n. 1, p. 178-188, 2020.

JONES, K.M.; BRAUW, A. Using agriculture to improve child health: promoting Orange sweet potatoes reduces diarrhea. **World development**, v. 74, p. 15-24, 2015.

KELLY, S.T.; SHANKLE, M.W.; MILLER, D.K. Efficacy and tolerance of flumioxazin on sweetpotato (*Ipomoea batatas*). **Weed Technology**, v. 20, p. 334- 339, 2006.

LaBONTE, D.R.; HARRISON, H.F.; MOTSENBOCKER, C.E. Sweetpotato clone tolerance to weed interference. **HortScience**, v. 34, n. 2, p. 229-232, 1999.

LINHARES, C. M. S. *et al.* Crescimento do feijão- caupi sob efeito dos herbicidas fomesafen e bentazon + imazamox. **Revista Caatinga**, v.27, n. 1, p. 41-43, 2014.

LORENZI, J.O.; MONTEIRO, P.A.; MIRANDA FILHO, H.S.; RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). 1997.

MACCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, [S.l.], v. 5, p. 115-133, 1943.

MARCHI, G.

MARCHI, G., MARCHI, E. C. S., & GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. 2008.

MARKWELL, J.; NAMUTH, D.; HERNADEZ-RIOS, I. **Introducción a los herbicidas que actúan a través de la fotosíntesis**. 2006.

MATIAS, F. I.; CARAZA-HARTER, M.; ENDELMAN, J. B. FIELDimageR: A R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome Journal**, v. 3, n. 1, e20005, 2020.

MEYERS, S.L.; JENNINGS, K.M.; MONKS, D.W. Response of sweetpotato cultivars to S- metolachlor rate and application time. **Weed Technology**, v. 26, p. 474-479, 2012.

MEYERS, S.L.; JENNINGS, K.M.; MONKS, D.W. Sweetpotato tolerance and palmer amaranth control with metribuzin and oryzalin. **Weed Technology**, v. 31, p. 903-907, 2017.

MEYERS, S.L.; JENNINGS, K.M.; SCHULTHEIS, J.R.; MONKS, D.W. Evaluation of flumioxazin and S-metolachlor rate and timing for Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control in sweetpotato. **Weed Technology**, v. 24, p. 495–503, 2010.

MOTSENBOCKER, C.E.; MONACO, T.J. Differential tolerance of sweet potato (*Ipomoea batatas*) clones to metribuzin. **Weed Technology**, v. 7, p. 349-354, 1993.

NASCIMENTO, J. L. Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico. 110p. 2009. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – UESC. Ilhéus, 2009.

NEDUNCHEZHIAN, M.; JATA, S.K.; BYJU, G. Sweet potato-based cropping systems. **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology**. v. 6, n. 1, p. 11- 16, 2012.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v.153, p.375-390, 1944.

NORTOX, 2024. Herbicida Atrazina. Disponível em: <<https://solucoes.nortox.com.br/hc/pt-br/articles/4404082501780-Atrazina-Nortox-500-SC>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.

OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba: Omnipax, 2011, p.348.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PLACIDE, R., SHIMELIS, H., LAING, M., & GAHAKWA, D. Phenotypic characterisation of sweetpotato genotypes grown in East and Central Africa. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 32, n. 2, p. 77-86, 2015.

PORTER, W.C. Postemergence grass control in Sweet potatoes (*Ipomoea batatas*). **Weed Technology**, v. 7, p. 812-815, 1993.

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024a. Pesticide Properties DataBase: Metribuzin (Ref: DPX G2504). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/469.htm>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024b. Pesticide Properties DataBase: Linuron (Ref: HOE 02810). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/419.htm>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024c. Atrazine (Ref: G 30027). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/43.htm>>. Acesso em: 05 de abril de 2024).

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024d. Flumioxazin (Ref: S 53482). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/335.htm>>. Acesso em: 07 de abril de 2024.

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024e. Oxyfluorfen (Ref: RH 2915). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/502.htm>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024f. Clomazone (Ref: FMC 57020). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/168.htm>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024g. Pendimethalin (Ref: AC 92553). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/511.htm>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

PPDB-UH (PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE - UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE), 2024h. S-metolachlor (Ref: CGA 77102). Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1027.htm>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, SP: Instituto Agrônomo. 285p, 2001.

RAMÍREZ, D. A., GRÜNEBERG, W., I ANDRADE, M., DE BOECK, B., LOAYZA, H., S MAKUNDE, G. & CAMPOS, H. (2023). Phenotyping of productivity and resilience in sweetpotato under water stress through UAV-based multispectral and thermal imagery in Mozambique. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 1, p. 41-55, 2023.

RASMUSSEN, J.; NIELSEN, J.; GARCIA-RUIZ, F.; CHRISTENSEN, S.; STREIBIG, J.C. Potential uses of small unmanned aircraft systems (UAS) in weed research. **Weed Research**, v. 53, p. 242–248, 2013.

Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p.221-229. (Boletim Técnico, 100).

REIS, F. C.; MENDES, K. F.; BACCIN, L.; TAKESHITA, V.; TORNISIELO, V. L.; VICTÓRIA FILHO, R. Seletividade, hormesis e fisiologia dos herbicidas nas plantas. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. Matologia: estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, p. 295-323, 2021.

RIBEIRO, A. L. Avaliação de doses e modo de aplicação da adubação potássica na cultura do feijoeiro, utilizando fenotipagem de alto rendimento com drone, 2023.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas** 6.ed. Londrina: Edição dos autores, 2011. 697p.

ROMAN, E. S., BECKIE, H., VARGAS, L., HALL, L., RIZZARDI, M. A., & WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Berthier, 2007.

ROMAN, E. S.; BECKIE, H.; VARGAS, L.; HALL, L.; RIZZARDI, M. A; WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Berthier, 2007.

ROSENBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, Washington, v. 65, n. 6, p. 386-408, 1958.

ROSS, M. A.; CHILDS, D. J. **Herbicide mode-of-action summary**. Cooperative Extension Service Publication WS-23, Purdue University, West Lafayette, IN. 1996. Disponível em: <<http://www.btny.purdue.edu/weedscience/moda/indez.html>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

SANTOS, E. A. *et al.* Sensitivity of sweet potato genotypes to clomazone and weed interference. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 2, p. 352-359, 2018.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. Batata-doce (*Ipomoea batatas*). *Embrapa Hortaliças, Sistemas de Produção*, v. 6, 2008. Disponível em: <[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce\\_Ipomoea\\_batatas/tratos\\_culturais.html](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce_Ipomoea_batatas/tratos_culturais.html)>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

SIMÕES, I. O. P. S. Fenotipagem de alto rendimento baseada em campo para resistência da cana-de-açúcar às ferrugens alaranjada e marrom. 2022, 92 p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS.

Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina, 1995. 42p.

STREIBIG, J. C. S. *et al.* Sensor-based assessment of herbicide effects. **Weed Research**, v. 54, n. 3, p. 223-233, 2014.

STREIT, N. M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SUÁREZ, S.; MU, T.; SUN, H.; AÑÓN, M. C. Antioxidant activity, nutritional, and phenolic composition of sweet potato leaves as affected by harvesting period, **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 178-188, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAKANO, H. K. *et al.* Redução da fitoentoxicação por herbicidas aplicados no feijoeiro com a utilização de fungicida. **Revista Agrarian**, v.8, n.27, p.12-22, 2015.

TANG, C., JIANG, B., EJAZ, I., AMEEN, A., ZHANG, R., MO, X., & WANG, Z. High throughput phenotyping of nutritional quality components in sweet potato roots by near-infrared spectroscopy and chemometrics methods. **Food Chemistry: X**, v. 20, p. 100916, 2023.

THELEN, K. D.; KRAVCHENKO, A. N.; LEE, C. D. Use of optical remote sensing for detecting herbicide injury in soybean. **Weed Technol.**, v. 18, p. 292–297, 2004.

tolerance of two cold-resistant bermudagrass (*Cynodon* spp.) cultivars determined by visual assessment and vehicle-mounted optical sensing. *Weed Technol.*, 2000, v. 14, p. 635–641, 2014.

TROPALDI, L. Tolerância de *Digitaria ciliaris*, *Digitaria horizontalis* e *Digitaria nuda* a herbicidas usados em cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ff6ef01f-e7cc-4fde-b5c7-3e07def0e435/content>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

TROPALDI, L.; BRITO, I. D.; DIAS, R. C.; ARALDI, R.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Eficácia de herbicidas inibidores da síntese de carotenoides no controle de espécies de capim-colchão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 443-453, 2018.

TROPALDI, L.; MONTANHANI, M. E. S.; DIAS, R. C. Batata-doce. In: Kassio Ferreira Mendes (Org.). Atualidades no manejo de plantas daninhas em hortaliças tuberosas. 1ed. Curitiba: Brasil Publishing, 2021, p. 93-124.

Up. Herb. Academia das plantas daninhas. Pesquisa Manejo Químico: Flumioxazina. Disponível em: <<https://www.upherb.com.br/int/flumioxazina>>. Acesso em: 07 de abril de 2024.

VELINI, E. D., MARTINS, D., MANOEL, L. A., MATSUOKA, S., TRAVAIN, J. C., & CARVALHO, J. C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, v. 18, p. 123-134, 2000.

VELINI, E.D., DUKE, S.O.; TRINDADE, M.L.B.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A. 2009. **Modo de ação de glyphosate**. In: VELINI, E.D., TRINDADE, M.L.B.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A. (Org.). Glyphosate. 1ed. Botucatu: FEPAF, 2009, v.1, p.113-134.

VIDAL, R. A. **Herbicidas**: mecanismo de ação e resistência de plantas. Porto Alegre, 1997. 165 p.

VOLOTÃO, C. F. de S. Geração de ortoimagens para aplicações urbanas: desenvolvimento das equações e protótipo experimental. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2004.

WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. *Plant methods*, v.11, n.1, p.1-11, 2015

WeedOut, 2023a. Conheça e aplique melhor: Oxyfluorfen. Disponível em: <<https://weedout.com.br/oxifluorfen/>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

WeedOut, 2023b. Conheça e aplique melhor: Pendimetalina. Disponível em: <<https://weedout.com.br/pendimetalina/>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

WeedOut, 2023c. Conheça e aplique melhor: S-metolacoloro. Disponível em: <<https://weedout.com.br/s-metolacoloro/>>. Acesso em: 09 de abril de 2024.

WOOLFE, Jennifer A. **Sweet potato**: an untapped food resource. New York: Cambridge University Press, 2008. 643 p.