

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ  
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONOMICA

**S-METOLACHLOR + ATRAZINE EM SUBSTRATOS COM  
DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA AFETAM A  
EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO**

**MATHEUS FERNANDES VAZ MACHADO**

URUTAÍ – GO  
Fevereiro de 2026

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ  
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONOMICA

**S-METOLACHLOR + ATRAZINE EM SUBSTRATOS COM  
DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA AFETAM A  
EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO**

**MATHEUS FERNANDES VAZ MACHADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, sob orientação do Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva.

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M149      Fernandes Vaz Machado, Matheus  
S - metalochlor + Atrazine em substratos com diferentes teores de matéria orgânica afetam a emergência e crescimento de plântulas de milho. / Matheus Fernandes Vaz Machado. Urutaí 2026.  
  
1f. il.  
  
Orientador: Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva.  
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120024 - Bacharelado em Agronomia - Urutaí (Campus Urutaí).  
I. Título.

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)  
☐ Dissertação (mestrado)  
☐ Monografia (especialização)  
☒ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico  
☐ Capítulo de livro  
☐ Livro  
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matheus Fernandes Vaz Machado

Matrícula:

2021101200240050

Título do trabalho:

S > metalachlor + atrazine em substratos com diferentes teores de matéria orgânica afetam a emergência e crescimento de plântulas de milho

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 27/03/2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutá / GO

12/03/2026



Documento assinado digitalmente

MATHEUS FERNANDES VAZ MACHADO

Data: 12/03/2026 22:01:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data é realizada a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **S-metolachlor + atrazine em substratos com diferentes teores de matéria orgânica afeta a emergência e crescimento de plântulas de milho**, sob orientação de Anderson Rodrigo da Silva, apresentado pelo aluno **Matheus Fernandes Vaz Machado (2021101200240050)** do Curso **Bacharelado em Agronomia do IF Goiano - Campus Urutaí**. Os trabalhos foram iniciados às 14:00 pelo presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Anderson Rodrigo da Silva** (Presidente)
- **Lucas da Silva Araújo** (Examinador Interno)
- **Rodes Ângelo Batista da Silva** (Examinadora Externa)

Após a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso pelo discente, a banca examinadora passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota (quando exigido): 9,3

### Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Anderson Rodrigo da Silva**, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

URUTAÍ / GO, 24 de fevereiro de 2026.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ANDERSON RODRIGO DA SILVA  
Data: 25/02/2026 09:53:43-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Anderson Rodrigo da Silva

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** RODES ANGELO BATISTA DA SILVA  
Data: 25/02/2026 09:57:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rodes Ângelo Batista da Silva

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LUCAS DA SILVA ARAUJO  
Data: 27/02/2026 15:32:23-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lucas da Silva Araújo

## Sumário

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| <b>Resumo .....</b>                    | <b>v</b>  |
| <b>1. Introdução .....</b>             | <b>1</b>  |
| <b>2. Material e Métodos .....</b>     | <b>8</b>  |
| <b>1. Resultados e Discussão .....</b> | <b>10</b> |
| <b>2. Conclusão .....</b>              | <b>18</b> |
| <b>3. Referências .....</b>            | <b>19</b> |

## Resumo

No manejo químico de plantas daninhas, é essencial conhecer como os herbicidas pré-emergentes agem em solos com diferentes teores de matéria orgânica. O objetivo dessa pesquisa é entender o efeito do herbicida pré-emergente s-metolachlor + atrazine sobre a fitotoxidez na cultura do milho em solos com diferentes teores de matéria orgânica, em especial na fase de emergência e crescimento de plântulas. Foram simulados diferentes teores de matéria orgânica em substrato preparado, chegando nos teores de 1,4%; 3,1%; 4,45%, onde foram semeadas sementes de milho. Doses do herbicida variando de 0% a 50% de concentração foram aplicadas após a semeadura, com pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>. As variáveis de emergência das plântulas de milho foram avaliadas tanto por métodos tradicionais quanto pelo processamento de imagens digitais, que demonstrou alta eficiência a partir do quinto dia, quando as plântulas passaram a apresentar maior teor de pigmentos verdes. O herbicida s-metolachlor + atrazine afetou a emergência de maneira diretamente proporcional à dose. As concentrações mais baixas (2% a 10%) permitiram emergência de 50 a 70% e ritmo de crescimento normal ao longo dos dias, enquanto as doses mais altas (20% e 50%) resultaram em queda acentuada da emergência e atraso no desenvolvimento, e por vezes inibindo a emergência. O processo de emergência ocorreu de forma lenta nos primeiros três dias, acelerando significativamente do quarto ao sexto dia. Nas doses mais altas, a emergência permaneceu baixa e com pouca progressão ao longo do tempo. A matéria orgânica do solo não mitigou os efeitos fitotóxicos do herbicida nas concentrações testadas, com emergência apenas ligeiramente superior em doses de até 10% de concentração do herbicida, sugerindo adsorção mínima. A aplicação do índice espectral de excesso de verde associado a segmentação de plântulas é eficaz no processo de automatização de contagem de emergência de milho, para avaliações realizadas entre o terceiro e décimo dia da semeadura.

**Palavras-chave:** *Zea mays*; sorção de herbicida; fitotoxidez

## Abstract

In the chemical management of weeds, it is essential to understand how pre-emergent herbicides behave in soils with varying levels of organic matter. The objective of this research was to understand the effect of the pre-emergent herbicide s-metolachlor + atrazine on phytotoxicity in maize crops across soils with different organic matter contents, focusing specifically on the seedling emergence and growth phases. Different organic matter levels (1.3%, 3.1%, and 4.45%) were simulated in a prepared substrate where maize seeds were sown. Herbicide doses ranging from 0% to 50% concentration were applied after sowing using a CO<sub>2</sub>-pressurized backpack sprayer. Maize seedling emergence variables were evaluated using both traditional methods and digital image processing, which demonstrated high efficiency starting from the fifth day when seedlings began to show higher green pigment content. The s-metolachlor + atrazine herbicide affected emergence in a manner directly proportional to the dose. Lower concentrations (2% to 10%) allowed for 50% to 70% emergence and a normal growth rate over time, while higher doses (20% and 50%) resulted in a sharp drop in emergence, delayed development, and, in some cases, total inhibition of emergence. The emergence process occurred slowly during the first three days, accelerating significantly from the fourth to the sixth day. At higher doses, emergence remained low with little progression over time. Soil organic matter did not mitigate the phytotoxic effects of the herbicide at the tested concentrations, with emergence being only slightly higher at doses up to 10%, suggesting minimal adsorption. The application of the Excess Green (ExG) spectral index associated with seedling segmentation was effective in automating the maize emergence counting process for evaluations conducted between the third and tenth day after sowing.

**Key words:** *Zea mays*; herbicide sorption; phytotoxicity.



## 1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae e ao gênero *Zea*. Sua origem nativa é provavelmente das Américas, onde estão seus parentes silvestres mais próximos (SILVEIRA et al., 2015). Do ponto de vista biológico, é considerado o alimento mais eficiente para cultivo e possuiu alto potencial produtivo (FANCELLI, 2017). A sua grande adaptabilidade, representada por variados genótipos, permitiram o seu cultivo desde o Equador até ao limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 metros, encontrando-se, assim, em climas tropicais, subtropicais e temperados (BARROS & CALADO, 2014).

A cultura apresentava grande importância econômica e social além de ser considerada uma das principais espécies de cereais utilizadas no Brasil, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento CONAB, a estimativa na safra 2023/2024 serem cultivadas cerca de 21,1 milhões de hectares com produção prevista de 119,1 milhões de toneladas (CONAB, 2024). Dentre os fatores que interferem na produtividade da cultura as plantas daninhas possuem grande importância, a presença das mesmas em qualquer estágio de desenvolvimento do milho causa perdas significativas na produtividade do grão (FAHAD et al., 2014).

As plantas daninhas possuem elevada capacidade de adaptação a ambientes e situações de estresse devido a diversos fatores, como produção de sementes viáveis e adaptações especiais para disseminá-las, eficiência na dispersão das sementes e principalmente a sua manutenção no banco de sementes. São plantas que possuem alta aptidão de 1 competição e atributos específicos que asseguraram a perpetuação, tais como dormência e germinação desuniforme (SILVA et al., 2018).

O manejo de plantas daninhas se tornou mais eficiente com o conhecimento preliminar da comunidade de plantas infestantes, assim é possível escolher o método de controle mais adequado, fazendo com que a erradicação ocorra sobre a maior parte das plantas presentes no local (SILVA et al., 2018).

A atrazina é um herbicida do grupo das triazinas (C1) amplamente utilizado em todo o mundo para o controle de plantas de folhas largas e algumas espécies de folhas estreitas, sendo utilizado predominantemente no cultivo do milho, dada a sua seletividade para esta cultura e seu amplo espectro de controle de diferentes plantas daninhas (LERRO et al., 2017).

O herbicida s-metolachlor ([2-cloro-N-(2-etil-6-metilfenil)-N-(2-metoxi-1-metiletil)acetamida]) também tem sido amplamente utilizado na cultura do milho, aplicado em pré-mergência ou no pré-plantio incorporado para controle de plantas daninhas, sendo um dos herbicidas mais vendidos para a cultura do milho e da soja devido ao seu desempenho seletivo (Carles et al., 2018; Song et al., 2019). O s-metolachlor pertence ao grupo das acetamidas (k3) e é formado por dois isômeros R e dois isômeros S, que estão presentes em proporções iguais no herbicida, sendo o isômero S com maior atividade herbicida que o isômero R (LOWRY et al., 2013).

Galon et al. (2016) observaram que o herbicida s-metolachlor, quando aplicado isoladamente em pré-mergência ou em mistura com atrazina, promoveu alterações morfológicas em cultivares de sorgo sacarino, causando intumescimento dos tecidos e enrolamento dos colmos jovens, levando à redução do crescimento e falha na germinação final da cultura. Isso provavelmente se deve ao principal efeito do s-metolachlor no início do desenvolvimento da planta, sendo absorvido na região do coleóptilo das gramíneas e no hipocótilo das dicotiledôneas (Pimentel et al., 2019).

Cottingham e Hatzios (1992) observaram um crescimento lento de plântulas de milho devido ao prolongamento do tempo de contato entre o coleóptilo e o solo tratado com metolachlor. Outro estudo conduzido por Moore e Locke (2012) avaliou a fitotoxicidade da atrazina e do s-metolachlor em sementes de *Typha latifolia* L., mostrando que a exposição à atrazina em combinação com o s-metolachlor reduziu significativamente o desenvolvimento radicular. Além disso, observou-se um efeito estimulante no desenvolvimento do coleóptilo.

O efeito fitotóxico do s-metolachlor no desenvolvimento de sementes de milho deve-se à sua capacidade de prejudicar algumas atividades metabólicas essenciais, desencadeando estresse oxidativo e inibindo a síntese de ácidos graxos de cadeia longa (Panfili et al., 2019), afetando assim a germinação.

Como a fitotoxicidade de herbicidas em sementes de milho está relacionada a atributos de aplicação, como época e dose, e a atributos do solo, como teor de argila, carbono orgânico e umidade, nossos resultados sugerem que é preferível manejar plantas daninhas com aplicações em pré-mergência em vez de pré-plantio inicial ou incorporado ao solo. O teor de água no solo e a sorção do herbicida devem ser levados em consideração. Na solução do solo, 58 g L<sup>-1</sup> de s-metolachlor + 74 g L<sup>-1</sup> de atrazina podem ser totalmente inibitórios para a emergência das sementes.

A matéria orgânica desempenha importante papel na qualidade do solo, pois sua composição é quantidade afetam diretamente as propriedades físicas, químicas e biológicas

dos solos. Além de melhorar a qualidade dos solos, a matéria orgânica exerce papel fundamental na dinâmica de pesticidas no solo. Sabe-se que a sorção no solo é o principal mecanismo que atuou na diminuição da mobilidade dos pesticidas (MORILLO et al., 2002) e afetou diretamente a sua persistência e biodisponibilidade no ambiente (KHAN, 1978).

Este trabalho teve como objetivo compreender o comportamento de S-metolachlor + atrazine na germinação do milho, sob diferentes teores de matéria orgânica no solo.

## 2. Material e Métodos

É conduzido um experimento em casa-de-vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em que sementes do híbrido comercial de milho AG8701 PRO4 da Agrocerec foram semeadas em bandejas de polipropileno de 200 células, contendo solo misturado a substrato da MaxFertil Substrato para Plantas.

Os substratos foram misturados com a seguinte fórmula:

$$V_2 = \frac{(MO_{\text{final}} - MO_1) \times V_1}{(MO_2 - MO_{\text{final}})}$$

Onde:

$V_2$ : Volume de substrato;

$V_1$ : Volume do solo;

$MO_1$ : porcentagem de matéria orgânica do solo;

$MO_2$ : porcentagem de matéria orgânica do substrato.

O solo utilizado é coletado em uma área dentro do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, cujo teor de matéria orgânica é de 1,37%, conforme resultado de análise laboratorial de solo (Tabela 1).

**Tabela 1:** Análise textural e matéria orgânica do solo coletado.

| Argila (g/kg) | Areia (g/kg) | Silte (g/kg) | MOS (%) |
|---------------|--------------|--------------|---------|
| 304,8         | 575,2        | 120,00       | 1,37    |

Metodologia da EMBRAPA (2017)

Doses do herbicida s-metolachlor + atrazine, nas concentrações de 0%, 2%, 5%, 10%, 20% e 50%, foram aplicadas com pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> após a semeadura. As concentrações foram combinadas com três teores de matéria orgânica do solo, compondo assim um esquema experimental do tipo fatorial 6 × 3, totalizando 18 tratamentos, com 100 repetições cada esquema experimental, submetido a uma combinação de dose do herbicida s-metolachlor + atrazine e teor de matéria orgânica do solo, onde os teores de matéria orgânica foram de 1%, 2% e 6%, onde para ter obtido esses teores de matéria orgânica, é utilizado a fórmula da mistura de substrato. Cada tratamento é conduzido em bandejas de polipropileno de 200 células.

Diariamente, foram realizadas contagens de plântulas emergidas até 10 dias após a semeadura. Também foram capturadas imagens digitais das bandejas com câmera multispectral modelo Mapir® Survey 3, nas bandas Verde (560 nm), Vermelho (660 nm) e Infravermelho Próximo (850 nm), para posterior processamento e cálculo do percentual de emergência de plântulas, visando à automatização da contagem.

Para o processamento dessas imagens, é utilizado o software R, com o pacote EImage (PAU et al., 2010). É aplicada normalização das bandas e, em seguida, é feito o recorte manual da área de interesse da imagem contendo a bandeja, para reduzir o ruído e obter melhor resultado na etapa seguinte de segmentação, aplicando na área um filtro de mediana.

O índice espectral ExG (Excesso de Verde),  $ExG = 2G - R - N$ , é utilizado para segmentar as permitindo realçar os pixels verdes em relação aos outros, tornando as plântulas mais visíveis. Sobre ExG é aplicado o método de Otsu (1979), uma técnica que encontrou o limiar ótimo para separar automaticamente o que era plântula do que era fundo. A partir da imagem binarizada resultante da segmentação, obteve-se a contagem de plântulas a partir do número de segmentos conectados.

Os dados de contagem de germinação foram analisados por meio de modelo de medidas repetidas, utilizando o pacote *nlme* (PINHEIRO & BATES, 2000) no software R ([www.R-project.org](http://www.R-project.org)), para avaliar o efeito das doses e dos diferentes teores de matéria orgânica sobre a emergência de plântulas de milho. Esse tipo de modelo é escolhido para capturar a dependência temporal das contagens de emergência nas bandejas ao longo do período de avaliação. Com o modelo, é investigado o efeito principal dos fatores dose do herbicida, teor de matéria orgânica e tempo, bem como o termo de interação dose x tempo, para verificar se havia diferença de comportamento das doses ao longo do tempo. A qualidade do ajuste é verificada através da análise dos resíduos.

Foi aplicada Análise de Variância (ANOVA) para verificar a significância dos fatores. Em seguida, o pacote ggeffects (Ludecke, 2018) foi utilizado para construir intervalos de confiança para as curvas de dose-resposta, permitindo inferir sobre o efeito das doses e da M.O. sobre a emergência do milho.

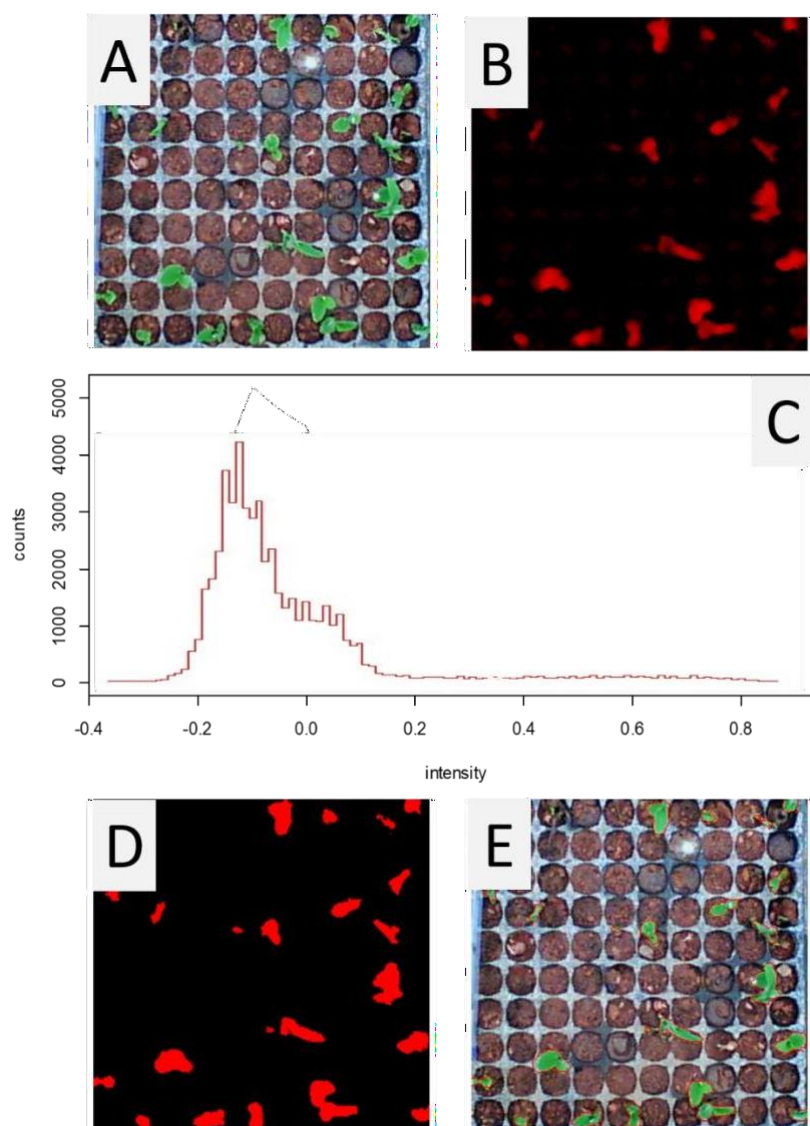
### 3. Resultados e Discussão

A partir do processamento de imagens, é possível estabelecer uma metodologia de avaliação automática da emergência de plântulas de milho. O script apresentado na Fig. 1 empregou o método de Otsu sobre o índice ExG (Excesso de Verde), que realça a vegetação em imagens digitais, para segmentação. Esse procedimento gerou um limiar capaz de separar as regiões verdes (plântulas emergidas) do fundo da imagem. A partir dessa segmentação, é possível quantificar de forma objetiva a emergência de plântulas de milho em diferentes tratamentos com herbicida.

A partir do 5º dia, quando as plântulas passaram a apresentar maior quantidade de pigmentos verdes, o script conseguiu identificar e contabilizar corretamente a emergência. Esse comportamento é compatível com a evolução natural do processo germinativo e demonstrou a sensibilidade do método em acompanhar o desenvolvimento inicial da cultura. No entanto, observou-se que, nas doses mais elevadas do herbicida (10%, 20% e 50%), também não é possível contabilizar a emergência das plântulas, mesmo após o 5º dia.

```
> ExG <- imageData(ExG)
> limiar <- otsu(ExG, range = c(-1, 1.5))
> limiar <- ifelse(limiar < 0.2, NA, limiar)
> limiar
> seg <- ExG > limiar
> plot(seg)
```

**Figura 1:** Script do software R para segmentação de plântulas de milho pelo método de Otsu aplicado ao índice espectral ExG



**Figura 2:** Processo de segmentação de plântulas de milho. **A:** Imagem real original colorida; **B:** Representação do índice espectral de excesso de verde (ExG); **C:** Histograma de ExG para determinação do limiar pelo método de Otsu; **D:** Resultado da segmentação; **E:** Plântulas delineadas.

O uso do script baseado no índice Excesso de Verde (ExG) aliado ao método de Otsu mostrou-se eficiente para a análise automática da emergência de plântulas de milho. O processamento de imagens permitiu separar de forma objetiva as áreas de vegetação do fundo, o que reduziu a subjetividade e a variabilidade que geralmente estavam presentes em avaliações manuais (Fig 2).

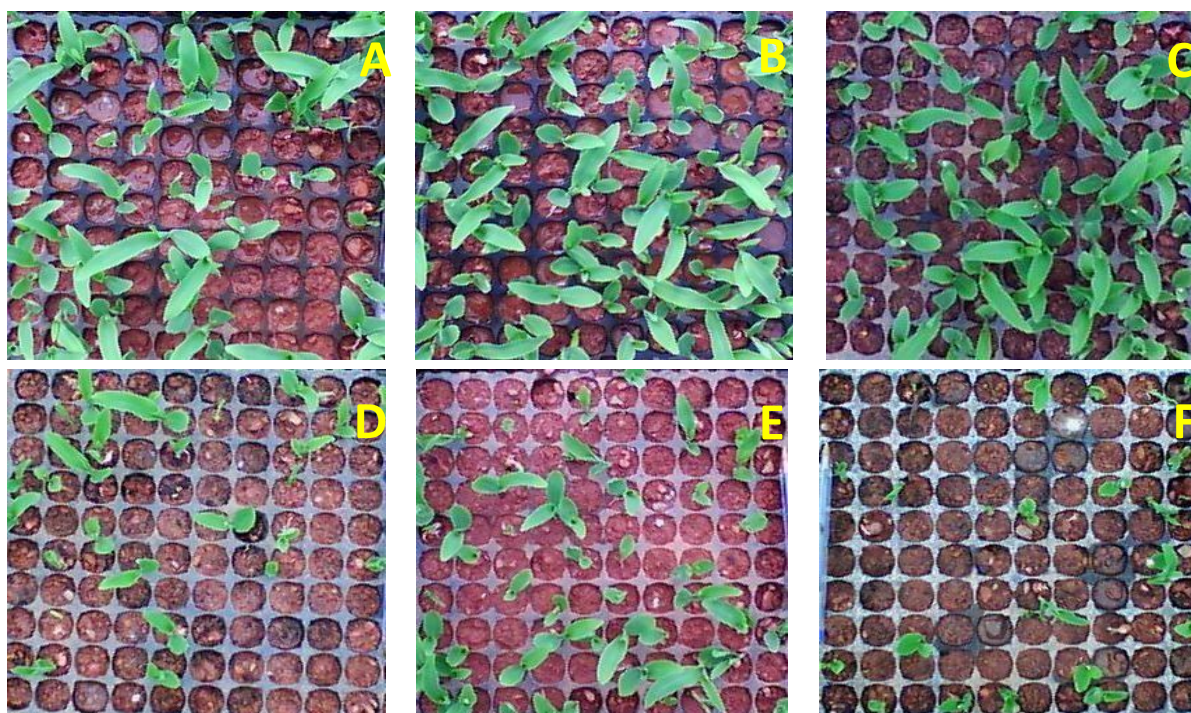
Na fase inicial de emergência de plântulas, não é possível segmentar corretamente, pois a intensidade de pigmentos verdes ainda é insuficiente. Além disso, nos tratamentos de doses mais elevadas, o processamento das imagens não detectou verde suficiente. Esse resultado evidenciou que as doses mais altas do s-metolachlor + atrazine, afetaram diretamente

a emergência de milho, comprometendo o estabelecimento das plântulas e, consequentemente, inviabilizando a contagem pelo método automatizado.

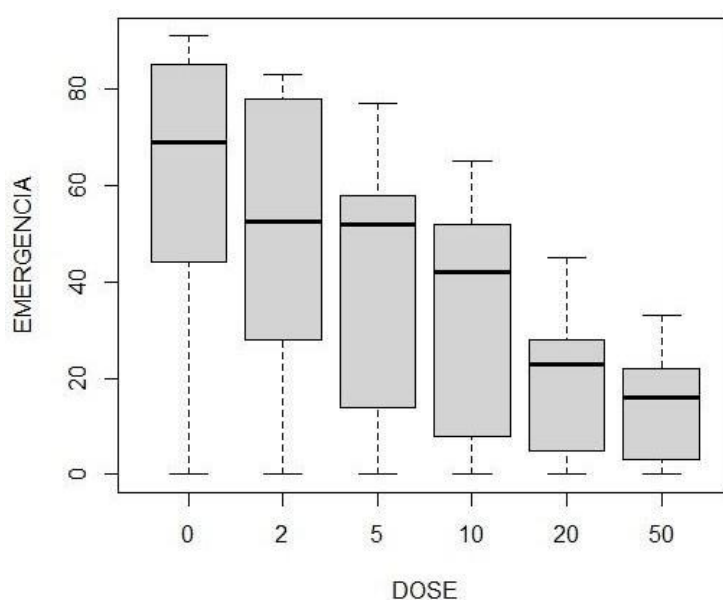
Por outro lado, a partir do 5º dia após emergência, observou-se contagem correta, permitindo acompanhar de forma detalhada a resposta das plantas ao herbicida. Dessa forma, o script não apenas se mostrou eficiente em identificar a emergência quando esta ocorreu, mas também refletiu de maneira clara os efeitos inibitórios do herbicida em doses elevadas, o que contribuiu para uma análise precisa do impacto do produto sobre a cultura.

A Figura 4 apresenta a porcentagem de emergência do milho em relação a seis doses diferentes do herbicida: 0, 2, 5, 10, 20 e 50% de concentração. A emergência das plântulas de milho diminuiu progressivamente com o aumento das doses de S-metolachlor + atrazine (Fig. 3). A testemunha (dose 0%) apresentou os maiores valores de emergência, com mediana (a linha preta no centro de cada caixa) próxima de 70–75%. As doses 2 e 5 causaram redução moderada, com medianas em torno de 55–60%. A partir da dose 10, a emergência caiu de forma mais expressiva, ficando abaixo de 50%.

Nas doses mais altas, de 20 e 50% de concentração, foram observadas as menores emergências, com medianas abaixo de 25%, indicando efeito tóxico severo. Assim, o aumento das doses do herbicida comprometeu diretamente a capacidade de emergência das plântulas. Os box plots indicam uma grande variabilidade nos resultados, refletindo a dinâmica de emergência ao longo do tempo.



**Figura 3:** Bandejas com diferentes dosagens de atrazina + s-metolacoloro em solos com diferentes teores de matéria orgânica. **A:** Testemunha + 1% matéria orgânica **B:** 2% herbicida + 2% matéria orgânica; **C:** 5% herbicida + 6% matéria orgânica; **D:** 10% herbicida + 1% matéria orgânica; **E:** 20% herbicida + 2% matéria orgânica; **F:** 50% herbicida + 6% matéria orgânica.



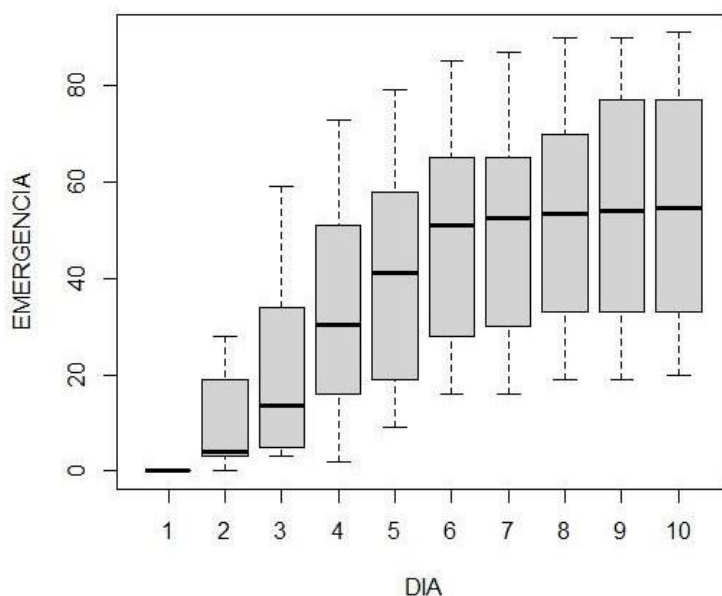
**Figura 4:** Box plots da emergência (%) da plântula de milho para as doses (concentrações de 0 a 50%) de s-metolachlor + atrazine.



O herbicida S-metolachlor + atrazine exerce efeito negativo significativo sobre a emergência do milho à medida que a dose aplicada aumenta. Esse comportamento era esperado, uma vez que herbicidas pré-emergentes podem interferir no metabolismo inicial das plântulas, afetando processos germinativos e o crescimento radicular. No caso do s-metolachlor, ocorre a inibição de ácidos graxos de cadeia muito longa, essenciais para a divisão celular na fase de germinação. De acordo com Santos Junior et al. (2022), há redução da taxa de absorção de água pelas sementes em contato com a solução com o herbicida, com observada redução de emissão de raiz primária. De forma semelhante, Silva et al. (2024) observaram que o aumento das concentrações de herbicidas à base de s-metolachlor resultou em reduções significativas no crescimento radicular e no vigor inicial de plântulas de milho, indicando que a fitotoxicidade ocorre principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento. Além disso, conforme discutido por Landau et al. (2021), herbicidas pré-emergentes apresentam maior potencial de causar efeitos negativos sobre culturas sensíveis quando permanecem disponíveis no solo durante o processo germinativo, especialmente em condições que favorecem sua persistência.

A metodologia baseada em análise de imagens permitiu obter resultados que refletem uma maior sensibilidade observada nas doses de 20% e 50% sugerem que o milho apresenta um limite de tolerância ao produto, acima do qual ocorrem danos suficientes para impedir o estabelecimento adequado das plantas.

Na Figura 5 observa-se a evolução da emergência do milho ao longo dos 10 dias de avaliação, de forma geral, isto é, sem distinguir tratamentos/doses. Nos primeiros três dias, a emergência é baixa e progressiva, atingindo 15% no terceiro dia. A partir do Dia 4 houve um aumento significativo, alcançando 50% de emergência no dia 6.



**Figura 5:** Boxplot da emergência (%) da plântula de milho ao longo dos dias de avaliação.

A partir do sexto dia as plântulas já estavam bem estabelecidas e visivelmente desenvolvidas, indicando o momento de realizar avaliações.

A avaliação do impacto do herbicida s-metolachlor + atrazine na emergência do milho revelou uma clara relação com a dose aplicada. As doses crescentes influenciaram diretamente não apenas a quantidade de plântulas emergidas, mas também o ritmo com que a emergência ocorre ao longo dos dias. Em doses baixas de 0%, 2%, 5% e 10%, o processo de emergência aconteceu de forma mais rápida e com valores mais altos, permitindo que ao longo dos dias seguintes a porcentagem acumulada de emergência aumentasse de maneira constante, como esperado para sementes vigorosas.

Quando em contato com doses do herbicida de 20% e 50%, observa-se um atraso de três a cinco dias no início da emergência e uma redução de 80% o número total de plântulas que conseguem emergir até o décimo dia. Resultando que, enquanto a testemunha e as doses mais baixas apresentaram um crescimento progressivo e saudável ao longo dos dias, as doses mais elevadas resultaram em curvas de emergência muito mais lentas, com início tardio, menor aceleração e estabilização precoce em valores muito baixos (Figura 6).

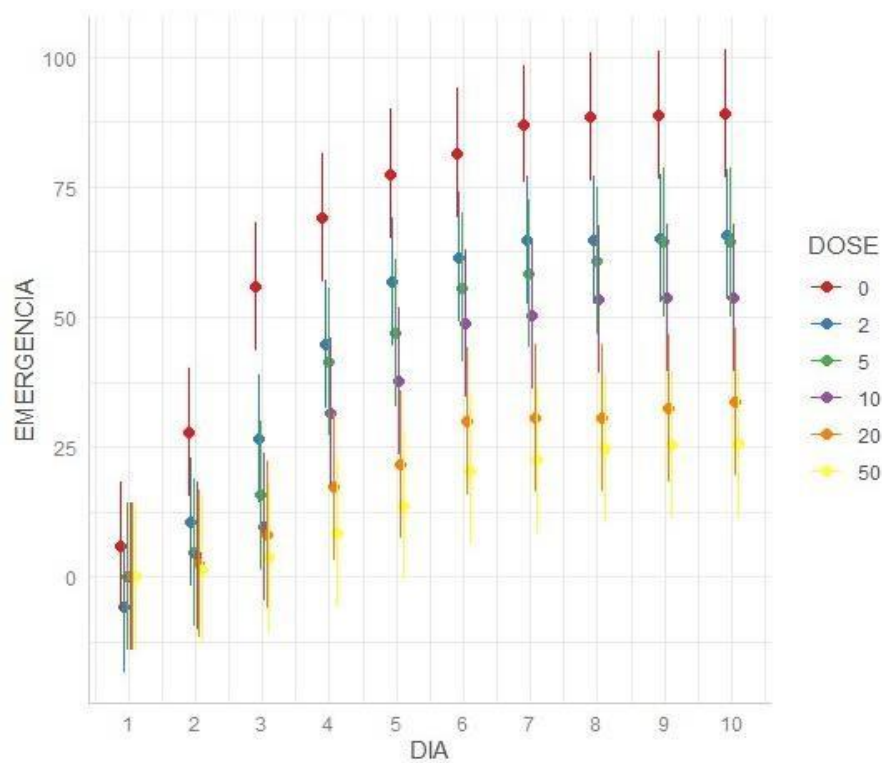
A testemunha apresentou maior velocidade e percentual final de emergência, enquanto as doses intermediárias (2%, 5% e 10%) apresentaram redução gradual, e as doses mais elevadas (20% e 50%), chegaram cerca de 86 plantas que não emergiram, indicando sensível

impacto negativo sobre o estabelecimento inicial da cultura. De acordo com Blanco et al. (2004), reduções no estande causadas por fitotoxicidade de herbicidas pré-emergentes podem resultar em perdas de produtividade entre 10 e 40%, dependendo da intensidade do dano e da capacidade de compensação da cultura. Estudos mais recentes reforçam essa relação. Silva et al. (2024) observaram que a exposição de sementes de milho a herbicidas à base de s-metolachlor compromete o desenvolvimento inicial das plântulas, indicando que a redução do número de plantas emergidas pode limitar o potencial produtivo da cultura. Embora nem sempre a cultura consiga compensar totalmente as falhas de estande, reduções superiores a 20% na emergência geralmente resultam em perdas de produtividade entre 15 e 35%, conforme também discutido por Knezevic et al. (2019) para herbicidas inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia longa.

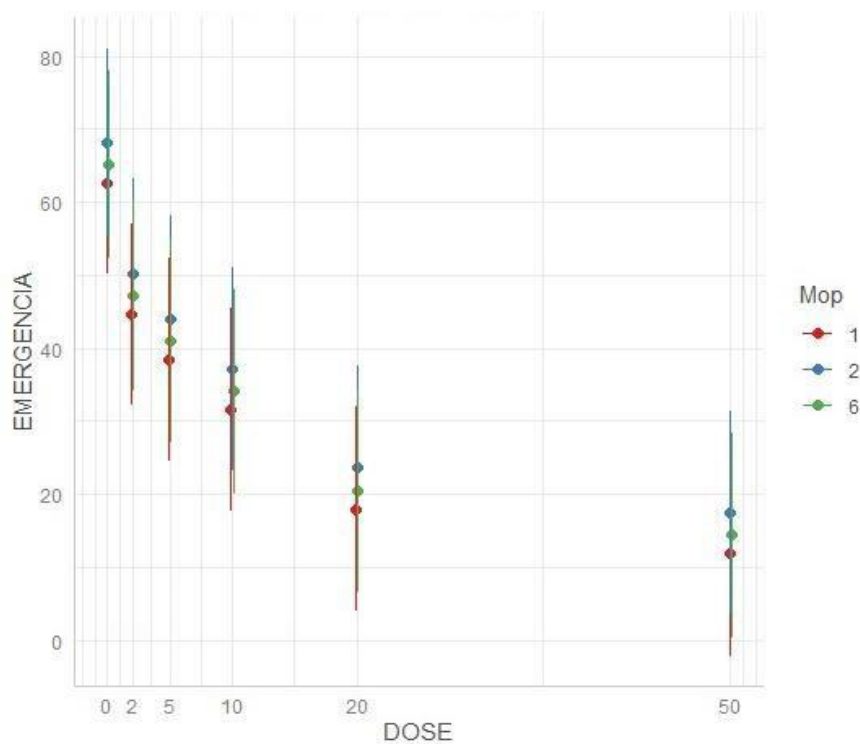
Na figura 6 observa-se que a curva de emergência da testemunha cresce de forma acentuada e se estabiliza ao sexto dia, atingindo entre 80% e 95% de emergência, enquanto as doses crescentes produzem curvas progressivamente mais lentas e deslocadas para baixo. Esse padrão reforça que o herbicida interfere na velocidade de emergência.

Na figura 7, o efeito da matéria orgânica do solo (Mop) sobre a emergência. Observou-se que, independentemente da porcentagem de matéria orgânica (1%, 2% ou 6%), a tendência geral permanece a mesma, ou seja, a emergência diminui conforme aumentam as doses do herbicida.

Embora a diferença entre os níveis não seja extremamente acentuada, esperava-se que o solo com maior matéria orgânica (6%) tendesse a reduzir parcialmente o efeito fitotóxico do herbicida. Em especial nas doses mais elevadas (20% e 50%), o efeito fitotóxico é dominante e supera a capacidade de adsorção do herbicida pelo material orgânico.



**Figura 6:** Efeito das diferentes concentrações do herbicida s-metolachlor + atrazine sobre a emergência do milho.



**Figura 7:** Efeito das diferentes concentrações do herbicida s-metolachlor + atrazine sobre diferentes teores de matéria orgânica no solo (Mop= teor de matéria orgânica) a emergência do milho.

A ausência de um efeito negativo nas doses mais baixas indicou que, sob essas concentrações, as plântulas apresentaram a capacidade de tolerância ao herbicida, permitindo o estabelecimento da cultura. Por outro lado, a redução drástica na emergência observada nas doses de 20% e 50% evidenciaram que essas concentrações foram suficientes para atingir o limite de tolerância da cultura, causando uma fitotoxicidade severa, não sendo possível utilizar a metodologia baseada em imagem para contabilizar plântulas, em função da baixa emergência e desenvolvimento.

Não se observou interação entre a dose do herbicida e o teor de matéria orgânica no solo. A capacidade da matéria orgânica de adsorver e mitigar a toxicidade do herbicida não é evidente, nem nas doses mais baixas. Esse resultado sugeriu que um solo com mais matéria orgânica oferecia uma espécie de proteção natural para a cultura. As curvas temporais de dose e de dose com interação com matéria orgânica indicam que, em concentrações a partir de 5% do produto, há fitotoxicidade moderada à severa no milho, reduzindo emergência de plântulas. Isso mostra um alerta para estudos de persistência e dissipação do produto no solo, em especial em áreas com alta intensidade de cultivos anuais, sem influência significativa da matéria orgânica sobre o potencial fitotóxico.

#### **4. Conclusões**

O herbicida S-metolachlor + atrazine reduz a emergência do milho de forma proporcional ao aumento da dose.

Concentrações de 2 e 5% permitiram obter germinação moderada, entre 50 e 70%; concentrações superiores têm forte inibição biológica sobre as plântulas de milho.

A matéria orgânica do solo não mitigou os efeitos fitotóxicos do herbicida nas concentrações testadas.

A aplicação do índice espectral de excesso de verde associado a segmentação de plântulas é eficaz no processo de automatização de contagem de emergência de milho, para avaliações realizadas entre o terceiro e décimo dia da semeadura.

## 5. Referências

- BARROS, J. F. C., & CALADO, J. G. A Cultura do Milho. Universidade de Évora. 2014. Carles L, Joly M, Bonnemoy F, Leremboure M, Donnadiou F, Batisson I e Besse-Hoggan P. Biodegradação e toxicidade de uma mistura de herbicidas para milho: mesotriona, nicosulfuron e S-metolacolor. Diário de Materiais Perigosos v.354, p.42-53, 2018.
- BLANCO, F. M. G. et al. Efeitos da redução do estande de plantas na produtividade do milho. Planta Daninha, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 353-360, 2004.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Segundo levantamento, novembro 2023 – safra 2023/2024.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023.
- Cottingham CK and Hatzios KK. Basis of differential tolerance of two corn hybrids (Zea mays) to metolachlor. Weed Sciences, v.40, p.359-363, 1992.
- FAHAD, S., HUSSAIN, S., HASSAN, S., MUHAMMAD, H., SHAN, D., CHEN, C., WU, C., XIONG, D., KHAN, A.B.; JAN, A., CUI, K., HUANG, J.. Consequences of narrow crop row spacing and delayed Echinochloa colona and Trianthema portulacastrum emergence for weed growth and crop yield loss in maize. Weed Research, v. 54. n. 5, p. 475-483, 2014.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: BORÉM, A. GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. Milho: do plantio à colheita. 2ed, Editora UFV, p. 49, 2017.
- GALON, L.; FERNANDES, F.F.; ANDRES, A.; SILVA, A.F.; FORTE, C.T. Selectivity and efficiency of herbicides in weed control on sweet sorghum. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, n.123131, 2016.
- KHAN, S.U. The interaction of organic matter with pesticides. Developments in Soil Science. New York, v. 8, p. 137-171, 1978.
- KNEZEVIC, S. Z. et al. Herbicide injury and crop response associated with chloroacetamide herbicides. Weed Technology, v. 33, n. 2, p. 250-258, 2019.

LANDAU, C. A. et al. Future efficacy of pre-emergence herbicides in corn (*Zea mays*) is threatened by more variable weather. *Pest Management Science*, Hoboken, v. 77, n. 6, p. 2751-2760, 2021.

LERRO, C.C.; BEANE FREEMAN, L.E.; PORTENGEN, L.; KANG, D.; LEE, K.; BLAIR, A.; LYNCH, C.F.; BAKKE, B.; DE ROOS, A.J.; VERMEULEN, R.C. Um estudo longitudinal da exposição à atrazina e 2,4-D e marcadores de estresse oxidativo entre agricultores de milho de Iowa. *Mutagênese ambiental e molecular*, v.58, n.1, p.30–38, 2017.

LOWRY, D.M.; GREINER, D.; FRETHEIM, M.; UBBEN, M. E.; DHANWADA, K.R. Mecanismo de ação do metolacolor devido a alterações na progressão do ciclo celular. *Cell Biol Toxicol.*, v.29, p.283– 291, 2013.

LÜDECKE, D. ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models. *Journal of Open Source Software*, v.3, n.26, p.772, 2018.

MOORE, M.T.; LOCKE, M.A. Phytotoxicity of Atrazine, S-Metolachlor, and Permethrin to *Typha latifolia* (Linneaus) Germination and Seedling Growth. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v.89, p.292–295, 2012.

MORILLO, E.; MAQUEDA, C.; REINOSO, R.; UNDABEYTIA, T. Effect of two organic amendments on norflurazon retention and release by soils of different characteristics. *Environmental Science and Technology*. Easton, v. 36, p. 4319– 4325, 2002.

OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions 10 on Systems, Man, and Cybernetics* v.9, p. 62-66, 1979.

PAU, G. et al. EBImage—an R package for image processing with applications to cellular phenotypes. *Bioinformatics*, v.26, n.7, 979 - 981, 2010.

PELEG, M. An empirical-model for the description of the moisture sorption curves. *Journal of Food Science* v.53, p.1216–1217, 1988.

QI Y, YAN B, FU G, GUAN X, DU L AND LI J. Germination of seeds and seedling growth of *Amaranthus retroflexus* L. following sublethal exposure of parent plants to herbicides. *Sci Rep*, v.7, n.1, 157, 2017.

SANTOS JUNIOR, C. M. ; SILVA, M. S. ; SANTOS, P. V. ; ROCHA, R. A. ; FREITAS, M. A. M. ; DA SILVA, ANDERSON R. . Image-based modelling of the effect of s-metolachlor plus atrazine on the soaking kinetics of maize seeds. *International Agrophysics*, v. 36, p. 155-161, 2022.

SANTOS JÚNIOR, Carlito Marçal dos. S-metolachloro e atrazina afetam a cinética de absorção de água e a emissão radicular de sementes de milho: análise de imagem. 2021. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí, 2021.

SILVA, M.R.M., PEIXOTO, M.C.R., SANTOS, R.N.V., CARDOSO, M.P., PIRES, H.P. Banco de sementes de plantas espontâneas após cultivo do milho sob cobertura de palha de babaçu. *Cadernos de Agroecologia* ISSN 2236-7934-Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF–v.13, n.1, p.1-6, 2018.

SILVA, Q. M. et al. Effects of a S-metolachlor-based herbicide on two plant models: *Zea mays* L. and *Lactuca sativa* L. *Environmental Science and Pollution Research*, Cham, v. 31, p. 1-12, 2024.

SILVA, Q. M. et al. Effects of a S-metolachlor-based herbicide on *Zea mays* L. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, v. 87, n. 18, p. 719-729, 2024.

SILVEIRA, D. C. et al. Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. *Rev. Ciência e Tecnologia*, Rio Grande do Sul, v. 1, p. 01-11, n. 1, 2015.

SOUZA, Rafaela Carvalho de. Ecotoxicidade de herbicidas à base de nicosulfuron e Smetolachlor: uma abordagem comparativa entre modelos vegetais. 2023. 58 f. Dissertação (Mestrado em Botânica Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

VENCILL, W. K. et al. *Herbicide Handbook*. 10. ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2012.