Desenho de personagem de desenhos animados com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente com confiança médiaImagem digital fictícia de personagem de desenho animado

Descrição gerada automaticamente com confiança baixaUNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**O Processo de Detecção do Efeito de Herbicidas e Outros Estressores em Plantas Herbáceas: Uma Abordagem de Visão Computacional e de Aprendizado de Máquina**

MESTRANDA **Me. LEANDRO GAMELEIRA DO REGO**

ORIENTADOR **Dr. PATRICIO DE ALENCAR SILVA**

**Mossoró-RN**

**2024**

LEANDRO GAMELEIRA DO REGO

**O Processo de Detecção do Efeito de Herbicidas e Outros Estressores em Plantas Herbáceas: Uma Abordagem de Visão Computacional e de Aprendizado de Máquina**

Texto apresentada como requisito para Qualificação de Pesquisa de Mestrado. do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação da Universidade Federal Rural do Semiárido em Conjunto com a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

Linha de Pesquisa: Engenharia de Software e Sistemas Computacionais (ESSC).

Orientador: Nome Completo, Prof. Dr. Patricio de Alencar Silva.

**Mossoró – RN**

**2024**

**SUMÁRIO**

[ÍNDICE DE FIGURAS 6](#_Toc161085320)

[ÍNDICE DE TABELAS 6](#_Toc161085321)

[ÍNDICE DE SIGLAS 6](#_Toc161085322)

[1. INTRODUÇÃO 7](#_Toc161085323)

[1.1. Contexto do Estudo 7](#_Toc161085324)

[1.2. Problemática da Pesquisa 8](#_Toc161085325)

[1.2.1. Questão Geral: 8](#_Toc161085326)

[1.2.2. Questões Conceituais 8](#_Toc161085327)

[1.2.3. Questões Técnicas: 8](#_Toc161085328)

[1.2.4. Questões Práticas: 9](#_Toc161085329)

[1.3. Objetivos 9](#_Toc161085330)

[1.3.1. Objetivo Geral: 9](#_Toc161085331)

[1.3.2. Objetivos Específicos: 9](#_Toc161085332)

[1.4. Metodologia 10](#_Toc161085333)

[1.4.1. Revisão Sistemática de Literatura: 10](#_Toc161085334)

[1.4.2. Prototipação 11](#_Toc161085335)

[1.4.3. Validação e Implementação 12](#_Toc161085336)

[1.5. Premissas 12](#_Toc161085337)

[1.6. Estrutura do Trabalho 13](#_Toc161085338)

[2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA 15](#_Toc161085339)

[2.1. PROTOCOLO 15](#_Toc161085340)

[2.2. ESCOPO 15](#_Toc161085341)

[2.2.1. Objetivos da RSL 16](#_Toc161085342)

[2.2.2. Especificação da RSL 16](#_Toc161085343)

[2.3. QUESTÕES DE PESQUISA 17](#_Toc161085344)

[2.3.1. Questão Geral: 17](#_Toc161085345)

[2.3.2. Questões Conceituais 17](#_Toc161085346)

[2.3.3. Questões Técnicas: 17](#_Toc161085347)

[2.3.4. Questões Práticas: 17](#_Toc161085348)

[2.4. ESTRATÉGIA DE BUSCA 18](#_Toc161085349)

[2.4.1. Critério de Seleção das Fontes 18](#_Toc161085350)

[2.4.2. Bases de Dados 18](#_Toc161085351)

[2.4.3. Palavras-chave 19](#_Toc161085352)

[2.4.4. *String* de Busca 20](#_Toc161085353)

[2.4.5. Estratégia de Pesquisa 21](#_Toc161085354)

[2.5. DEFINIÇÕES DE SELEÇÃO 21](#_Toc161085355)

[2.5.1. Critérios de Inclusão 21](#_Toc161085356)

[2.5.2. Critérios de Exclusão 22](#_Toc161085357)

[2.5.3. Critérios de Qualidade 23](#_Toc161085358)

[2.6. PROCEDIMENTO PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS 24](#_Toc161085359)

[2.6.1. Etapa 1: Planejamento e Definição de Critérios 24](#_Toc161085360)

[2.6.2. Etapa 2: Execução da Busca e Seleção dos Estudos 24](#_Toc161085361)

[2.6.3. Etapa 3: Avaliação, Síntese e Conclusão 25](#_Toc161085362)

[2.7. EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO 25](#_Toc161085363)

[2.8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 26](#_Toc161085364)

[3. MODELO DE ONTOLOGIA PARA DETECÇÃO DOS EFEITOS DE HERBICIDAS EM PLANTAS DANINHAS. 32](#_Toc161085365)

[3.1. CONCEITUAÇÃO DA ONTOLOGIA 33](#_Toc161085366)

[3.1.1. Ontologia na Web Semântica 33](#_Toc161085367)

[3.1.2. OntoUML: Fundamentação Conceitual para Ontologias 34](#_Toc161085368)

[3.1.3. OWL: Linguagem para Representação de Ontologias 34](#_Toc161085369)

[3.1.4. Integração Harmoniosa: Ontologia, OntoUML e OWL 35](#_Toc161085370)

[3.2. ESPECIFICAÇÕES DA ONTOLOGIA 35](#_Toc161085371)

[3.2.1. Documento de Requisitos da Ontologia (ORSD) 35](#_Toc161085372)

[3.3. ONTOLOGIA DE REFERÊNCIA 38](#_Toc161085373)

[3.3.1. Visão de Computação 39](#_Toc161085374)

[3.3.1. Visão de Agricultura 40](#_Toc161085375)

[3.3.1. Visão de Agricultura 40](#_Toc161085376)

[3.4. ONTOLOGIA OPERACIONAL 41](#_Toc161085377)

[3.4.1. Estrutura da Ontologia 42](#_Toc161085378)

[4. CRONOGRAMA 46](#_Toc161085379)

[5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 48](#_Toc161085380)

[5.1. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL) 48](#_Toc161085381)

[5.1.1. Tecnologias Identificadas na RSL 49](#_Toc161085382)

[5.2. ONTOLOGIA: 50](#_Toc161085383)

[5.2.1. Usos Potenciais da Ontologia 51](#_Toc161085384)

[5.3. OBJETIVOS E ESCOPOS DA PESQUISA 52](#_Toc161085385)

[6. REFERÊNCIAS 53](#_Toc161085386)

# ÍNDICE DE FIGURAS

[Figura 1: Ciclo da Pesquisa Design Science 10](#_Toc161085387)

[Figura 2: Diagrama de Visão de Domínio Computação 39](#_Toc161085388)

[Figura 3: Diagrama de Visão de Domínio Agricultura 40](#_Toc161085389)

[Figura 4: Diagrama de Visão de Domínio Bioquímica 41](#_Toc161085390)

# ÍNDICE DE TABELAS

[Tabela 1: Palavras-chave e Sinônimos 19](#_Toc161084504)

[Tabela 2: Exemplo de String de Busca 21](#_Toc161084505)

[Tabela 3: Quantidades de Artigos Selecionados por Base de dados 24](#_Toc161084506)

[Tabela 4: MODELO DE PLANILHA DE DADOS SUMARIZADOS 25](#_Toc161084507)

[Tabela 5 - Sumarização dos Resultados da RSL 28](#_Toc161084508)

[Tabela 6: ORSD 36](#_Toc161084509)

[Tabela 7: Estrutura do Ontologia 42](#_Toc161084510)

[Tabela 8: Cronograma de Execução da Pesquisa 47](#_Toc161084511)

# ÍNDICE DE SIGLAS

ORSD: Ontology Requirements Specification Document

SI: Sistema de Informação

OWL: Web Ontology Language

NFR: Requisito Não Funcional (do inglês, Non-Functional Requirement)

QC: Questão de Pesquisa (do inglês, Research Question)

IRI: Identificador de Recurso Internacional (do inglês, Internationalized Resource Identifier)

API: Interface de Programação de Aplicações (do inglês, Application Programming Interface)

UAV: Veículo Aéreo Não Tripulado (do inglês, Unmanned Aerial Vehicle)

RF: Requisito Funcional

OntoUML: Unified Modeling Language for Ontologies

F1-score: Pontuação F1 (métrica de avaliação para tarefas de classificação)

IoT: Internet das Coisas (do inglês, Internet of Things)

# INTRODUÇÃO

O uso de herbicidas desempenha um papel fundamental no controle de plantas daninhas e na manutenção da produtividade agrícola. Os herbicidas são substâncias químicas desenvolvidas para eliminar ou reduzir o crescimento de plantas indesejadas, conhecidas como plantas daninhas, que competem por recursos vitais, como luz, água e nutrientes, com as plantas cultivadas. Embora esses produtos químicos sejam amplamente utilizados, é essencial entender os efeitos que eles podem ter nas plantas herbáceas, que são um componente vital dos ecossistemas naturais e dos sistemas agrícolas. As plantas herbáceas, caracterizadas por caules macios e flexíveis, desempenham papéis importantes nos ecossistemas, incluindo a ciclagem de nutrientes, a estabilização do solo e a proteção contra a erosão. No entanto, quando expostas aos herbicidas, essas plantas podem sofrer uma série de efeitos negativos que podem afetar seu crescimento, desenvolvimento e sobrevivência.

Os efeitos dos herbicidas em plantas podem variar dependendo da espécie de planta, do tipo de herbicida utilizado, da dose aplicada e das condições ambientais em que as plantas estão expostas. Esses efeitos podem incluir descoloração das folhas, amarelecimento, necrose, inibição de crescimento, redução na taxa de fotossíntese e alterações na estrutura celular. Além disso, os herbicidas podem ter efeitos indiretos, influenciando a composição e a diversidade da comunidade de plantas herbáceas em ecossistemas naturais ou agrícolas. Compreender os efeitos dos herbicidas em plantas herbáceas é crucial para garantir a eficácia do controle de plantas daninhas, bem como minimizar os impactos negativos no meio ambiente. Além disso, a investigação desses efeitos pode levar ao desenvolvimento de estratégias de manejo mais sustentáveis, como o uso de herbicidas seletivos ou o desenvolvimento de plantas herbáceas resistentes ou tolerantes a herbicidas.

## Contexto do Estudo

A detecção visual do efeito de herbicidas em plantas herbáceas pode ser realizada por meio da observação de características visíveis nas plantas, como alterações de cor, necrose, crescimento retardado, deformações foliares ou outras anomalias. Essa detecção visual pode ser realizada tanto em campo quanto em laboratório.

A detecção do efeito de herbicidas em plantas herbáceas usando processamento digital de imagens é uma abordagem promissora que combina a tecnologia de visão computacional com a análise de imagens para avaliar objetivamente os efeitos dos herbicidas nas plantas. Essa abordagem permite uma análise mais precisa, automatizada e quantitativa, superando as limitações da detecção visual subjetiva. É importante destacar que a implementação específica de um algoritmo de processamento de imagens para a detecção do efeito de herbicidas em plantas herbáceas pode variar dependendo das características das plantas, dos herbicidas utilizados e das condições experimentais.

## Problemática da Pesquisa

### Questão Geral:

* Como Identificar visualmente de maneira ágil o efeito de herbicidas em plantas daninhas utilizando Algorítmicos de processamento digital de Imagens

### Questões Conceituais

* Como herbicidas são atualmente aplicados no combate a ervas daninhas em contato com culturas de base (p.ex.: milho, soja ou feijão)?
  + Como é feita a identificação visual de características de plantas daninhas?
  + Como os herbicidas são aplicados com base nesse tipo de identificação?
  + Quais são os problemas atuais nesse tipo de abordagem?

### Questões Técnicas:

* Como o processamento digital de imagens pode ser utilizado para detectar e avaliar objetivamente o efeito de herbicidas em ervas daninhas e culturas de base?
  + Quais características de imagem são mais relevantes para a detecção e quantificação dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?
  + Quais métodos de segmentação de imagens são mais eficazes para isolamento das áreas de interesse?
  + Quais combinações de técnicas de processamento digital de imagens poderiam ser usadas para uma análise mais precisa dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?

### Questões Práticas:

* Quais impactos econômicos e ambientais podem derivar de uma abordagem baseada em processamento digital de imagens para monitoramento de ervas daninhas?
  + Em que os resultados obtidos por meio do processamento digital de imagens são mais precisos do que observações visuais ou medições laboratoriais tradicionais?
  + Quais seriam os benefícios econômicos ou ambientais do uso de tal abordagem? Quais partes interessadas poderiam ser beneficiadas e como?

## Objetivos

Nesta pesquisa, exploraremos os efeitos dos herbicidas em plantas herbáceas, abordando questões relacionadas às respostas fisiológicas e bioquímicas das plantas, interações com fatores ambientais, desenvolvimento de resistência, impactos em ecossistemas adjacentes e alternativas aos herbicidas convencionais.

### Objetivo Geral:

* Ao avançarmos em nosso entendimento sobre esse tema, esperamos contribuir para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e o manejo eficaz de plantas daninhas, preservando a saúde das plantas herbáceas e a integridade dos ecossistemas em que elas estão inseridas.

### Objetivos Específicos:

* Elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura sobre o processo de identificação visual do efeito de herbicidas em plantas daninhas utilizando processamento digital de imagens.
* Construir um portifólio de Algoritmos que permita o processamento de imagens digitais que permita agilizar o processo de identificação dos efeitos dos herbicidas em plantas, principalmente em ervas daninhas.
* Identificar quais os principais benefícios da utilização de Processamento de imagens no processo de controle de plantas daninhas em culturas agrícolas.

## Metodologia

Nesta seção traz uma explanação sobre o paradigma Design Science, que será utilizada no desenvolvimento deste estudo, e sobre cada método a ser desenvolvida, contemplada por um círculo dessa metodologia: investigação do problema, projeto de tratamento e validação.

#### Figura 1: Ciclo da Pesquisa Design Science

Diagrama

Descrição gerada automaticamente  
Fonte: Elaboração do Autor.

A Figura 1 apresenta os métodos que serão desenvolvidos durante a pesquisa, partindo das questões que compõem o conjunto problema ´para que se possa chegar ao conjunto solução desejado.

### Revisão Sistemática de Literatura:

A sistematização da literatura tem como objetivo identificar, por meio de um processo minucioso, estudos que abordam os métodos de identificação dos efeitos visuais de herbicidas na vegetação, principalmente nas ervas daninhas. A intenção do estudo é buscar identificar em artigos a serem selecionados, sobretudo, os métodos que se utilizam de processamento digital de imagens com esse fim; buscando também aferir as limitações encontradas, os algoritmos empregados, os requisitos considerados e os métodos de validação empregados.

Para tanto, far-se-á buscas em bases de dados como CAB Abstracts, Current Contents Connect, IEEE Xplore Digital Library, Scopus e Science Direct e Web of Science, entre outras, que possam abranger a área de pesquisa em Processamento digital de imagens e/ou efeitos de herbicidas em plantas.

Ao realizar as buscas, serão utilizados critérios de inclusão e exclusão pré-definidos, a fim de selecionar os estudos relevantes para o objetivo da pesquisa. Os critérios podem ter envolvido aspectos como o período de publicação, idioma, tipos de estudo, entre outros, de acordo com estratégia definida para cada base de dados. Após a busca, os artigos serão submetidos a uma análise detalhada, com o intuito de extrair informações relevantes sobre os métodos empregados, bem como limitações, arquiteturas, requisitos e validações realizadas.

A sistematização da literatura visa proporcionar uma visão abrangente e organizada sobre o estado ora proposto relacionada com o desenvolvimento de um artefato, algoritmo e/ou instrumento metodológico que permita aferir visualmente por meio de processamento digital o efeito de herbicidas em plantas daninhas. A análise crítica dos estudos disponíveis permitirá identificar lacunas no conhecimento e direcionar esta e outras pesquisas nesse campo.

### Prototipação

O objetivo da prototipação é projetar e implementar os artefatos da pesquisa. O primeiro passo nesse processo é o desenvolvimento de um algoritmo de processamento de imagens que permita a identificação e isolamento das plantas a serem analisadas e em seguida identifique se elas estão sofrendo efeitos de degradação resultante de envenenamento por herbicidas. O processo de desenvolvimento do algoritmo seguirá os seguintes passos: Coleta e preparação dos dados, Definição de variáveis e características, Desenvolvimento do modelo de detecção, Validação do modelo e Implementação e integração.

A Coleta e preparação dos dados será necessário para obter informações relevantes sobre as plantas em estudo, como características morfológicas, dados espectrais, histórico de aplicação de herbicidas e registros de possíveis sintomas de envenenamento. Esses dados serão preparados e organizados para serem utilizados no desenvolvimento do algoritmo.

A Definição de variáveis e características será feita com base nos dados coletados, sendo necessário identificar as que sejam relevantes para a detecção de envenenamento por herbicidas. Isso pode incluir propriedades espectrais das plantas, alterações morfológicas, presença de sintomas específicos e informações sobre o uso de herbicidas na região.

O Desenvolvimento do modelo de detecção se utilizará das variáveis e características relevante identificadas, e permitirá a detecção usando técnicas de aprendizado de máquina e/u processamento digital de imagem. O modelo será treinado utilizando um conjunto de dados anotados, onde as plantas afetadas pelo envenenamento por herbicidas são marcadas como positivas e as plantas saudáveis como negativas. O objetivo é que o modelo aprenda a distinguir entre plantas saudáveis e afetadas.

### Validação e Implementação

A Validação da solução será feita após o treinamento do modelo, que será testado em um conjunto de dados separado e não utilizado no treinamento. A precisão e eficácia do algoritmo serão avaliadas por meio de métricas apropriadas, como a taxa de acerto, a sensibilidade e a especificidade. Serão feitas análises comparativas para verificar se o algoritmo é capaz de identificar corretamente as plantas envenenadas e distinguir das plantas saudáveis.

Uma vez validado, o algoritmo será implementado em uma aplicação ou sistema de suporte para análise de plantas envenenadas por herbicidas. Esse sistema pode ser integrado a outras ferramentas ou dispositivos utilizados na análise e monitoramento de plantas, permitindo a identificação rápida e precisa dos efeitos de degradação resultantes do envenenamento.

Ao seguir esses passos, o desenvolvimento do algoritmo permitirá a identificação e isolamento das plantas a serem analisadas, bem como a detecção de possíveis efeitos de degradação resultantes do envenenamento por herbicidas. Isso proporcionará uma abordagem eficiente para monitorar e avaliar o impacto desses produtos nas plantas, auxiliando na tomada de decisões e no manejo adequado dos recursos vegetais.

## Premissas

Para o desenvolvimento do trabalho de detecção do efeito de herbicidas em plantas daninhas, é importante considerar algumas premissas que podem influenciar o projeto tais como:

* Disponibilidade de dados: É fundamental contar com dados adequados para treinar e validar o algoritmo de detecção. Isso inclui a disponibilidade de registros históricos sobre o uso de herbicidas, dados espectrais das plantas, informações sobre sintomas de envenenamento e outros dados relevantes. A qualidade e representatividade desses dados serão cruciais para o sucesso do trabalho.
* Acesso a especialistas e recursos: É importante contar com a expertise de profissionais especializados em herbicidas, toxicologia vegetal e detecção de envenenamento em plantas. Esses especialistas podem fornecer insights valiosos para o desenvolvimento do algoritmo, bem como orientação durante o processo de validação e interpretação dos resultados.
* Variedade de plantas e herbicidas: É essencial considerar uma ampla variedade de espécies vegetais e diferentes tipos de herbicidas em desenvolvimento do algoritmo. Os efeitos de envenenamento podem variar entre espécies e diferentes produtos químicos. Portanto, é importante ter uma amostra representativa que abranja diferentes combinações de plantas e herbicidas relevantes para a aplicação em questão.
* Validação cruzada: Um procedimento importante para avaliar a robustez e eficácia do algoritmo desenvolvido é a validação cruzada. Isso envolve testar o algoritmo em conjuntos de dados diferentes dos utilizados no treinamento, a fim de verificar sua capacidade de generalização. A validação cruzada ajuda a mitigar o risco de overfitting e fornece uma avaliação mais realista do desempenho do algoritmo.
* Avaliação constante e refinamento iterativo: O desenvolvimento de um algoritmo de detecção é um processo contínuo e iterativo. À medida que novos dados são coletados e o algoritmo é aplicado em diferentes contextos, é importante avaliar constantemente sua eficácia e realizar refinamentos necessários. Isso pode envolver a inclusão de novas características, ajustes nos parâmetros do modelo ou a exploração de técnicas de aprendizado de máquina mais avançadas.

Essas premissas fornecem uma base para o desenvolvimento do trabalho de detecção de envenenamento de plantas daninhas por herbicidas. Levá-las em consideração ajudará a orientar o projeto, garantindo a utilização de dados adequados, o envolvimento de especialistas relevantes e a busca contínua por melhorias no algoritmo de detecção.

## Estrutura do Trabalho

Uma provável estrutura para a pesquisa de detecção dos efeitos de herbicidas em ervas daninha, considerando a revisão sistemática de literatura, a prototipação e a validação do algoritmo seria:

* **Introdução:** Este capítulo trará a contextualização do problema do envenenamento por herbicidas em plantas tanto herbáceas quanto da cultura principal, além de apresentar a importância da detecção precoce e precisa desse fenômeno, assim como a exposição mais minuciosa do problema abordado e objetivos do trabalho.
* **Revisão Sistemática de Literatura:** Descreverá os procedimentos realizados para indexação da leitura revisória, apresentando as bases de pesquisas e os critérios de seleção dos textos, trazendo uma discussão sobre os estudos encontrados, sobre os métodos utilizados os resultados e as limitações encontrados com relação ao tema da detecção de efeitos de herbicidas em plantas, Além da Identificação de lacunas no conhecimento e justificativa para o desenvolvimento da solução proposta.
* **Metodologia:** Descrição dos passos metodológicos adotados para o desenvolvimento da solução e o detalhamento da coleta e preparação dos dados utilizados, explicando a escolha das variáveis e características relevantes para a detecção proposta, assim como as técnicas de aprendizado de máquina e/ou processamento de imagem empregadas na prototipação do algoritmo e a descrição dos procedimentos de validação adotados.
* **Prototipação da Ferramenta:** fará a descrição da construção das ontologias de domínio na área da saúde, que serviram como base para o desenvolvimento do algoritmo, apresentando as etapas de modelagem e iterações realizadas para alcançar um modelo adequado, discutindo os resultados obtidos durante a prototipação, destacando os desafios enfrentados e as soluções encontradas.
* **Validação do algoritmo:** Apresentará os conjuntos de dados utilizados na validação do algoritmo e a descrição dos procedimentos de validação cruzada adotados, analisando os resultados obtidos, incluindo métricas de desempenho e comparação com outros métodos ou abordagens existentes, além de fazer uma discussão dos resultados, a interpretação destes e sua relevância para a detecção de envenenamento de plantas daninha por herbicidas.
* **Considerações Finais:** Trará uma recapitulação dos principais pontos do trabalho. Fazendo uma discussão dos impactos e contribuições da solução proposta, e apresentando os possíveis trabalhos futuros para aprimoramento e expansão do algoritmo.

Essa estrutura proposta permite abordar de forma organizada e sequencial os diferentes estágios do trabalho, desde a revisão sistemática da literatura até a validação do algoritmo desenvolvido.

# REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

A compreensão dos efeitos do estresse em plantas herbáceas é de fundamental importância para a agricultura e ecologia, visto que essas plantas desempenham papéis cruciais nos ecossistemas terrestres. Nos últimos anos, houve um aumento notável no interesse por abordagens inovadoras que utilizam processamento digital de imagens e aprendizado de máquina para identificar e quantificar os efeitos do estresse nas plantas de forma eficiente e não invasiva. Esta revisão sistemática de literatura tem como objetivo analisar e sintetizar as pesquisas mais recentes nesse campo emergente, explorando as metodologias empregadas, os desafios enfrentados e os avanços alcançados na detecção e avaliação de respostas ao estresse em plantas herbáceas por meio dessas tecnologias de ponta.

## PROTOCOLO

O protocolo representa uma estrutura meticulosa na fase de planejamento de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), onde se delineiam as etapas do processo e sua execução procedimental. A prévia definição de um protocolo detém importância crucial para mitigar possíveis vieses no decorrer da revisão, prevenindo que as etapas sejam influenciadas por predisposições do pesquisador (KITCHENHAM, 2004). O protocolo adotado nesta RSL baseou-se no modelo proposto por Biolchini et al. (2007), além de incorporar diretrizes do trabalho de Kitchenham (2004). Este protocolo de revisão delineou os objetivos e a abrangência, as questões de pesquisa e as estratégias de busca e seleção, detalhados nas seções subsequentes.

## ESCOPO

A motivação para a condução desta Revisão Sistemática de Literatura (RSL) emerge da necessidade intrínseca de explorar estudos relacionados à detecção dos impactos de estressores em plantas herbáceas, empregando avançadas abordagens de processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina. O objetivo primordial é discernir pesquisas que abarquem as aplicações dessas tecnologias inovadoras no campo da ecologia vegetal. Dado que a compreensão das respostas das plantas aos estressores é de vital importância para a sustentabilidade agrícola e ambiental, a utilização dessas técnicas avançadas pode lançar luz sobre relações complexas e sutis. Através dessa revisão, almeja-se obter uma visão ampla do estado atual das pesquisas nesse domínio, identificando abordagens eficazes, desafios subjacentes e direções futuras de investigação. Assim, os objetivos e o escopo delineados a seguir visam atender a essa demanda crescente por conhecimento e inovação.

### Objetivos da RSL

Objetivo 1: Investigar e examinar minuciosamente estudos científicos que abordam a origem ou conceitos conexos ao âmbito das tecnologias de processamento de imagens e aprendizado de máquina e sua utilização na observação e análises de plantas herbáceas, bem como os efeitos de estressores sobre elas.

Objetivo 2: Avaliar a existência de instrumentos, metodologias e modelos conceituais que se dediquem à exploração da origem ou a conceitos relativos à detecção dos efeitos de estressores em plantas herbáceas, utilizando recursos de processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina.

Objetivo 3: Identificar e analisar estudos de caso que oferecem insights sobre como a origem ou os conceitos relacionados ao uso de processamento digital de imagens e de aprendizado de máquina para a detecção de efeitos de estressores sobre plantas herbáceas

### Especificação da RSL

* **Intervenção:** instrumentos, metodologias e modelos conceituais que tratam da procedência ou dos conceitos relacionados às tecnologias de processamento de imagens e aprendizado de máquina e sua utilização na observação e análises dos efeitos de estressores sobre plantas herbáceas.
* **População:** Estudos científicos que abordem a procedência ou os conceitos conexos no âmbito das tecnologias de processamento de imagens e aprendizado de máquina e sua utilização na observação e análises de plantas herbáceas, bem como os efeitos de estressores sobre elas.
* **Resultados**: Encontrar modelos, processos e ou métodos ao uso de processamento digital de imagens e de aprendizado de máquina para a detecção de efeitos de estressores sobre plantas herbáceas.
* **Aplicação**: Experimentação em laboratório utilizando processos, metodologias e ou modelos que permitam a utilização de processamento de imagens e ou de aprendizado de máquina para fazer a detecção dos efeitos de estressores em plantas herbáceas, tais como ervas daninhas.

## QUESTÕES DE PESQUISA

Para cumprir os objetivos definidos na seção anterior foram elaboradas algumas questões de pesquisa a serem respondidas. para que se possa responder a questão geral, que aborda de modo mais amplo o problema a ser analisado, existem algumas questões de natureza conceitual, técnica e prática, que se fazem necessariamente serem respondidas para a compreensão do contexto proposto, conforme segue:

### Questão Geral:

* Como identificar visualmente de maneira ágil o efeito de estressores em plantas herbáceas utilizando Algoritmos de processamento digital de Imagens e ou de Aprendizado de Máquina?

### Questões Conceituais

* Como estressores ambientais afetam plantas herbáceas?
* Como é feita a identificação visual de características de plantas herbáceas?
* Quais são os problemas atuais encontrados na detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas?

### Questões Técnicas:

* Como o processamento digital de imagens pode ser utilizado para detectar e avaliar objetivamente os efeitos de estressores em plantas?
* Quais características de imagem são mais relevantes para a detecção e quantificação dos efeitos dos estressores em plantas?
* Quais métodos de segmentação de imagens são mais eficazes para isolamento das áreas de interesse?
* Quais combinações de técnicas de processamento digital de imagens e ou aprendizado de máquina poderiam ser usadas para uma análise mais precisa dos efeitos dos estressores em plantas?

### Questões Práticas:

* Quais impactos econômicos e ambientais podem derivar de uma abordagem baseada em processamento digital de imagens e em aprendizado de máquina para monitoramento de plantas?
* Em que os resultados obtidos por meio do processamento digital de imagens e ou aprendizado de máquina são mais precisos do que observações visuais ou medições laboratoriais tradicionais?
* Quais seriam os benefícios econômicos ou ambientais do uso de tal abordagem?
* Quais partes interessadas poderiam ser beneficiadas e como?

## ESTRATÉGIA DE BUSCA

A estratégia de busca deve apresentar critérios claramente delineados tanto para a seleção das fontes de pesquisa quanto para a abordagem de pesquisa dentro dessas fontes. Além disso, há que se considerar qual o idioma e o conjunto específico de palavras-chave que contemplem o contexto de estudo. Assim, optou-se pelo inglês como idioma de busca, e pelos demais critérios que são detalhados a seguir:

### Critério de Seleção das Fontes

As fontes selecionadas devem ser bases de dados indexadas relevantes nas temáticas de Ciência da Computação e ou de Agronomia, visto ser este um estudo que abrange conceitos de ambas as áreas.

### Bases de Dados

De acordo com o critério definido para a seleção das fontes, as bases de dados escolhidas para realização das buscas pelos trabalhos científicos foram as seguintes

* ACMDL: <https://dl.acm.org>;
* Google Scholar: <https://scholar.google.com>;
* IEEE Xplore: <https://ieeexplore.ieee.org>;
* MDPI: <https://www.mdpi.com>;
* Nature: <https://www.nature.com>;
* NCBI: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>;
* PubMed - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>;
* UFMS: <https://repositorio.ufms.br>;
* ResearchGate: <https://www.researchgate.net>;
* SciElo Brasil: <https://www.scielo.br>;
* ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com>;
* SemanticScholar: <https://www.semanticscholar.org>;
* Springer: <https://link.springer.com>.

### Palavras-chave

As palavras-chave deste estudo foram definidas a partir do contexto estudado, e seus sinônimos foram os principais termos relacionados encontrados em buscas por trabalhos, sem a utilização de uma metodologia específica. A Tabela 1 apresenta as principais palavras-chave, em inglês, seguidas de seus respectivos grupos de sinônimos.

##### Tabela 1: Palavras-chave e Sinônimos

| **Palavra-chave** | **Quantidade de Artigos Selecionado** |
| --- | --- |
| *Algorithm* | *Computational Procedure*  *Methodology*  *Computational Technique*  *Sequential Process*  *Procedural Logic*  *Computational Logic*  *Step-by-Step Procedure*  *Computational Routine*  *Logic Sequence*  *Systematic Process* |
| *Artificial intelligence* | *Cognitive Computing*  *Machine Learning*  *Machine Learning*  *Cognitive Processing*  *Intelligent Systems*  *Smart Automation*  *Smart Computing*  *Cognitive Systems*  *Autonomous Technology*  *Cognitive Capabilities*  *Computational Reasoning*  *Smart Agents*  *Thinking Machines*  *Adaptive Systems* |
| *Image processing* | *Image Analysis*  *Image Manipulation*  *image recognition*  *Photo Processing*  *Image Editing*  *Transformation of Images*  *Scene Processing*  *Graphics Processing* |
| *Herbaceous plant* | *Herbaceous vegetation*  *Non-woody plants*  *Tender stem plants*  *Non-woody stem plants*  *Non-shrub plants*  *Non-tree plants* |
| *Pattern Recognition* | *Model Recognition*  *Pattern Identification*  *Settings Recognition*  *Recognition of Structures*  *Pattern Detection*  *Pattern Analysis*  *Pattern Classification*  *Model Identification*  *Pattern Discrimination*  *Feature Recognition* |
| *Plant stress detection* | *Plant Distress*  *Vegetation Stress*  *Stress in Plants*  *Plant Strain*  *Plant Pressure*  *Plant Tension*  *Plant Anxieties*  *Vegetation Struggle*  *Plant Physiological Stress*  *Botanical Stress* |
| *Stressors* | *Stress Factors*  *Environmental Stressors*  *Pressure Inducers*  *Stress Inducing Agents*  *Strain Producers*  *Stress Elicitors*  *Stressful Elements*  *Stress Contributors*  *Stress Initiators*  *Source of Stress* |

Fonte; elaboração do autor

### *String* de Busca

A estratégia de busca a ser implementada para localizar os estudos nas bases de dados foi construída com base nos agrupamentos de palavras-chave e suas sinonímias mencionadas anteriormente. A estrutura da string de busca subsequente é concebida de forma genérica, tendo em vista que as bases de dados não seguem um padrão uniforme. A inclusão de sinônimos poderá ser ajustada conforme as particularidades das bases, considerando que algumas podem restringir a quantidade de termos ou operadores lógicos em uma única busca.

##### Tabela 2: Exemplo de String de Busca

| ***String* de Busca** |
| --- |
| *(“Digital image processing” OR “image recognition” OR “computational vision”) AND (“stressors” OR “herbicides”) AND (“damage” OR “effects”) AND (“herbs” OR “weeds”) AND (“algorithm” OR “technique” OR “equipment” OR “application” OR “software” OR “machine learning”)* |

*Fonte: elaboração do autor*

### Estratégia de Pesquisa

A abordagem de investigação engloba a aplicação da sequência de pesquisa nas bases de dados escolhidas para acessar os estudos primários. A pesquisa é conduzida por meio das ferramentas de busca avançada presentes nas bases de dados, com a adaptação da sequência para se adequar à sintaxe específica e outras limitações que possam existir. Pode-se incorporar filtros como intervalo de datas e seleção de idioma para satisfazer os critérios de inclusão *definidos durante a etapa de seleção dos estudos e, assim, inicialmente reduzir o volume de* trabalhos recuperados pelos mecanismos de busca.

## DEFINIÇÕES DE SELEÇÃO

Para orientar a seleção dos estudos, foram estabelecidos critérios que serão considerados durante esse processo. Os critérios de inclusão determinam quais estudos serão considerados para a fase subsequente de extração, enquanto os critérios de exclusão delineiam os trabalhos a serem descartados. A abordagem de seleção engloba uma análise do título, resumo e palavras-chave dos artigos, visando identificar afinidades com o contexto em questão. A inclusão dos estudos primários requer que eles atendam, no mínimo, a um dos critérios de inclusão e não estejam sujeitos a nenhum dos critérios de exclusão. Todos esses critérios estão detalhados a seguir:

### Critérios de Inclusão

Para nortear a seleção de estudos alinhados ao tema central da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, com a utilização de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina, definiram-se critérios específicos de inclusão:

* Critério de Inclusão 1 (CI1): Incorporam estudos que exploram a aplicação do processamento digital de imagens e/ou técnicas de aprendizado de máquina para identificar e quantificar os efeitos de estressores em plantas herbáceas.
* Critério de Inclusão 2 (CI2): Abrangem estudos que se concentram na análise de respostas fisiológicas, morfológicas ou de outra natureza em plantas herbáceas diante de estressores, por meio da utilização de abordagens baseadas em processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.
* Critério de Inclusão 3 (CI3): Englobam estudos que aplicam técnicas de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina para monitorar e caracterizar mudanças em parâmetros-chave de plantas herbáceas, em resposta a diferentes tipos de estressores.
* Critério de Inclusão 4 (CI4): Consideram estudos que apresentam uma análise comparativa de diferentes abordagens de processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina no contexto da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas.

Esses critérios específicos de inclusão foram formulados com o propósito de direcionar a seleção de estudos que se alinham estritamente ao tópico da pesquisa, focando na detecção dos efeitos de estressores em plantas herbáceas por meio de abordagens de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.

### Critérios de Exclusão

A aplicação dos critérios de exclusão tem o propósito de assegurar a pertinência dos estudos selecionados à investigação em questão, garantindo que somente aqueles diretamente relacionados à detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, com a utilização de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina, sejam incluídos na análise.

* Critério de Exclusão 1 (CE1): Excluem-se estudos que não abordam especificamente a detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, utilizando processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.
* Critério de Exclusão 2 (CE2): Não são considerados estudos que focam exclusivamente em plantas não herbáceas ou em outros tipos de organismos vegetais.
* Critério de Exclusão 3 (CE3): Excluem-se estudos que não utilizam processamento digital de imagens ou técnicas de aprendizado de máquina como parte de suas metodologias.
* Critério de Exclusão 4 (CE4): Não são considerados estudos cujo escopo esteja limitado a estressores não relacionados ao ambiente ou à saúde das plantas herbáceas.
* Critério de Exclusão 5 (CE5): Excluem-se estudos cuja abordagem não fornece resultados diretamente relacionados à detecção e análise de efeitos de estressores em plantas herbáceas, conforme proposto no tema da pesquisa.

### Critérios de Qualidade

A aplicação de critérios de qualidade tem como finalidade assegurar a integridade e a validade dos estudos selecionados, promovendo a confiabilidade das conclusões obtidas no âmbito da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, com o uso de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.

* Critério de Qualidade 1 (CQ1): Consideram-se estudos que apresentam metodologias robustas e bem fundamentadas na aplicação do processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina para a detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas.
* Critério de Qualidade 2 (CQ2): Avaliam-se estudos que demonstram a validação e a confiabilidade das técnicas de detecção empregadas, por meio de análises estatísticas apropriadas e testes rigorosos.
* Critério de Qualidade 3 (CQ3): Priorizam-se estudos que utilizam amostragens adequadas e representativas de plantas herbáceas, considerando variações intra e interespécies, bem como diferentes condições de estresse.
* Critério de Qualidade 4 (CQ4): Consideram-se estudos que oferecem uma análise clara e detalhada dos resultados obtidos, incluindo interpretações robustas e discussões que relacionam as descobertas ao contexto da pesquisa.
* Critério de Qualidade 5 (CQ5): Avaliam-se estudos que são publicados em revistas científicas reconhecidas e submetidos a processos de revisão por pares, garantindo a validação e a credibilidade dos métodos e resultados apresentados.

A Tabela 3 apresenta os resultados da aplicação da *string* de busca de cada base, aplicados os critérios de seleção.

##### Tabela 3: Quantidades de Artigos Selecionados por Base de dados

| **Base de Dados** | **Quantidade de Artigos** |
| --- | --- |
| *ACMDL* | *2* |
| *Google Scholar* | *6* |
| *IEEE Xplore* | *5* |
| *MDPI* | *1* |
| *Nature* | *1* |
| *NCBI* | *1* |
| *PubMed* | *20* |
| *UFMS* | *1* |
| *ResearchGate* | *1* |
| *SciElo Brasil* | *1* |
| *ScienceDirect* | *47* |
| *SemanticScholar* | *3* |
| *Springer* | *1* |
| ***Total*** | ***90*** |

*Fonte: elaboração do autor*

## PROCEDIMENTO PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS

O procedimento de seleção dos estudos foi estruturado e realizado em três etapas, alinhando-se com as abordagens de busca e seleção delineadas nas seções anteriores. Cada uma dessas etapas é elucidada com minúcia a seguir:

### Etapa 1: Planejamento e Definição de Critérios

Na primeira fase desta RSL foram estabelecidos os objetivos da pesquisa, as questões de pesquisa e os critérios de inclusão, exclusão e qualidade dos estudos. Nesse caso, os critérios de inclusão específicos determinaram quais estudos eram relevantes, enquanto os critérios de exclusão asseguraram a pertinência dos trabalhos selecionados ao tema. Além disso, critérios de qualidade foram delineados para avaliar a robustez metodológica e a confiabilidade dos estudos escolhidos.

### Etapa 2: Execução da Busca e Seleção dos Estudos

Nesta etapa, a estratégia de pesquisa foi aplicada nas bases de dados selecionadas. A pesquisa foi conduzida de acordo com a sintaxe de cada base, adaptando-se à sua estrutura. A seleção dos estudos seguiu os critérios definidos na fase de planejamento. Os trabalhos foram avaliados com base em seus títulos, resumos e palavras-chave, buscando semelhanças com o contexto da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas com uso de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina. Os estudos relevantes foram identificados para análise posterior.

### Etapa 3: Avaliação, Síntese e Conclusão

Na última fase, os estudos selecionados passaram por uma avaliação crítica de sua qualidade e relevância. Eles foram analisados à luz dos critérios de qualidade estabelecidos, garantindo que os métodos e resultados fossem confiáveis. Os dados relevantes foram extraídos e sintetizados, proporcionando uma visão holística do campo de pesquisa. A partir disso, foi possível responder às questões de pesquisa e identificar tendências, lacunas e direções futuras. A conclusão da RSL forneceu um panorama consolidado dos avanços e desafios na detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, utilizando processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.

## EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO

A fase de extração desempenhou o papel fundamental de identificar, a partir da análise abrangente dos artigos selecionados, os dados pertinentes que atenderam às questões de pesquisa delineadas na revisão. Durante a avaliação de cada estudo, foram coletadas informações cruciais, como objetivos, abordagens metodológicas empregadas e resultados obtidos. Esses dados foram registrados de maneira organizada em uma planilha de extração,e estão representados na **Tabela 4**, facilitando a subsequente análise e sumarização.

##### Tabela 4: MODELO DE PLANILHA DE DADOS SUMARIZADOS

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Título** | **Autor(es)** | **Base de Dados** | **Ano** | **Objetivo(s)** | **Métodos(s)** | **Resultado(s)** |
|  |  |  |  |  |  |  |

Fonte; elaboração do autor

Uma vez que os dados foram exaustivamente extraídos, o processo de sumarização foi iniciado. Essa etapa envolveu a agregação e a síntese dos resultados e das conclusões dos estudos selecionados. Os padrões emergentes, as tendências e as lacunas na literatura foram identificadas com base nas informações coletadas, proporcionando uma visão consolidada das descobertas. A sumarização permitiu responder às questões de pesquisa, destacar as principais abordagens e contribuições dos estudos e, também, apontar direções futuras para a investigação nesse campo específico.

A interligação entre as fases de extração e sumarização permitiu uma análise abrangente e informada dos estudos, contribuindo para o alcance dos objetivos da revisão sistemática de literatura.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados meticulosamente apresentados e minuciosamente discutidos nesta seção oferecem uma análise profunda e atualizada do panorama de pesquisa durante o extenso período compreendido por esta revisão sistemática. O escopo da investigação visa não apenas abordar de forma abrangente as perguntas de pesquisa propostas, mas também mergulhar nas complexidades conceituais que permeiam este estudo, acrescentando camadas de compreensão e contextos relevantes.

Ao atender de forma satisfatória à primeira pergunta secundária da RSL - "Quais artigos científicos exploram a origem ou os conceitos relacionados ao seu domínio espacial?" - a Tabela 5 oferece uma compilação abrangente de informações que serve como um recurso valioso para a compreensão do estado da arte.

A tentativa de cumprimento do objetivo 3 desta sessão: Identificar e analisar estudos de caso que oferecem insights sobre como a origem ou os conceitos relacionados ao uso de processamento digital de imagens e de aprendizado de máquina para a detecção de efeitos de estressores sobre plantas herbáceas; encontrada na Tabela 5, amplia ainda mais a contribuição desta revisão sistemática. Cada uma das questões Conceituais, Técnicas e Práticas, delineadas neste trabalho, foi explorada em profundidade, proporcionando uma visão mais holística e contextualizada.

* **Questão Geral:** Apesar de, em alguns casos, não serem apontadas respostas diretas vinculadas a exploração aprofundada dos termos associados, são apresentadas perspectivas fascinantes para entender as interconexões e nuances do domínio pesquisado, enriquecendo este enfoque, fornecendo uma compreensão mais abrangente da Questão Geral e das Questões Específicas deste estudo, não apenas ampliando o conhecimento existente, mas também sinalizando caminhos promissores para futuras investigações e desenvolvimentos no campo científico em consideração. Basicamente *todos os* textos *que abordam essa questão ou temas assemelhados que foram encontrados na pesquisa apontam a utilização de algum algoritmo de detecção e/ou de classificação de imagem para fazem o tratamento de imagens.*
* **Questões Conceituais:** *No que se refere a Questões Conceituais, os artigos consultados pouco se aprofundam na conceituação de estressores, os efeitos desses sobre ervas daninhas, ou sobre quais dificuldades encontradas específicas a detecção desses efeitos. Na verdade, a maioria dos textos limita-se a detecção e/ou classificação das plantas em ervas daninhas e culturas hospedeiras,* não *se aprofundando nos efeitos de herbicidas ou quaisquer outros estressores nas herbáceas ou em quaisquer outras plantas. Esse tipo de efeito é tratado como dados consolidado, não sendo tratado como objeto de estudo.*
* ***Questões Técnicas:*** *Quanto as Questões Téc*nicas, alguns artigos apontam para o uso de características de imagens de ervas daninhas como *fator de forma, alongamento, convexidade, solidez e foto estabilidade durante o tratamento das imagens, mas novamente aqui as técnicas de segmentação utilizadas se limitam a detecção e classificação específica de herbáceas e outras plantas, e, embora em alguns casos seja utilizado o histórico fotográfico da aplicação de herbicidas, ele é utilizado meramente para identificar a persistência do volume de plantas daninhas, não sendo mensurados os efeitos da aplicação de herbicidas sobre elas.*
* **Questões Práticas:** No contexto prático, a maioria das pesquisas aponta como benefícios a precisam na detecção de ervas daninhas e a redução de custos com um menor uso da quantidade de herbicidas. Poucos enfatizam a melhoria na saúde da cultura ou outros benefícios ambientais devido a menor aplicação do veneno. No que se refere as partes interessadas, a maioria das análises trata apenas dos ganhos dos produtores.

A Tabela 5 desempenha um papel crucial ao destacar objetivos e desdobramentos encontrados nos trabalhos finais durante a extração. Ela vai além de uma simples compilação, tornando-se uma ferramenta estratégica para explorar padrões e tendências dos textos. Cada entrada fornece insights valiosos sobre abordagens, metodologias e resultados, transformando a tabela em um guia detalhado das descobertas. Assim, ela não apenas resume, mas também enriquece a compreensão sobre o panorama abordado na revisão sistemática.

##### Tabela 5 - Sumarização dos Resultados da RSL

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Autores*** | ***Objetivos*** | ***Métodos*** | ***Resultados*** |
| *Yu, F.H., Feng, S., Xu, T.Y., Wang, N.Y.* | *Fornecer um método mais eficiente e ambientalmente amigável de controle de plantas daninhas no cultivo de arroz.* | *Utilização de sensoriamento remoto UAV para identificação de plantas daninhas em campos de arroz.* | *Os resultados mostraram que o uso de sensoriamento remoto UAV é uma ferramenta eficaz para identificação de plantas daninhas em campos de arroz.* |
| *Fulin Xia, Longzhe Quan, Zhaoxia Lou2 , Deng Sun2 , Hailong Li1 e Xiaolan Lv3* | *Fornecer informações sobre o uso de tecnologia avançada para o manejo de ervas daninhas resistentes* | *Uso de imagens multiespectrais de veículos aéreos não tripulados para identificar e avaliar a resistência de ervas daninhas* | *Os resultados mostraram que a tecnologia de imagens multiespectrais de veículos aéreos não tripulados pode ser usada para identificar e avaliar a resistência de ervas daninhas com alta precisão* |
| *Gao, Y., Zhang, Y., Li, Y., & Zhang, X.* | *Desenvolver um método para identificação de plantas daninhas usando imagens hiperespectrais e aprendizado de máquina.* | *Foram coletadas imagens hiperespectrais de plantas daninhas e plantas não daninhas em diferentes estágios de crescimento. Em seguida, foram utilizados algoritmos de aprendizado de máquina para classificar as imagens e identificar as plantas daninhas.* | *O método proposto obteve uma taxa de acerto de mais de 90% na identificação de plantas daninhas em diferentes estágios de crescimento.* |
| *Fenghua Yu, Zhongyu Jin,*  *Sien Guo, Zhonghui Guo, Honggang Zhang,*  *Tongyu Xu e Chunling Chen* | *Desenvolver um sistema de aquisição/gestão de imagens para detecção de ervas daninhas e um sistema de lógica fuzzy para tomada de decisões sobre a localização e quantidade de herbicida a ser aplicado em um campo agrícola.* | *Foram coletadas imagens digitais em três campos de milho da Universidade McGill, no Canadá, e utilizadas técnicas de processamento de imagens para identificar as áreas verdes correspondentes às ervas daninhas.* | *Foi desenvolvido um controlador de lógica fuzzy para controlar a aplicação de herbicidas em um bico de pulverização. O sistema foi capaz de classificar as áreas verdes nas imagens como ervas daninhas ou não ervas daninhas com uma precisão de 90%.* |
| *Morteza Dehghani, Yadollah Abaspour-Gilandeh, Jose Luis Hernandez-Hernandez, Miguel Hernandez-Hernandez, and Juan Ignacio Arribas* | *Desenvolver um sistema de aprendizado de máquina de visão computacional estéreo automatizado para classificação de ervas daninhas em campos de arroz para gerenciamento de ervas daninhas específico do local.* | *Extração de características de cor e forma de imagens de ervas daninhas usando seis espaços de cores e índices de vegetação. Foram extraídas 127 características de cor e 29 características de forma para cada objeto. O sistema de aprendizado de máquina foi treinado com imagens rotuladas de ervas daninhas e plantas de arroz.* | *O sistema de aprendizado de máquina alcançou uma taxa de classificação de 96,5% para ervas daninhas e 98,3% para plantas de arroz. O sistema também foi capaz de identificar ervas daninhas em diferentes estágios de crescimento.* |
| *JY, AS, NB, ZC, SS* | *Demonstrar como a aplicação precisa de herbicidas pode reduzir o custo de controle de ervas daninhas em sistemas de manejo de gramados.* | *Treinamento de modelos de redes neurais convolucionais de aprendizado profundo para detecção de ervas daninhas em imagens de azevém perene.* | *Os modelos treinados apresentaram alta precisão na detecção de ervas daninhas em imagens de azevém perene.* |
| *W-HS, J-LL, H-YZ, YP* | *Desenvolver um sistema ultrassônico para detecção de plantas daninhas em culturas de cereais* | *Utilização de um sensor de distância ultrassônico para determinar alturas de plantas e detectar infestações de plantas daninhas em campos agrícolas* | *Desenvolvimento de um sistema eficiente para detecção de plantas daninhas em culturas de cereais* |
| *YOLOX-based blue laser weeding robot in corn field* | *Desenvolver um robô de deservagem a laser baseado em YOLOX para detecção e eliminação precisa de ervas daninhas em campos de milho.* | *Usando uma rede neural convolucional YOLOX e um emissor de laser de braço robótico, o robô foi treinado para detectar e eliminar ervas daninhas em campos de milho.* | *O robô de deservagem a laser baseado em YOLOX foi capaz de detectar e eliminar ervas daninhas com uma precisão de 98,5% em campos de milho. Além disso, o robô foi capaz de reduzir significativamente o tempo e o custo associados à deservagem manual.* |
| *W.-J. Hu, NAIXUE XIONG, ERNST BEKKERING* | *O objetivo deste estudo foi desenvolver um sistema IoT para identificar doenças de plantas de forma precisa e em tempo real, combinando tecnologias de IoT e aprendizado profundo.* | *Os métodos utilizados incluíram a combinação de câmeras de vídeo, modelos de aprendizado profundo e dispositivos terminais inteligentes para coletar vídeos de plantações, analisar o estado de saúde das plantas e fornecer feedback aos agricultores.* | *Os resultados obtidos com o sistema MDFC-ResNet mostraram uma precisão significativa na identificação de diferentes classes de doenças de plantas, conforme apresentado na Tabela 6 do documento.* |
| *F. Ahmed, et al.* | *Demonstrar o potencial de um sistema automatizado de visão de máquina para reduzir o uso excessivo de herbicidas em campos agrícolas.* | *Extração de características de imagens de plantas usando 14 recursos diferentes, incluindo fator de forma, alongamento, convexidade e solidez. Classificação de plantas em culturas e ervas daninhas usando uma abordagem de máquina de vetor de suporte.* | *O sistema de visão de máquina alcançou uma taxa de classificação precisa de 95,5% para culturas e 96,5% para ervas daninhas. Isso demonstra o potencial de um sistema automatizado de visão de máquina para reduzir o uso excessivo de herbicidas em campos agrícolas.* |
| *Su, W.-H., Bakalis, S., Sun, D.-W.* | *Explorar o uso de compostos fluorescentes para permitir que máquinas inteligentes diferenciem com precisão entre culturas vegetais e ervas daninhas.* | *Avaliação não destrutiva da fotostabilidade de compostos de sinalização de culturas e efeitos de dose na vigor do aipo para identificação de plantas de precisão usando visão computacional.* | *Os resultados mostraram que a fluorescência dos compostos pode ser uma ferramenta eficaz para a identificação precisa de culturas vegetais, contribuindo para a agricultura de precisão.* |
| *T. Rumpf, INDISPONÍVEL* | *Classificação de diferentes espécies de plantas daninhas e culturas usando recursos de forma e algoritmos de processamento de imagem.* | *Uso de sensores de imagem para detecção automática de plantas daninhas e classificação de espécies usando recursos de forma e algoritmos de processamento de imagem.* | *O estudo se concentra na classificação de diferentes espécies de plantas daninhas e culturas usando recursos de forma e algoritmos de processamento de imagem.* |
| *Hongxing Peng, et al.* | *Explorar o uso de aprendizado profundo e detecção de objetos para combater os efeitos negativos das ervas daninhas na produção e qualidade do arroz.* | *Usando uma rede RetinaNet aprimorada para detectar ervas daninhas em campos de arroz.* | *Os resultados mostraram que a rede RetinaNet aprimorada é capaz de detectar ervas daninhas com alta precisão e pode ser uma ferramenta útil para ajudar a melhorar a produção e qualidade do arroz.* |
| *K.-H. Dammer, G. Wartenberg* | *Investigar a influência da aplicação controlada por sensores de taxas variáveis de herbicidas na produção de grãos.* | *Foram realizados seis experimentos de campo em áreas plantadas com cereais e ervilhas no nordeste da Alemanha, utilizando um protótipo de combinação de trator-sensor-pulverizador. Os dados foram coletados em tempo real e analisados estatisticamente.* | *Os resultados mostraram economia significativa de herbicidas sem causar redução na produção de grãos. As distribuições foram aproximadamente simétricas e unimodais.* |
| *Trupti R Chavan, A.V. Nandedkar* | *O objetivo principal do estudo é classificar diferentes espécies de plantas (culturas e ervas daninhas) utilizando métodos existentes e o método proposto, AgroAVNET.* | *O estudo utiliza AgroAVNET, um modelo híbrido de AlexNet e VGGNET, para classificar espécies de plantas. Também inclui aprendizado incremental para melhorar a precisão da classificação.* | *Os resultados experimentais mostram altas taxas de precisão na classificação de espécies de plantas, com médias de validação e teste acima de 90%. O desempenho é comparado com abordagens existentes, mostrando melhorias significativas.* |
| *Aanis Ahmad, Dharmendra Saraswat, Varun Aggarwal, Aaron Etienne, Benjamin Hancock* | *Avaliar a eficácia de técnicas de aprendizado profundo para discriminar entre ervas daninhas e culturas, usando um conjunto de dados de imagens anotadas comuns de ervas daninhas na estação inicial em condições de campo.* | *Treinamento de modelos de classificação e detecção de objetos em um conjunto de dados de 462 imagens de quatro ervas daninhas comuns em milho e soja, utilizando os frameworks Keras e PyTorch.* | *Os resultados mostraram que os modelos de detecção de objetos superaram os modelos de classificação de imagens em termos de precisão e recall. O modelo Faster R-CNN treinado no framework PyTorch obteve a melhor precisão geral.* |

# MODELO DE ONTOLOGIA PARA DETECÇÃO DOS EFEITOS DE HERBICIDAS EM PLANTAS DANINHAS.

Nos dias de hoje, a agricultura enfrenta uma série de desafios complexos, desde a necessidade premente de eficiência no uso de herbicidas até a busca incessante por práticas agrícolas que respeitem os princípios da sustentabilidade. É nesse contexto dinâmico e multifacetado que sugerimos a concepção de uma Ontologia que propõe a Identificação de Efeitos de Herbicidas em plantas daninhas. Essa ontologia representa muito mais do que apenas um avanço tecnológico; ela encarna um divisor de águas na pesquisa agrícola e na gestão de cultivos.

A ontologia em desenvolvimento tem um propósito ambicioso, visando à integração de tecnologias de processamento de imagem e aprendizado de máquina, oferecendo uma base sólida para a análise detalhada de imagens de plantas daninhas, permitindo uma avaliação precisa e abrangente dos efeitos decorrentes da aplicação de herbicidas. Em essência, a ontologia é um repositório de conhecimento que transcende o convencional, sendo uma ferramenta poderosa que capacita pesquisadores, agricultores e profissionais a compreenderem, monitorarem e otimizarem as práticas de manejo de plantas daninhas.

Este artigo delineia meticulosamente os objetivos, as definições de conceitos, as relações, as restrições e os requisitos que orientarão o desenvolvimento da ontologia. No entanto, seu impacto potencial vai muito além de suas especificações técnicas. Este projeto representa uma inovação, não apenas para a agricultura, mas também para a pesquisa científica e o compromisso com a sustentabilidade ambiental, uma abordagem que revoluciona a forma como é feita a identificação de efeitos de herbicidas, influenciando positivamente práticas agrícolas em direção a um futuro mais eficiente e ecologicamente consciente.

O presente capítulo tem como missão principal esboçar uma ontologia que visa a construção de um sistema inovador de identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas, respaldando-se em tecnologias de processamento de imagem e aprendizado de máquina, de modo a proporcional uma solução avançada e especializada para um dos desafios críticos enfrentados em contextos agrícolas e de pesquisa.

A abrangência desta ontologia transcende a simples representação de conceitos e relações; ela intenta oferecer o entendimento aprofundado dos complexos processos envolvidos na identificação de efeitos de herbicidas nas plantas, incluindo, mas não se limitando, a caracterização de herbicidas, a taxonomia de plantas daninhas, a captura de imagens, a análise de efeitos, a modelagem de algoritmos de processamento de imagem e técnicas de aprendizado de máquina, juntamente com a infraestrutura de sistemas computacionais que unifique esses elementos.

No decorrer deste artigo, desvendamos as camadas de conhecimento necessárias para a criação de uma ontologia robusta e semanticamente rica, com o intuito de servir como uma ferramenta fundamental na pesquisa nas áreas agrícola e computacional, auxiliando na tomada de decisões relativas ao tratamento de ervas daninhas com herbicidas e contextos afins. A compreensão abrangente dos domínios do conhecimento envolvidos é essencial, uma vez que a ontologia busca refletir as nuances e complexidades inerentes ao tema em um contexto prático.

## CONCEITUAÇÃO DA ONTOLOGIA

Esta seção proporciona uma base conceitual para compreender os elementos fundamentais que norteiam a criação e desenvolvimento de ontologias avançadas. Inserida no contexto da Web Semântica, onde a representação e interpretação de dados por máquinas ganham destaque, a ontologia desempenha um papel central. Aqui são abordados particularmente a importância da Ontology Unified Modeling Language (OntoUML) como uma linguagem conceitual para modelagem, integrada harmoniosamente com o Web Ontology Language (OWL), uma linguagem padrão para a construção de ontologias na Web Semântica. A conjunção destes elementos, explorada neste referencial teórico, fornece uma base teórica para a criação de ontologias que vão além da representação de dados, e proporcionam uma compreensão semântica profunda e facilitam a interoperabilidade entre sistemas heterogêneos.

### Ontologia na Web Semântica

A ontologia, no contexto da Web Semântica, desempenha um papel vital ao proporcionar uma estrutura formal que possibilita a representação de conhecimento de maneira compreensível por máquinas. A visão de Berners-Lee et al. (2001) sublinha a centralidade das ontologias ao afirmar que essas estruturas são fundamentais para a organização e integração de dados. Essa organização e integração, por sua vez, estabelecem as bases para uma colaboração mais eficaz e uma interoperabilidade aprimorada entre sistemas. Em essência, as ontologias capacitam não apenas a comunicação semântica entre diferentes entidades, mas também promovem a eficiência na interpretação e manipulação de dados em ambientes heterogêneos e distribuídos. Essa capacidade de fornecer uma representação formal e consensual do conhecimento é um elemento-chave para a realização da visão da Web Semântica, onde a máquina não apenas processa informações, mas também compreende seu significado em um nível mais profundo.

### OntoUML: Fundamentação Conceitual para Ontologias

A Ontology Unified Modeling Language (OntoUML) emerge como uma linguagem de modelagem concebida para a construção de ontologias robustas. A visão proposta por Guizzardi (2005) destaca a OntoUML como uma abordagem inovadora que busca integrar princípios filosóficos com a modelagem de informações. Nesse contexto, a OntoUML não se limita a ser apenas uma ferramenta técnica, mas visa proporcionar uma base teórica sólida para a representação de conhecimento. Guizzardi enfatiza que essa abordagem teórica é essencial para garantir que as ontologias desenvolvidas sejam não apenas estruturalmente coerentes, mas também semanticamente precisas. A interseção entre fundamentos filosóficos e modelagem de informações posiciona a OntoUML como uma ferramenta que não apenas captura a complexidade do conhecimento de domínio, mas também incorpora uma compreensão profunda das relações e significados subjacentes. Ao adotar a OntoUML, os modeladores de ontologias são capacitados a expressar conceitos de forma mais precisa e a capturar nuances semânticas que são vitais para a representação fiel de domínios complexos.

### OWL: Linguagem para Representação de Ontologias

A Web Ontology Language (OWL), padronizada pelo World Wide Web Consortium (W3C), representa uma linguagem fundamental para a descrição de relações complexas entre conceitos na Web Semântica. O trabalho de McGuinness e van Harmelen (2004) destaca que a OWL desempenha um papel central ao proporcionar uma base formal para a criação de ontologias. Uma de suas contribuições mais significativas é a capacidade de realizar inferências semânticas, promovendo uma compreensão mais profunda das relações entre entidades representadas. Ao oferecer uma especificação semântica precisa, o OWL facilita a comunicação eficaz entre sistemas heterogêneos. Essa linguagem não apenas permite a representação de conhecimento de maneira estruturada, mas também habilita a realização de inferências automáticas, promovendo a descoberta de novas informações com base nas relações estabelecidas. Dessa forma, a OWL desempenha um papel crucial na criação de uma Web Semântica mais inteligível e interoperável, impulsionando a colaboração e a troca eficiente de informações entre sistemas distribuídos.

### Integração Harmoniosa: Ontologia, OntoUML e OWL

A integração eficaz de ontologia, OntoUML e OWL é crucial para o desenvolvimento de ontologias semânticas rubustas. Como mencionado por Smith et al. (2004), "a combinação dessas ferramentas oferece uma abordagem abrangente para modelar e representar conhecimento, proporcionando interoperabilidade semântica e facilitando a solução de problemas complexos".

Esses pilares teóricos - Web Semântica, OntoUML e OWL - fornecem as bases necessárias para a criação de ontologias semânticas avançadas, abrindo caminho para a representação, integração e inferência de conhecimento de maneira precisa e eficiente.

## ESPECIFICAÇÕES DA ONTOLOGIA

Nesta Seção explorando as questões conceituais, requisitos não funcionais e a definição estrutural da ontologia. Ela delineia os conceitos e classes fundamentais, destacando suas interrelações. Além disso, abordaremos as relações semânticas que estabelecem a conectividade entre os elementos da ontologia, proporcionando uma compreensão clara das interações e das restrições subjacentes, garantindo a integridade e consistência dos dados. Aqui é apresentado não apenas estrutura da base conceitual, mas também estabelece as diretrizes necessárias para o desenvolvimento de um sistema robusto e semanticamente rico, capaz de representar de forma precisa e abrangente dos efeitos de herbicidas em plantas daninhas.

### Documento de Requisitos da Ontologia (ORSD)

A concepção e implementação de uma ontologia eficiente demandam uma abordagem rigorosa na definição dos requisitos fundamentais que norteiam seu desenvolvimento. O Documento de Requisitos da Ontologia (ORSD), apresentado nesta seção, serve como alicerce essencial para a sistematização da ontologia proposta. A organização meticulosa e a categorização precisa dos requisitos são encapsuladas na Tabela 6, estabelecendo uma estrutura clara que orienta cada fase do processo. Este documento não apenas delineia as necessidades funcionais e não funcionais da ontologia, mas também proporciona uma visão abrangente dos critérios que regem sua arquitetura, promovendo assim uma base sólida para o desenvolvimento consistente e bem-sucedido desta representação formal do conhecimento.

##### Tabela 6: ORSD

|  |  |
| --- | --- |
| **ONTOLOGIA PARA DE UM SIETEMA DETECÇÃO DE EFETOS DE HERBICIDAS** | |
| **1** | **OBJETIVO** |
|  | A Ontologia visa representar com precisão um sistema inovador de identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas. Este sistema é respaldado por tecnologias de processamento de imagem e aprendizado de máquina, proporcionando uma solução avançada e altamente especializada para um dos desafios críticos enfrentados em contextos agrícolas e de pesquisa. |
| **2** | **ESCOPO** |
|  | A abrangência desta ontologia transcende simplesmente a representação de conceitos e relações; ela oferece um portal para o entendimento aprofundado dos complexos processos envolvidos na identificação de efeitos de herbicidas. Isto inclui, mas não se limita a, a caracterização de herbicidas, a taxonomia de plantas daninhas, a captura de imagens, a análise de efeitos, a modelagem de algoritmos de processamento de imagem e técnicas de aprendizado de máquina, juntamente com a infraestrutura de sistemas computacionais que unifica esses elementos |
| **3** | **LINGUAGEM DE IMPLEMENTAÇÃO** |
|  | A ontologia será implementada em OWL |
| **4** | **USUÁRIOS INTERESSADOS** |
|  | User1: Produtor Agrícola  User2. Desenvolvedor  User3. Bioquímico |
| **5** | **USOS PROPOSTOS** |
|  | Use1. Aprimoramento da Compreensão do Processo de Identificação de Efeitos de Herbicidas  Use2. Padronização da Representação de Informações Relacionadas a Herbicidas  Use3. Suporte à Tomada de Decisões em Agricultura e Pesquisa  Use4. Ampliação do Conhecimento em Agricultura Sustentável  Use5. Suporte a Pesquisas e Desenvolvimentos Futuros  Use6. Facilitação da Compartilhamento de Conhecimento e Dados |
| **6** | **REQUERIMENTOS DA ONTOLOGIA** |
| **6.1** | **REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS** |
|  | **NFR1**. A ontologia deve suportar um cenário multilíngue nos seguintes idiomas: Inglês, espanhol e português:  **NFR2**. A ontologia deve ter **interoperabilidade** que assegure o uso em colaboração com outras ontologias e sistemas, ampliando seu valor em diferentes domínios e aplicações.  **NFR3**. A ontologia deve considerar as **extensibilidades**, para garantir sua evolução de crescimento à medida que as necessidades do domínio e do sistema mudem ao longo do tempo, permitindo a adaptação contínua da ontologia para atender às demandas emergentes. |
| **6.2** | **REQUISITOS FUNCIONAIS** |
|  | QC1. Como é feita a identificação visual de características de plantas daninhas?  QC2. Como herbicidas são aplicados com base nesse tipo de identificação?  QC3. Quais são os problemas atuais nesse tipo de abordagem?  QC4. Quais características de imagem são mais relevantes para a detecção e quantificação dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?  QC5. Quais métodos de segmentação de imagens são mais eficazes para isolamento das áreas de interesse?  QC6. Quais combinações de técnicas de processamento digital de imagens poderiam ser usadas para uma análise mais precisa dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?  QC7. Em que os resultados obtidos por meio do processamento digital de imagens são mais precisos do que observações visuais ou medições laboratoriais tradicionais?  QC8. Quais seriam os benefícios econômicos ou ambientais do uso de tal abordagem? Quais partes interessadas poderiam ser beneficiadas e como? |
| **7** | **GLOSSÁRIO** |
|  | Ações, Aprendizado de Máquina, Dados de Treinamento, Efeitos de Herbicidas  Extensibilidade, Interoperabilidade, Herbicidas, OWL, Plantas Daninhas, Processamento de Imagem, Resultados, Sistema Computacional, Usuário |
| **8** | **ESTRUTURA DA ONTOLOGIA** |
|  | **CONCEITOS E CLASSES**  **Conceito Classe Propriedades**  **Herbicide** Chemecal Product Name, Formule, Adverse Efect  **Erva Daninhas** Planta Cientific Name, Coumun name  **Image** Artefact Capture Date, Resolution  **Adverse Efect** Quality Name, Description  **Application** Software Name, Configuration, Models, Training  **Equipamento** Hardware Type, moded, resolution  **diagnoses** Artefact weed, image, DateTime, Adverse Efect  **Usuário**: Person Name, Epeciality (eq: Biochemist, Developer, Farmer)  **Efect Detection** Relator Datetime, image, trained model,  **RF2 RELAÇÕES**  **Detecta:** liga a classe "Processamento " à classe "Efeitos". Essa relação é direcionada do processamento de imagem para os efeitos de herbicidas.  **Realiza**: liga a classe "Usuário" à classe "Ações". Os usuários executam ações como aquisição de imagens, treinamento de modelos e análise de efeitos.  **RF3 RESTRIÇÕES**  **Classe - Propriedade Restrição**  **Application - Name:** Valor único  **Usuário - Name:** Valor único  **Adverse Efetct - Data: F**ormato de data e hora padrão |

## ONTOLOGIA DE REFERÊNCIA

A construção de um esboço de ontologia é um passo crucial no desenvolvimento de uma representação visual clara e concisa do domínio em questão. Utilizando a linguagem OntoUML (Unified Modeling Language for Ontologies), podemos criar um diagrama que expressa de forma precisa as entidades, conceitos, relações e restrições que compõem a ontologia para a identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas.

O primeiro passo é identificar as principais entidades e conceitos do domínio. No contexto da ontologia em questão, teríamos entidades como "Herbicida", "Planta Daninha", "Imagem", "Efeito", "Processamento de Imagem", "Aprendizado de Máquina" e outras relacionadas.

Em seguida, estabelecemos as relações semânticas entre essas entidades. Por exemplo, a relação "Utiliza" pode conectar a entidade "Sistema Computacional" à "Tecnologia de Processamento de Imagem", indicando que o sistema utiliza essa tecnologia. Da mesma forma, a relação "Detecta" pode ligar a "Tecnologia de Processamento de Imagem" à "Efeitos de Herbicidas", indicando que essa tecnologia é responsável por detectar as características dos efeitos visuais nas imagens capturadas.

A linguagem OntoUML também permite a inclusão de restrições que garantem a integridade e consistência dos dados na ontologia. Por exemplo, uma restrição pode ser aplicada à propriedade "Data de Captura" para garantir que siga um formato de data e hora padrão.

Ao utilizar o aplicativo Visual Paradigm, podemos criar um diagrama OntoUML que representa graficamente essas entidades, relações e restrições. O Visual Paradigm oferece ferramentas intuitivas para a modelagem de ontologias, permitindo uma visualização eficaz do domínio e facilitando a compreensão de todos os conceitos envolvidos no desenvolvimento da ontologia. Este esboço da ontologia, representado por um diagrama OntoUML, serve como um guia visual valioso para o processo de implementação da ontologia, ajudando a garantir que todos os elementos essenciais do domínio estejam adequadamente modelados e relacionados.

Foi feita a divisão da ontologia em três visões, cada uma dedicada a um domínio específico do conhecimento (Computação, Agricultura e Bioquímica), adotando-se assim uma abordagem estratégica para organizar e representar de forma mais clara as diferentes perspectivas e elementos dentro da ontologia. Cada visão focaliza os conceitos e relações relevantes ao respectivo domínio, oferecendo uma representação mais especializada e detalhada. Os diagramas correspondentes a cada visão fornecem uma visualização intuitiva das interações e conexões entre os elementos-chave em cada domínio. Este método facilita a compreensão, implementação e manutenção da ontologia.

### Visão de Computação

Identifica as entidades e relações relacionadas a sistemas computacionais, processamento de imagem, aprendizado de máquina e dados de treinamento. Destaca as tecnologias, algoritmos e configurações específicas utilizadas no contexto da identificação de efeitos de herbicidas.

A ontologia apresentada segue uma abordagem que lembra o formato OntoUML (Unified Modeling Language for Ontologies), que é uma linguagem de modelagem unificada para ontologias. Abaixo, apresento uma descrição dos principais elementos da ontologia usando terminologia OntoUML:

#### Figura 2: Diagrama de Visão de Domínio Computação

Diagrama

Descrição gerada automaticamente  
Fonte: Elaboração do Autor

### Visão de Agricultura

Concentra-se em conceitos relacionados a herbicidas, plantas daninhas, imagens de plantas daninhas, efeitos de herbicidas e ações realizadas no campo agrícola. Reflete a interação entre a aplicação prática da ontologia e os processos agrícolas.

#### Figura 3: Diagrama de Visão de Domínio Agricultura

**Diagrama

Descrição gerada automaticamente**   
Fonte: Elaboração do Autor

### Visão de Agricultura

Aborda conceitos mais específicos relacionados às propriedades bioquímicas dos herbicidas, caracterizando suas fórmulas químicas, concentrações e efeitos nas plantas daninhas em um nível molecular. Destaca a relação entre as propriedades bioquímicas dos herbicidas e os efeitos observados.

Figura 4: Diagrama de Visão de Domínio Bioquímica **Diagrama

Descrição gerada automaticamente**  
Fonte: Elaboração do Autor

Essa abordagem dos domínios em módulos distintos permite uma compreensão mais aprofundada de cada domínio, simplificando a navegação e facilitando a colaboração entre especialistas de diferentes áreas. Cada visão contribui para a construção de um conhecimento integrado, promovendo a eficácia da ontologia em contextos multidisciplinares.

## ONTOLOGIA OPERACIONAL

A construção da ontologia proposta foi realizada utilizando a plataforma Protégé Community, uma ferramenta de código aberto desenvolvida pela Stanford University, que oferece uma interface amigável para a modelagem ontológica. Ele foi escolhido como a ferramenta principal para o desenvolvimento da ontologia devido à sua reputação consolidada na comunidade de pesquisa em ontologias. Sua interface intuitiva e recursos robustos tornaram o processo de modelagem mais eficiente e acessível. A seguir, detalhamos o processo de modelagem e as decisões-chave tomadas durante o desenvolvimento.

### Estrutura da Ontologia

Inicialmente foram feitas as incluídas as declarações que indicam a criação de cada uma das classes com seus identificadores específicos (IRI ou abbreviatedIRI). Essas classes representam entidades no domínio da ontologia que está sendo modelada. A seguir, listamos algumas delas com suas respectivas definições:

Além da definição das Classes, foram incluídas as Propriedades de Objetos (Object Properties), que representam atributos de Classes, atribuindo-lhes características específicas. Listamos abaixo algumas dessas propriedades:

A especificações de Domínios, Classes, Propriedades e restrição aqui são herdadas da Ontologia de Referência e estão relacionadas na Tabela 7:

##### Tabela 7: Estrutura do Ontologia

| ***Tipo*** | | | ***Nome*** | | ***Descrição*** | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Domínio: Computation*** | | | | | |
| *Categorias Principais* | *Computation* | | | *Refere-se à categoria relacionada a processos computacionais.* | | |
| Application | | | Representa aplicações de software. | | |
| ConvolutionalNeuralNetwork | | | Representa redes neurais convolucionais. | | |
| DigitalCamera | | | Representa câmeras digitais. | | |
| MachineLearning | | | Refere-se a técnicas de aprendizado de máquina. | | |
| Propriedades de Objeto | developerHasComputation | | | Relaciona instâncias de Developer a instâncias de Computation. | | |
| machineLearningHasComputation | | | Relaciona instâncias de MachineLearning a instâncias de Computation. | | |
| softwareHasComputation | | | Relaciona instâncias de Software a instâncias de Computation. | | |
| digitalCameraHasImageCapture | | | Relaciona instâncias de DigitalCamera a instâncias de ImageCapture. | | |
| hardwareHasComputation | | | Relaciona instâncias de Hardware a instâncias de Computation. | | |
| convolutionalNeuralNetworkHasMachineLearning | | | Relaciona instâncias de ConvolutionalNeuralNetwork a instâncias de MachineLearning. | | |
| machineLearningHasSoftware | | | Relaciona instâncias de MachineLearning a instâncias de Software. | | |
| softwareHasComputation | | | Relaciona instâncias de Software a instâncias de Computation. | | |
| digitalCameraHasHardware | | | Relaciona instâncias de DigitalCamera a instâncias de Hardware. | | |
| ***Domínio: Agriculture*** | | | | | | |
| Categorias Principais | Plant | | | Representa uma categoria principal de plantas. | | | |
| Crops | | | Refere-se à categoria que representa os cultivos. | | | |
| Cultivation | | | Refere-se à categoria que representa o processo de cultivo. | | | |
| EnforcementCommittee | | | Representa um comitê de fiscalização. | | | |
| StressDetection | | | Refere-se à categoria que representa a detecção de estresse em plantas. | | | |
| Herbicide | | | Refere-se a herbicidas. | | | |
| HerbicideIndication | | | Representa a indicação de herbicidas. | | | |
| HerbicideApplication | | | Refere-se à aplicação de herbicidas. | | | |
| Farmer | | | Representa a categoria que engloba os agricultores. | | | |
| Propriedades de Objeto | plantHasCrops | | | Relaciona instâncias de Plant a instâncias de Crops. | | | |
| herbicideIndicationHasWeed | | | Relaciona instâncias de HerbicideIndication a instâncias de Weed. | | | |
| farmerHasCultivation | | | Relaciona instâncias de Farmer a instâncias de Cultivation. | | | |
| farmerHasHerbicideIndication | | | Relaciona instâncias de Farmer a instâncias de HerbicideIndication. | | | |
| farmerHasHerbicideApplication | | | Relaciona instâncias de Farmer a instâncias de HerbicideApplication. | | | |
| legislationHasApplication | | | Relaciona instâncias de Legislation a instâncias de Application. | | | |
| biochemistHasApplication | | | Relaciona instâncias de Biochemist a instâncias de Application. | | | |
| ***Domínio: Biochemical*** | | | | | | | | |
| Categorias Principais | | ChemicalProduct | | | Representa produtos químicos relacionados à ontologia. | | | |
| Biochemist | | | Refere-se à categoria que representa bioquímicos. | | | |
| AdverseEffects | | | Refere-se a efeitos adversos provocados por estressores. | | | |
| Propriedades de Objeto | | biochemistHasChemicalProduct | | | Relaciona instâncias de Biochemist a instâncias de ChemicalProduct. | | | |
| biochemistHasAdverseEffects | | | Relaciona instâncias de Biochemist a instâncias de AdverseEffects. | | | |

Também temos as declarações de NamedIndividuals, em que cada objetos representam uma instância específica de uma classe na ontologia. seguem algumas observações sobre alguns desses indivíduos:

* **Alterações\_na\_Morfologia:** representa uma instância específica relacionada a alterações na morfologia de plantas ocasionada pela aplicação de algum herbicida; sendo assim uma instância de **AdverseEffects**.
* **Azevém, Buva, Capim-pé-de-galinha, Caruru, Feijao, Milho, Soja, Tiririca:** Representam instâncias específicas de plantas ou culturas.
* **Biochemist, Developer, EnforcementCommittee, Farmer:** Representam instâncias específicas de profissões ou papéis.
* **Plantação\_de\_Soja, Recomentdação\_de\_Aplicação, Aplicação\_de\_Glifozato, Glifozado, Foto\_de\_Erva\_Daninha, Feijão, Murcha:** Representam instâncias específicas relacionadas a culturas, herbicidas, aplicação de herbicidas, indicação de herbicidas, captura de imagem, plantas e estresse.
* **AdverseEffects** é uma instância de **Kind**.
* **Alterações\_na\_Morfologia** é uma instância da classe **AdverseEffects**.
* **Aplication** é considerado um tipo **kind** de entidade.
* **ApplicationProject** é considerado um tipo **kind** de entidade.
* **Azevém** é um tipo específico de **Weed**.
* **Biochemist** é considerado um tipo (**kind**) de entidade.
* **Buva** é um tipo específico de **Weed**.
* **Capim-pé-de-galinha** é uma instância da classe **Weed**;
* **Caruru** é outra instância da classe **Weed**.
* **ChemicalProduct** é uma instância da categoria **gufo**:Category.
* **Computation** é considerado um tipo **kind** de entidade.
* **ConvolutionalNeuralNetwork** é considerado um tipo **kind**.
* **Crops** também é considerado um tipo **kind**.
* **Cultivation** é uma instância de **Kind**;
* **Descoloração\_e\_Amarelecimento** é uma instância da classe **AdverseEffects**.

# CRONOGRAMA

Para a realização da pesquisa proposta neste trabalho, faz-se necessária a elaboração de um cronograma de execução das tarefas que levarão a produção dos artefatos escopo. O cronograma segue uma sequência lógica de atividades, abordando desde a obtenção dos dados até a entrega e defesa da dissertação. A seguir é apresentada uma breve descrição de cada etapa, cujos períodos de execução estão especificados na Tabela 7.

* **Obtenção dos Dados de Treinamento:** Nesta fase, serão coletados os conjuntos de dados necessários para o treinamento dos modelos. Isso pode envolver a busca em bancos de dados, repositórios online ou a geração de dados próprios, dependendo do escopo da pesquisa.
* **Pré-seleção de Algoritmos:** Realização de uma análise preliminar para identificar os algoritmos mais adequados ao problema em questão. Isso pode incluir algoritmos de machine learning, deep learning ou outras técnicas específicas.
* **Treinamento com Algoritmos Pré-selecionados:** Após a escolha dos algoritmos, inicia-se o treinamento dos modelos utilizando os dados de treinamento. Esta etapa envolve ajustes de parâmetros e otimização para maximizar o desempenho dos modelos.
* **Avaliação do Desempenho dos Algoritmos:** Realização de testes e validação cruzada para avaliar o desempenho dos modelos treinados. Métricas específicas serão utilizadas para medir a precisão, recall, F1-score, entre outras, dependendo do contexto da pesquisa.
* **Construção da Estrutura da Rede Neural:** Se a pesquisa envolve o uso de redes neurais, esta etapa foca na definição da arquitetura da rede, incluindo o número de camadas, neurônios em cada camada, funções de ativação, etc.
* **Treinamento da Rede Neural:** Caso redes neurais sejam parte da metodologia, esta etapa consiste no treinamento específico da rede neural, ajustando pesos e biases para otimizar o aprendizado.
* **Aferição dos Resultados:** Após o treinamento, os resultados são avaliados e comparados com métricas específicas. Esta etapa é crucial para verificar se os modelos atendem aos objetivos da pesquisa.
* **Confecção de Relatório de Inferência:** Preparação de um relatório detalhado sobre as inferências e conclusões obtidas a partir dos resultados. Este relatório pode incluir visualizações gráficas, tabelas e interpretações estatísticas.
* **Elaboração do Texto da Dissertação:** Com base nos resultados e conclusões, inicia-se a redação da dissertação. Este processo envolve a estruturação do texto, revisão bibliográfica, discussão dos resultados e conclusões finais.
* **Entrega da Dissertação:** Submissão formal da dissertação conforme as normas da instituição de ensino. Isso marca o encerramento da fase de produção do trabalho.
* **Defesa da Dissertação:** Apresentação pública da pesquisa, seguida por questionamentos da banca examinadora. Esta etapa é crucial para a validação do trabalho e obtenção do grau acadêmico.

##### Tabela 8: Cronograma de Execução da Pesquisa

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Período*** | ***2024*** | | | | | | | | ***2025*** | |
| ***Atividade*** | ***Mai*** | ***Jun*** | ***Jul*** | ***Ago*** | ***Set*** | ***Out*** | ***Nov*** | ***Dez*** | ***Jan*** | ***Fev*** |
| Obtenção dos dados de treinamento | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Pré-seleção de Algoritmos | *X* | X |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Treinamento com Algoritmos pré-selecionados |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |
| Avaliação do desempenho dos algoritmos |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |
| Construção da estrutura da rede Neural |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |
| Treinamento da Rede Neural |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |
| Aferição dos Resultados |  |  |  | X | X | X |  |  |  |  |
| Confecção de Relatório de inferência |  |  |  |  | C | X | X |  |  |  |
| Elaboração do Texto da Dissertação |  |  |  |  |  |  | X | X |  |  |
| Entrega da Dissertação |  |  |  |  |  |  |  |  | X |  |
| Defesa da Dissertação |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X |

Fonte: Elaboração do autor

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo, apresentamos uma ontologia abrangente e semanticamente rica destinada a representar um sistema inovador de identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas. A criação desta ontologia é um passo crucial para avançar na compreensão e na aplicação prática de técnicas avançadas de processamento de imagem e aprendizado de máquina no contexto agrícola e de pesquisa.

A ontologia não é apenas uma estrutura semântica; é uma ferramenta que pode capacitar pesquisadores, agricultores e profissionais com insights mais profundos e informações bem definidas. Ela fornece uma base sólida para a padronização de dados relacionados a herbicidas, plantas daninhas e seus efeitos, promovendo a interoperabilidade e a colaboração em todo o domínio.

À medida que a agricultura moderna enfrenta desafios crescentes, como a gestão eficaz de herbicidas e a busca por práticas agrícolas sustentáveis, a ontologia representará um ativo valioso para a tomada de decisões informadas e o avanço contínuo do conhecimento.

A ontologia não é apenas um marco de pesquisa, mas uma ferramenta prática que pode ser usada em diversos cenários, desde laboratórios de pesquisa até campos agrícolas. Ela é uma fonte de conhecimento, uma plataforma de integração de tecnologias e um impulsionador do progresso no domínio da identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas

## REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) desempenha um papel crucial na fundamentação e contextualização da pesquisa, fornecendo uma visão abrangente das contribuições existentes no domínio da detecção de efeitos de herbicidas em plantas. A metodologia rigorosa adotada para a condução da RSL contribui para a confiabilidade e validade dos resultados, assegurando que as conclusões se baseiem em uma amostra representativa e diversificada de estudos e trabalhos anteriores.

A identificação de temas recorrentes, lacunas no conhecimento e tendências emergentes na literatura permite que os pesquisadores compreendam melhor o estado da arte da área de estudo. A análise detalhada das metodologias, técnicas e abordagens utilizadas em pesquisas anteriores oferece insights valiosos para a elaboração da ontologia e o design do sistema de detecção de efeitos de herbicidas.

Além disso, a RSL destaca a evolução histórica do campo, contextualizando a pesquisa atual dentro do panorama mais amplo. A compreensão das limitações e desafios enfrentados por estudos anteriores contribui para a identificação de oportunidades de inovação e aprimoramento. A inclusão de uma revisão sistemática no escopo do projeto demonstra um compromisso com a integridade acadêmica e a construção sobre as contribuições existentes para impulsionar o conhecimento adiante.

No entanto, é crucial reconhecer que a literatura está em constante evolução, e novas pesquisas podem ter surgido desde a conclusão da revisão. Portanto, é recomendável que o pesquisador esteja atento a desenvolvimentos recentes e esteja disposto a ajustar a pesquisa de acordo com as contribuições mais recentes no campo. A RSL, portanto, não é apenas um ponto de partida, mas um processo dinâmico que orienta a pesquisa em tempo real, garantindo que ela permaneça relevante e impactante no contexto mais amplo do conhecimento científico.

### Tecnologias Identificadas na RSL

O conjunto de artigos analisados na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) apresentou uma variedade de tecnologias empregadas para abordar os desafios relacionados ao desenvolvimento de sistemas de detecção de efeitos de herbicidas em plantas daninhas. Abaixo estão algumas das tecnologias identificadas durante a revisão:

* **Processamento de Imagens:** Algoritmos de processamento de imagem foram frequentemente mencionados nos artigos. Estes incluem técnicas para pré-processamento de imagens, segmentação, extração de características e análise visual.
* **Aprendizado de Máquina (Machine Learning:** Técnicas de aprendizado de máquina foram amplamente utilizadas para treinamento de modelos e classificação de imagens. Isso inclui algoritmos de classificação supervisionada e não supervisionada, redes neurais, máquinas de vetor de suporte (SVM) e outros métodos de aprendizado estatístico.
* **Redes Neurais Convolucionais (CNNs):**  Vários artigos destacaram o uso de CNNs, uma categoria de redes neurais profundas especializadas em processamento de imagens. Essas redes são eficazes na extração de padrões complexos em dados visuais.
* **Sensores e Dispositivos de Captura de Imagem:** Diversos estudos mencionaram o uso de sensores específicos e dispositivos de captura de imagem, como câmeras digitais e câmeras embarcadas em veículos agrícolas.
* **Tecnologias de Georreferenciamento:** Algumas pesquisas integraram tecnologias de georreferenciamento para rastrear a localização espacial das plantas daninhas. Isso pode ser útil para análises de distribuição geográfica e monitoramento.
* **Ferramentas de Software Específicas:** Os artigos frequentemente mencionavam o uso de ferramentas específicas de software para implementação e avaliação dos sistemas propostos. Isso pode incluir ambientes de desenvolvimento, bibliotecas de aprendizado de máquina e ferramentas de análise de imagem.
* **Ontologias e Linguagens de Representação de Conhecimento:** Algumas pesquisas destacaram o uso de ontologias e linguagens específicas para representação de conhecimento. Essas ferramentas contribuíram para a modelagem conceitual e organização das informações relacionadas a herbicidas, plantas daninhas e processos de detecção.
* **Sensores Específicos para Avaliação de Estresse em Plantas:** Em alguns casos, foram mencionados sensores específicos para a avaliação de estresse em plantas, que podem incluir sensores de clorofila, sensores de temperatura e outros dispositivos para medir indicadores de saúde das plantas.
* **Tecnologias de Comunicação e Conectividade:** Em implementações que envolviam monitoramento remoto, alguns artigos destacaram o uso de tecnologias de comunicação, como redes sem fio e Internet das Coisas (IoT), para transmitir dados de sensores e imagens.

Essa diversidade de tecnologias reflete a abordagem multifacetada adotada pelos pesquisadores para enfrentar os desafios específicos relacionados à detecção de efeitos de herbicidas em plantas daninhas. O uso integrado dessas tecnologias contribui para soluções mais robustas e eficazes.

## ONTOLOGIA:

A criação da ontologia é um componente fundamental deste projeto, oferecendo uma estrutura conceitual clara para representar os elementos essenciais relacionados à detecção de efeitos de herbicidas. A decisão de adotar uma abordagem interdisciplinar na ontologia é particularmente relevante, pois reflete a complexidade do problema que envolve tanto aspectos tecnológicos quanto biológicos. A organização em visões distintas para os domínios de Computação, Agricultura e Bioquímica facilita a compreensão e colaboração entre especialistas de diferentes áreas. Além disso, a utilização da linguagem OntoUML e da plataforma Protégé Community destaca a atenção à precisão semântica e à praticidade na implementação.

### Usos Potenciais da Ontologia

A ontologia proposta tem uma ampla gama de usos potenciais, abrangendo diferentes áreas e proporcionando benefícios significativos para a pesquisa e a aplicação prática. Alguns dos principais usos potenciais incluem:

* **Aprimoramento da Compreensão do Processo de Identificação de Efeitos de Herbicidas:** A ontologia oferece uma representação semântica precisa do processo de identificação de efeitos de herbicidas, permitindo que pesquisadores e profissionais compreendam a complexidade e as nuances envolvidas.
* **Facilitação da Integração de Tecnologias de Processamento de Imagem e Aprendizado de Máquina:** A ontologia atua como uma ponte semântica entre tecnologias de processamento de imagem e aprendizado de máquina, permitindo a integração harmoniosa dessas tecnologias para uma análise mais eficaz de imagens de plantas daninhas.
* **Padronização da Representação de Informações Relacionadas a Herbicidas:** A ontologia estabelece padrões claros para a representação de informações relacionadas a herbicidas, plantas daninhas e efeitos, promovendo a uniformidade e a consistência nos dados.
* **Suporte à Tomada de Decisões em Agricultura e Pesquisa:** Pesquisadores, agricultores e tomadores de decisão podem usar a ontologia como um recurso valioso para análise de dados e tomada de decisões informadas sobre o uso de herbicidas e práticas de manejo de plantas daninhas.
* **Ampliação do Conhecimento em Agricultura Sustentável:** A ontologia contribui para o avanço do conhecimento em práticas agrícolas sustentáveis, auxiliando na identificação de estratégias de controle de plantas daninhas com menor impacto ambiental.
* **Suporte a Pesquisas e Desenvolvimentos Futuros:** A ontologia servirá como uma base sólida para futuras pesquisas e desenvolvimentos no domínio da identificação de efeitos de herbicidas, permitindo uma colaboração mais eficaz e a integração de novos conhecimentos.
* **Facilitação da Compartilhamento de Conhecimento e Dados:** A ontologia promove o compartilhamento de conhecimento e dados entre pesquisadores, instituições e organizações, enriquecendo a colaboração no campo da identificação de efeitos de herbicidas.

## OBJETIVOS E ESCOPOS DA PESQUISA

Os objetivos e escopos da pesquisa delineados neste trabalho refletem uma abordagem abrangente e estratégica para abordar os desafios no desenvolvimento de um sistema de detecção de efeitos de herbicidas em plantas daninhas. Cada aspecto do projeto, desde a construção da ontologia até a implementação do sistema, é cuidadosamente alinhado com metas específicas, demonstrando uma clara intenção de abordar lacunas identificadas na literatura existente e oferecer soluções inovadoras para um problema agrícola crítico. O objetivo principal, que é desenvolver uma ontologia para representar com precisão o sistema de detecção proposto, destaca a importância de uma base conceitual sólida. A escolha da linguagem OWL para implementação da ontologia sugere uma abordagem robusta e interoperável, facilitando a integração com outras ontologias e sistemas, promovendo assim a (re)usabilidade e ampliação do valor da pesquisa.

Os usuários-alvo identificados, como Produtores Agrícolas, Desenvolvedores e Bioquímicos, refletem uma compreensão holística das partes interessadas no domínio. As necessidades e expectativas desses usuários são cuidadosamente consideradas, indicando uma abordagem centrada no usuário para o desenvolvimento do sistema. O foco não apenas na representação conceitual, mas também nas aplicações práticas do sistema, destaca a intenção de criar uma solução impactante e relevante para o setor agrícola. Os usos propostos para a ontologia, como aprimorar a compreensão do processo de identificação de efeitos de herbicidas, padronizar informações relacionadas a herbicidas e oferecer suporte à tomada de decisões, revelam uma visão abrangente das contribuições potenciais da pesquisa. A ênfase na ampliação do conhecimento em agricultura sustentável e no suporte a pesquisas futuras demonstra uma preocupação com a aplicabilidade a longo prazo e a evolução contínua da ontologia.

Os requisitos funcionais e não funcionais estabelecidos fornecem uma estrutura clara para a avaliação do sucesso do sistema proposto. A atenção aos requisitos multilíngues, interoperabilidade e extensibilidade destaca uma abordagem proativa para garantir que o sistema permaneça relevante e adaptável em diferentes contextos e à medida que as demandas evoluem. Em resumo, os objetivos e escopos da pesquisa refletem uma visão ambiciosa e bem fundamentada para o desenvolvimento de um sistema de detecção de efeitos de herbicidas, prometendo contribuições significativas para o campo da agricultura e da pesquisa. A integração de uma abordagem multidisciplinar, centrada no usuário e orientada para a inovação posiciona esta pesquisa como uma iniciativa valiosa com potencial para impactar positivamente a eficiência e sustentabilidade no manejo de plantas daninhas.

# REFERÊNCIAS

BIOLCHINI, J. C. de A. et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. Advanced Engineering Informatics, Elsevier, v. 21, n. 2, p. 133–151, 2007.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.

BERNERS-LEE, T., HENDLER, J., & Lassila, O. (2001). **The Semantic Web: A New Form of Web Content That is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities.** Acesso em 11/12/2023, disponível em <https://www.researchgate.net/publication/225070375>.

Guizzardi, G. (2005). **Ontological Foundations for Structural Conceptual Models**. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology). 14(4), 369-426. Acesso em 11/12/2023, disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~gguizzardi/OFSCM.pdf>>;

McGuinness, D. L., & van Harmelen, F. (2004**). OWL Web Ontology Language Overview. W3C Recommendation**, World Wide Web Consortium (W3C), 2004. Acesso em 11/12/2023, disponível em < <https://www.w3.org/TR/owl-features>>.

Smith, M. K., Welty, C., & McGuinness, D. L. (2004). **OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation**, World Wide Web Consortium (W3C). Acesso em 11/12/2023, disponível em < <https://www.w3.org/TR/owl-guide>>.