

Uma Proposta para a Detecção de Plantas Daninhas em Mudas de *Gallesia Integrifolia* com Métodos de Processamento de Imagens

Geraldo G. Cruz Júnior

Centro de Informática

Universidade Federal de Pernambuco

Recife, Pernambuco

ggc4@cin.ufpe.br

Saulo J. Albuquerque Silva

Centro de Informática

Universidade Federal de Pernambuco

Recife, Pernambuco

sjas@cin.ufpe.br

Resumo—A *Gallesia Integrifolia*, popularmente conhecida como pau-d’alho, é uma espécie de árvore de grande relevância econômica e ambiental. É amplamente utilizada na construção de móveis e de forma medicinal, a classificando como uma boa árvore de reflorestamento. Devido a sua relevância, o pau-d’alho é muito utilizado por indústrias em florestas plantadas, visando ao aproveitamento futuro de sua madeira, e por viveiros florestais, que cultivam mudas para serem utilizadas em reflorestamentos. Indústrias e viveiros passam por um problema semelhante no cultivo de mudas, a existência de plantas daninhas. Essas plantas invasoras além de competirem por nutrientes, muitas vezes, confundem a detecção da muda, tornando difícil a diferenciação entre elas. Este tipo de problema acarreta em perdas relevantes no quantitativo de mudas. Esse estudo propõe a utilização de técnicas de processamento de imagem para a detecção e diferenciação entre a muda e as plantas daninhas. O projeto propõe o uso de técnicas de segmentação de imagens, com e sem aprendizado, para a detecção e realce das mudas. As técnicas utilizadas são apresentadas, discutidas e possuem os seus resultados comparados e avaliados frente a métricas de validação. O estudo foi realizado no viveiro florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e espera-se que a solução proposta seja útil para pesquisas futuras na detecção de plantas daninhas e evite perdas de mudas na academia e na indústria.

Palavras-Chave— detecção de plantas daninhas, segmentação de imagem, u-net, otsu, pau-d’alho

I. INTRODUÇÃO

A *Gallesia Integrifolia*, ou pau-d’alho, é uma árvore de crescimento rápido, muito cultivada para práticas de reflorestamento e uso de sua madeira para construção de móveis e de forma medicinal. Por ser utilizada no cultivo de reflorestamento e por ter um crescimento rápido é importante garantir a qualidade das suas mudas durante todo o processo [1]. O crescimento acelerado das mudas eleva o trabalho de limpeza da área cultiva, sendo um final de semana suficiente para a área plantada ser contaminada por plantas daninhas, dificultando a diferenciação diante das mudas.

Nos últimos anos o custo com o controle de plantas daninhas vem aumentando, e em partes, se deve ao aumento no número de casos de resistência a defensivos agrícolas, o que dificulta o manejo [2]. Essas plantas invasoras prejudicam safras e cultivos ocasionando em percas significativas para o agronegócio.

Esse não é um problema restrito as agroindústrias e grandes empresas, a produção de mudas em viveiros florestais e em pequenas produções rurais também são diretamente afetadas pela contaminação de plantas daninhas que prejudicam a qualidade e identificação do cultivo.

Muitas técnicas são utilizadas para o combate, prevenção e detecção de plantas daninhas, desde o uso de produtos químicos e melhorias genéticas até o uso de métodos da ciência da computação, entre eles estão técnicas de processamento de imagem e modelagens computacionais de ambientes [3].

Frente a problemática apresentada, o objetivo deste projeto de pesquisa é aplicar técnicas de processamento de imagens para a detecção e realce de mudas de *Gallesia integrifolia* diante de plantas daninhas para o auxílio na identificação e remoção destas do cultivo. Este trabalho apresenta:

- Um levantamento de pesquisas relacionadas na detecção de plantas daninhas em mudas;
- Testes, comparações e validações de técnicas de processamento de imagens na detecção de plantas daninhas no cultivo de pau-d’alho;
- Um dataset documentado e classificado de mudas de *Gallesia integrifolia*;
- Uma proposta de técnicas que através do processamento de imagem possibilitam a detecção de plantas daninhas em mudas de pau-d’alho.

Este trabalho foi realizado no viveiro florestal (Figura 1) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Em entrevista com o professor/coordenador do viveiro, Dr. Rodrigo Eiji Hakama, foi evidenciada a importância da pesquisa e de uma ferramenta que possibilite a detecção facilitada de plantas daninhas em mudas. Foi relatado que já houve

situações, dentro da academia, de descartarem 100% das mudas cultivas, devido a existência de plantas daninhas que se misturam e dificultam a diferenciação com o cultivo. Outro cenário reportado foi o observado na agricultura familiar e em pequenas plantações domésticas, onde por muitas vezes o cultivo é perdido devido a essa difícil identificação das mudas.



Fig. 1. Viveiro florestal UFRPE.

No contexto comercial as plantas daninhas também ocasionam problemas no cultivo, principalmente quanto a utilização de herbicidas. O uso desses produtos deve ocorrer de forma controlada e com aplicações em áreas precisas, reduzindo custos e melhorando a qualidade da plantação [4]. A complexidade desta prática está na classificação entre a espécie cultivada e as plantas daninhas. Além disso, técnicas de processamento de imagem têm se mostrado eficazes e com bons resultados quando aplicadas para o domínio das ciências agrárias [3]. O uso dessas técnicas é não invasivo para as práticas ambientais e apresenta bons resultados e precisão para detecção de parâmetros agronômicos [5].

O conhecimento dos especialistas entrevistados durante a fase de imersão no viveiro, juntamente com os dados e informações encontrados na literatura sobre plantas daninhas e a *Gallesia integrifolia* foram utilizados para adaptação e validação inicial das técnicas utilizadas nos experimentos. Algumas fotos das mudas também foram utilizadas para o treinamento de técnicas supervisionadas de segmentação (unet). Nesse último caso se utilizou validação cruzada para a avaliação do modelo. As técnicas e modelos implementados, após serem testados, tiveram seus resultados e validações discutidos e comparados buscando-se observar qual a melhor técnica e possíveis pontos de melhorias dado a problemática de detecção de plantas daninhas em mudas de pau-d’alho.

Esta pesquisa apresenta para a comunidade uma proposta de métodos e ferramentas para a detecção e diferenciação de plantas daninhas em cultivos de pau-d’alho.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A detecção de ervas daninhas é um problema complicado que precisa de várias fontes de informação a serem reunidas para uma discriminação bem-sucedida. Informações sobre a presença de ervas daninhas nos campos são importantes para decidir sobre uma estratégia de controle de ervas daninhas. Isto é especialmente crucial no manejo preciso de ervas daninhas, onde a posição de cada planta é essencial para a condução de controle mecânico de ervas daninhas ou pulverização de agrotóxicos. A maioria dos pulverizadores convencionais aplica agrotóxicos uniformemente, apesar do fato de que a distribuição de ervas daninhas é tipicamente desigual, resultando no desperdício de compostos valiosos, aumento de custos, risco de danos às culturas, resistência a produtos químicos, poluição ambiental e contaminação de produtos.

Para reduzir esses impactos negativos dos pulverizadores tradicionais, Partel et al (2019) projetam e desenvolvem um pulverizador inteligente utilizando visão mecânica e inteligência artificial (IA) para distinguir as ervas daninhas alvo dos objetos não-alvo (por exemplo, as hortaliças) e pulverizar com precisão o local desejado. Dois cenários experimentais diferentes foram projetados para simular um campo de vegetais e avaliar o desempenho do pulverizador inteligente. Duas unidades de processamento gráfico (GPU) integradas foram avaliadas como a unidade de processamento do pulverizador inteligente. Um GPS RTK foi conectado ao pulverizador inteligente e um algoritmo foi desenvolvido para gerar automaticamente mapas de ervas daninhas e visualizar os dados coletados (após cada aplicação). Esta tecnologia inteligente integra um sistema de detecção de ervas daninhas baseado em IA, um novo sistema de pulverização rápido e preciso e um sistema de mapeamento de ervas daninhas. Ele pode reduzir significativamente a quantidade de agroquímicos necessários, reduzir os custos, o risco de danos às culturas e o excesso de resíduos de herbicidas, além de reduzir potencialmente o impacto ambiental [6].

Ainda nessa questão, o trabalho de Perez et al. (2000) trata do desenvolvimento de técnicas de captura e processamento de imagens próximas ao solo para detectar ervas daninhas de folhas largas em plantações de cereais em condições reais de campo. Os métodos propostos utilizam informações de cor para discriminar entre vegetação e fundo, enquanto técnicas de análise de forma são aplicadas para distinguir entre a cultura e as ervas daninhas. O desempenho dos algoritmos foi avaliado comparando os resultados com uma classificação humana, fornecendo uma taxa de sucesso aceitável. O estudo mostrou que, apesar das dificuldades em determinar com precisão o número de mudas, é possível usar técnicas de processamento de imagens para estimar a área foliar relativa de plantas daninhas enquanto se deslocam pelo campo e usam esses dados em uma pesquisa de ervas daninhas manual [4].

No trabalho de Milioto et al. (2018), é abordado o problema da segmentação semântica baseada em *Convolutional Neural network* (CNN) de campos de cultivo que separam plantas de beterraba açucareira, ervas daninhas e fundo unicamente

com base em dados RGB. É Proposto uma CNN que explora os índices de vegetação existentes e fornece uma classificação em tempo real. Além disso, ele pode ser efetivamente treinado novamente para campos não vistos com uma quantidade comparativamente pequena de dados de treinamento. O sistema é avaliado em um robô agrícola real e os resultados mostram que o sistema generaliza bem [7].

O trabalho de Dyrmann et al. (2018), para a detecção de plantas daninhas, propõe uma rede neural totalmente convolucional, que detecta as ervas daninhas em imagens e classifica cada uma como monocotiledônea ou dicotiledônea. A rede foi treinada em mais de 13 000 anotações de ervas daninhas em imagens RGB de alta resolução dos campos dinamarqueses de trigo e centeio. Devido à oclusão nos campos de cereais, as ervas daninhas podem estar parcialmente escondidas atrás ou tocando as plantações ou outras ervas daninhas, que a rede manipula. A rede pode detectar ervas daninhas com uma precisão média (AP) de 0,76. A rede de detecção de ervas daninhas foi avaliada em uma Nvidia Titan X, na qual é capaz de processar uma imagem de 5 MPx em 0,02 s, tornando o método adequado para operação em campo em tempo real [8].

No artigo de Bakhshipour et al. (2017), as características da textura *wavelet* foram examinadas para verificar seu potencial na detecção de plantas daninhas em uma cultura de beterraba açucareira. Passos sucessivos em um algoritmo de discriminação foram projetados para determinar os recursos de textura *wavelet* para cada subdivisão de imagem a ser alimentada a uma rede neural artificial. Características de textura de co-ocorrência foram determinadas para cada imagem multi-resolução produzida por transformada *wavelet* de nível único. A segmentação de imagens baseou-se na decisão tomada pela rede neural de rotular cada subdivisão como erva daninha ou cultura principal. A otimização do algoritmo foi tentada pela investigação de duas formas de discriminação de ervas daninhas da cultura principal. A Análise de Componentes Principais foi usada para selecionar 14 dos 52 traços de textura extraídos. Os resultados demonstraram que as características da textura *wavelet* foram capazes de discriminar eficazmente as ervas daninhas entre as culturas, mesmo quando houve quantidade significativa de oclusão e sobreposição de folhas [9].

O trabalho apresentado nesta pesquisa é focado para a identificação e realce de mudas de *Gallesia integrifolia* em ambiente acadêmico e com a utilização de técnicas de segmentação de imagem.

III. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no viveiro florestal da UFRPE, onde são realizadas práticas e cultivos de diferentes espécies de árvores visando atender demandas do meio acadêmico e industrial. Foram cedidas para a realização do experimento 100 mudas de *Gallesia integrifolia*, em diferentes fases de crescimento vegetativo.

Este estudo teve início com uma imersão no viveiro florestal da UFRPE, em busca de uma melhor compreensão da problemática como um todo. Durante o período de duas semanas fo-

ram realizadas observações e entrevistas *in loco*, os resultados e considerações observados foram documentados e cruzados com o observado em um levantamento da literatura realizado em paralelo. Durante a imersão criou-se uma base de imagens para a realização do experimento e futura classificação. As Figuras 2 e 3 ilustram o ambiente montado para as fotos. A ideia foi construir um cenário com um fundo e iluminação padrão para todas as fotos.



Fig. 2. Ambiente montado para as fotos.



Fig. 3. Realização das fotografias.

As fotos originais podem ser encontradas em: encurador.com.br/ijqvG. As fotos já classificadas estão em: encurador.com.br/iqLM1. Foram cerca de 200 fotos coletadas e 50 classificadas para o experimento, totalizando aproximadamente 800mb em imagens.

Este estudo visa ao emprego de técnicas de processamento de imagem para a detecção de plantas daninhas em meio a áreas cultivadas, para isso, um levantamento dos possíveis melhores métodos que podem vir a ser úteis e eficientes nessa determinação foi indispensável.

Durante o levantamento de métodos de processamento de imagem na literatura foram focadas as principais técnicas utilizadas em trabalhos científicos para o realce, identificação e classificação de plantas daninhas, como observado em técnicas de segmentação, visto a propriedade de classificação intrínseca a aplicação dessas técnicas em imagens [10]. Tomando como base o princípio de que os *pixels* em uma mesma região são similares, com referência a alguma característica ou propriedade computacional, como cor, intensidade, textura ou continuidade, pode-se destacar, através de técnicas de segmentação, regiões adjacentes que possuam diferenças significativas com respeito as mesmas características [11]. O uso dessa técnica pode possibilitar o realce de plantas daninhas em imagens de áreas cultivadas com boa precisão [4] [9] [7].

Existem diferentes técnicas de segmentação de imagem que foram levantadas e analisadas quanto as suas aplicações na problemática em questão. Algumas dessas técnicas funcionam de forma não supervisionada e outras de forma supervisionada, ambas foram analisadas. Dentre as técnicas de segmentação de imagem analisadas destaca-se as seguintes: (I) Método de Otsu (variância máxima); (II) Baseada em características dos pixels; (III) Agrupamento k-means (IV) U-net (supervisionado com treinamento). A seguir são descritos os processos metodológicos para o desenvolvimento dessas técnicas.

A. Método de Otsu

O método Otsu é uma técnica de *thresholding* que determina um limiar ótimo considerando uma determinada imagem. Ela possui um bom funcionamento em imagens cujos histogramas são bi-modais. A ideia é aproximar o histograma de uma imagem por duas funções Gaussianas e escolher o limiar de forma a minimizar a variância intra-classes. Cada classe possui suas próprias características, ou seja, sua média e desvio-padrão [12].

Para o desenvolvimento do Otsu utilizou-se como base o algoritmo descrito em: encurtador.com.br/kmA02.

Inicialmente o Otsu foi aplicado de forma direta a imagem. Posteriormente, em busca de se obter uma melhora no resultado, foi aplicada a transformada wavelet visando a redução de ruídos na imagem. Logo, pode-se dizer que o processo metodológico seguiu os passos:

- 1) Converte a imagem para escala de cinza (para aplicação do *thresholding*);
- 2) Transformada Wavelet para redução de ruídos;
- 3) Aplicação do método Otsu.

B. Baseada em características dos pixels

A segunda abordagem parte do princípio das semelhanças e diferenças de cores e intensidades entre os *pixels*. Dado que os tons de verde são diferentes entre a muda e a planta daninha espera-se que com a aplicação de filtros de verde se possa destacar e diferenciar.

Também utilizou-se técnicas de encadeamento de filtros de erosão e dilatação para a remoção das plantas daninhas menores e fechamento de áreas não segmentadas da muda.

O código desenvolvido para este método foi todo de autoria dos autores deste projeto. Foi realizada uma bateria de testes com técnicas e métodos para pré-processar as imagens e se obter melhorias nos resultados. Um embasamento também utilizado para a aplicação desta técnica foi devido ao fato do espectro da cor verde ser maior no HSV (*Hue, Saturation e Value*) [13].

O processo metodológico para esta técnica seguiu os seguintes passos:

- 1) Redimensionamento da imagem;
- 2) Filtro de média blur;
- 3) Conversão para HSV;
- 4) Criação da máscara de verde;
- 5) Erosão e dilatação (Para remover as plantas daninhas menores e tapar buracos na muda);
- 6) Marcação da porcentagem de verde na imagem.

C. Agrupamento k-means

Este método consiste em particionar os dados individuais contidos na imagem alvo de acordo com suas características mais evidentes, tais como intensidade, valores em RGB, dimensões, distância euclidiana em relação ao próximo dado, ou outras propriedades. As regiões agrupadas são chamadas de “clusters” [14].

Nele, um conjunto de pontos iniciais é determinado para representar os grupos e cada *pixel* da imagem é então atribuído ao grupo cuja distância euclidiana entre o *pixel* e a média do grupo seja mínima, a média do grupo é então calculada novamente e o processo se repete, até que nenhum *pixel* mude de grupo durante a iteração.

Para o desenvolvimento deste método utilizou-se como base o algoritmo do K-means definido pela biblioteca OpenCV versão 4.1.0. O processo metodológico para esta técnica segue os seguintes passos:

- 1) Define um valor para K;
- 2) Define um critério de parada para o algoritmo;
- 3) Define um critério de escolha dos pontos centrais iniciais;
- 4) Converte a imagem para escala de LUV;
- 5) Aplicação do método K-means;
- 6) Binarização da imagem.

Foram avaliadas várias combinações de parâmetros para tentar selecionar a que mais se adequasse ao problema. O valor de K que teve melhor performance foi K=9. O critério de parada para o algoritmo foi o TERM_CRITERIA_MAX_ITER, ele executa o máximo de interações possíveis e já vem definido na biblioteca. A método definido para escolha dos pontos centrais na inicialização do algoritmo foi aleatória (KMEANS_RANDOM_CENTERS).

D. U-net

A U-Net é uma arquitetura de rede neural convolucional desenvolvida para a segmentação de imagens. Sua estruturação possibilita que mesmo com poucas imagens de treinamento se tenha resultados interessantes. A Figura 4 ilustra o comportamento da rede convolucional. Em suma, a imagem é dividida e

processada em n partes e depois é reconstruída considerando a segmentação tomando como base dados de algum treinamento [15].

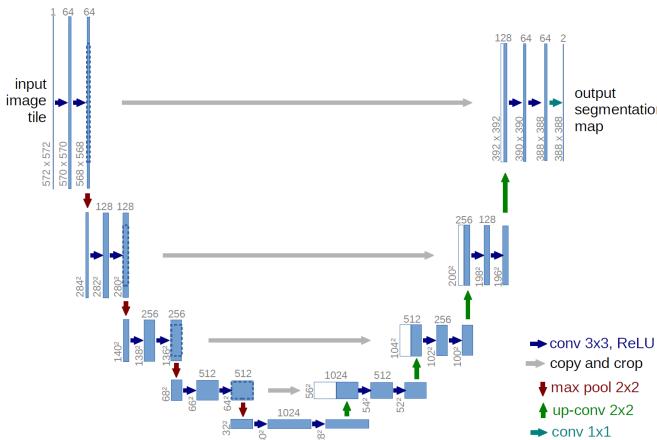


Fig. 4. Arquitetura U-net.

A implementação do u-net foi embasada no artigo do Rohan Relan de 2017, encontrado em: encurtador.com.br/hlFOY.

O processo metodológico para esta técnica seguiu os seguintes passos:

- 1) Montagem do *ground truth* no Photoshop;
- 2) Carregamento do *dataset* classificado;
- 3) Carregamento de funções do u-net;
- 4) Criação de máscaras para garantir 3 canais de imagens;
- 5) Redimensionamento das imagens;
- 6) Aumento de dados por alteração aleatória do HSV e com rotação na imagem e sua máscara;
- 7) Criação de *folds* para treinamento e teste;
- 8) Treinamento do modelo.

Todas essas técnicas foram implementadas utilizando Python em conjunto com algumas bibliotecas, dentre elas pode-se destacar: keras, u-net, OpenCV, brine, numpy e math. Posteriormente as implementações foram hospedadas no Google Colab Research, devido ao compartilhamento de informações e por dependência de ambientes com GPUs. Os códigos também foram disponibilizados no GitHub em: https://github.com/geraldo7junior/pi_2019

Os resultados das técnicas foram mensurados e validados principalmente frente as análises dos especialistas, pesquisadores e estudantes do viveiro florestal da UFRPE. Os *outputs* gerados pelos distintos métodos foram apresentados e validados quanto a sua viabilidade para diferenciação, ou não, de plantas daninhas e mudas.

Para o u-net utilizou-se também a validação cruzada onde a base foi separada aleatoriamente de forma que 60% dela foi utilizada para treinamento, 30% para testes e 10% para validações com os especialistas. Os resultados das técnicas implementadas foram analisados individualmente e depois confrontados. Também foram mensurados índices de precisão, revocação, taxa de verdadeiros negativos, acurácia e *F-measure*, dado o quantitativo de falsos positivos e negativos e

verdeiros positivos e negativos. A Tabela I representa a distribuição das imagens classificadas utilizadas no experimento.

Tabela I
REPRESENTAÇÃO DO QUANTITATIVO DE DADOS

-	Treinamento	Validação	Testes
Porcentagem (~)	60%	10%	30%
Total	30 imagens	5 imagens	15 imagens

Com base em métodos observados na literatura, além da validação cruzada com uma métrica de acurácia, se utilizou um cálculo de coeficiente de correlação com base na assertividade na detecção de plantas daninhas com imagens processadas e não processadas. Os resultados obtidos também foram comparados com os observados na literatura. Tendo-se as métricas coletadas e analisadas, o desempenho final do projeto e sua utilidade/assertividade foram avaliados pelos especialistas do viveiro. Por fim, se destacou quais as melhores técnicas e modelos implementados e quais pontos podem ser implementados para melhoria e otimização dos algoritmos utilizados.

A Figura 5 ilustra um esboço macro do processo metodológico percorrido para o desenvolvimento deste projeto.

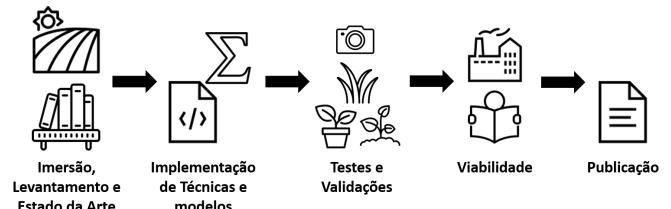


Fig. 5. Processo metodológico utilizado.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como apresentado anteriormente, para a obtenção do objetivo desta pesquisa se desenvolveu diferentes técnicas e métodos visando a identificação de qual atenderia da melhor forma a problemática da diferenciação entre mudas de *Gallesia integrifolia* e plantas daninhas no viveiro florestal da UFRPE.

Os resultados dos diferentes métodos desenvolvidos e aplicados são apresentados a seguir, em subseções. Para exemplificação considere a Figura 6 como referência para *input* nos métodos. Ela também ilustra o padrão de imagens existentes no *dataset*.



Fig. 6. Muda exemplo de *Gallesia integrifolia*.

A. Método de Otsu

O método de Otsu utiliza uma técnica de *thresholding* para segmentar uma região da imagem em detrimento do restante. O algoritmo implementado gerou como *output* a Figura 7 e a Figura 9.



Fig. 7. *Output* método de Otsu.



Fig. 9. *Output* método de Otsu.

O método de Otsu exibe o desempenho relativamente bom, se presumir que o histograma tem distribuição bimodal e assume um vale profundo e agudo entre dois picos. Mas se a área do objeto for pequena em comparação com a área de segundo plano, o histograma não exibirá mais bimodalidade. E se as variâncias do objeto e as intensidades de fundo forem grandes em comparação com a diferença média, ou se a imagem for severamente corrompida por ruído aditivo, o vale agudo do histograma de nível de cinza será degradado [16].

A Figura 8 ilustra o histograma da Figura 7, utilizada como exemplo. Percebe-se que o histograma é próximo de um bimodal, o que ainda possibilita a existência de um realce na utilização deste método. Porém, na prática se percebeu que para a maioria das imagens utilizadas no experimento não se tinha histogramas bimoniais, o que torna mais complicado a aplicação da técnica, como pode ser observado nas Figuras 9 e 10.

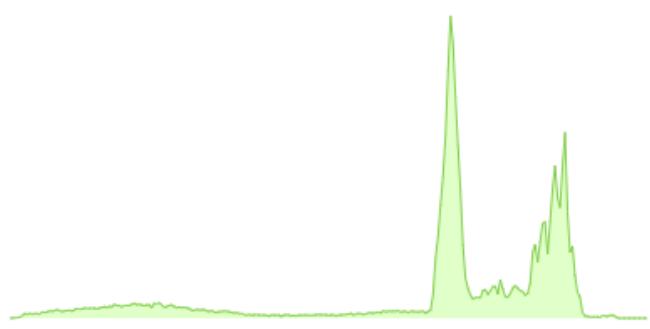


Fig. 8. Histograma da Figura 6.

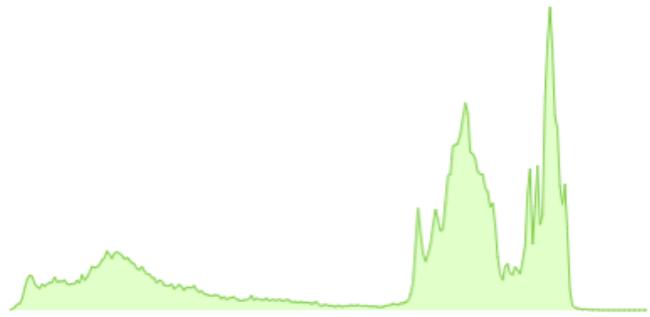


Fig. 10. Histograma da Figura 9.

B. Baseada em características dos pixels

A abordagem embasada em características dos *pixels* visa a captura de características de *pixels* da vizinhança para gerar a segmentação. Além disso, neste método utilizou-se outras técnicas. Primeiramente utilizou-se um filtro de média *blur* e

uma transformação HSV na imagem para destacar os tons de verde. A Figura 11 ilustra o resultado desses processos.

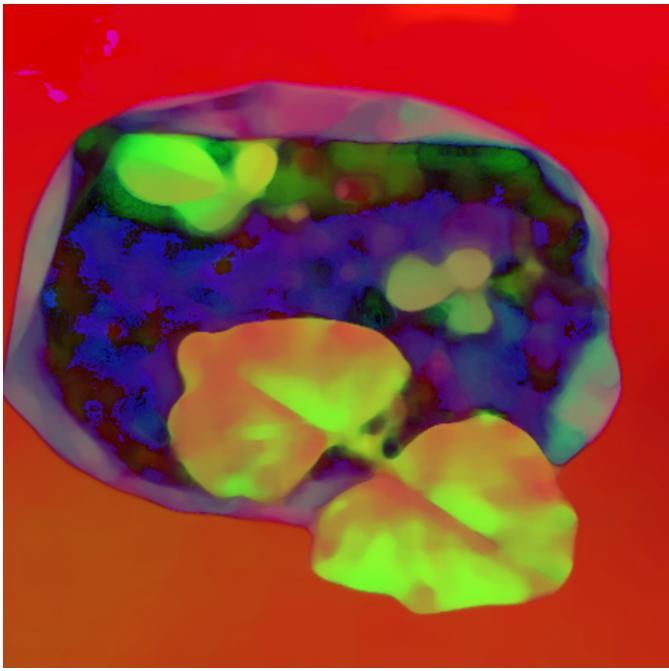


Fig. 11. *Output blur e HSV.*

Pode-se perceber que uma certa diferença nos tons de verde já é notável para a separação. Frente a isso aplicou-se um filtro de verde para a geração da máscara de segmentação e foram aplicadas técnicas de erosão e dilatação para remoção das plantas daninhas menores e melhor preenchimento das mudas. A Figura 12 ilustra o resultado desse processo.



Fig. 12. *Output abordagem baseada em características dos pixels.*

Por fim, teve-se a ideia de identificar a mudança de tonalidade de verdes para destacar regiões distintas na imagem.

Para isso utilizou-se o valor percentual de cada tom de verde encontrado e esse era marcado. Porém, os resultados não foram satisfatórios, caracterizando grandes margens de erro. A Figura ?? ilustra isso.



Fig. 13. *Output abordagem baseada em características dos pixels com porcentagem.*

C. Agrupamento k-means

Para a realização do experimento da segmentação com o agrupamento k-means utilizou-se uma transformação para LUV e posteriormente o algoritmo foi aplicado visando ao agrupamento de pixels com características semelhantes. Por fim, o resultado foi binarizado. As Figuras 14 e 15 ilustram os resultados desses processos.

Apesar de muito efetivo, o referido método não garante o resultado global ótimo, tendo sua eficácia condicionada à qualidade dos grupos iniciais escolhidos [17]. Para o experimento realizado o k-means não resultou em resultados satisfatórios.



Fig. 14. *Output Agrupamento k-means.*

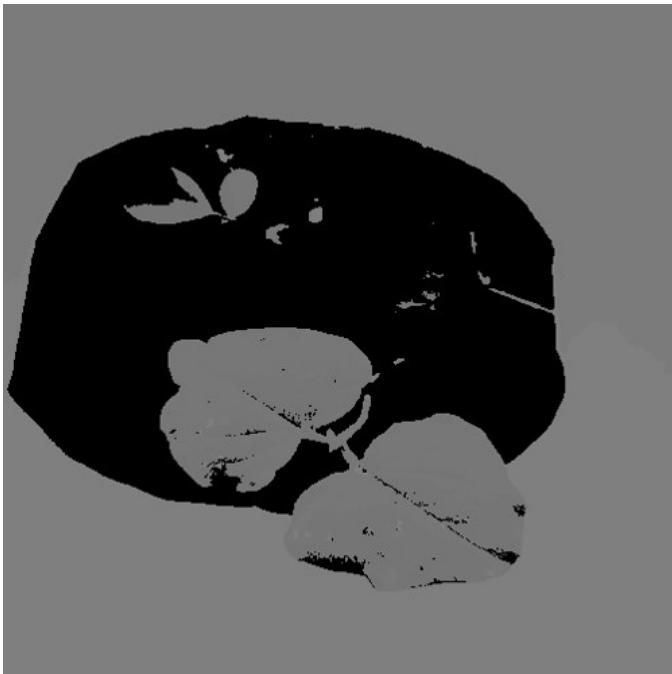


Fig. 15. *Output* Agrupamento k-means binarizado.

D. U-net

Como discutido anteriormente o *ground truth* foi gerado manualmente através do Photoshop, resultando em máscaras semelhantes a Figura 16.

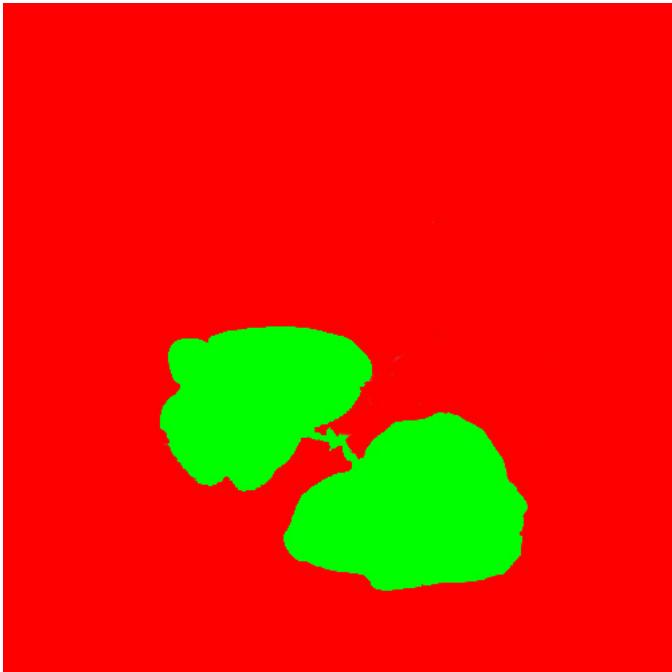


Fig. 16. Exemplo de *ground truth* do *dataset*.

O U-net foi a técnica aplicada que resultou nos melhores resultados dentre as demais. Essa observação foi feita pela equipe de desenvolvimento deste projeto e especialistas e pesquisadores do viveiro florestal da UFRPE. A seguir são

ilustradas imagens (Figura 17, 18, 19, 20 e 21) de casos de sucesso e os poucos erros retornados por essa abordagem. *Pixels* mais amarelos significam que a rede tem maior confiança em sua previsão para esse determinado *pixel*.

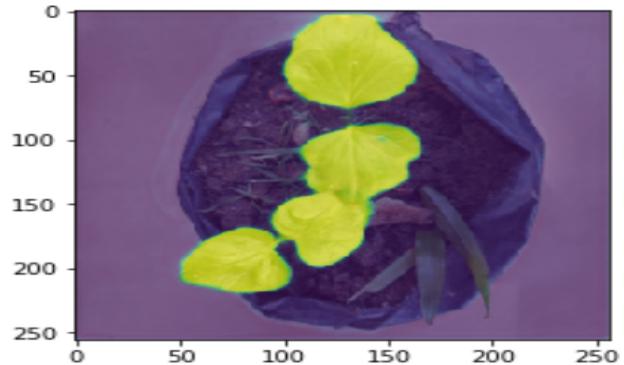


Fig. 17. *Output* U-net verdadeiro positivo.

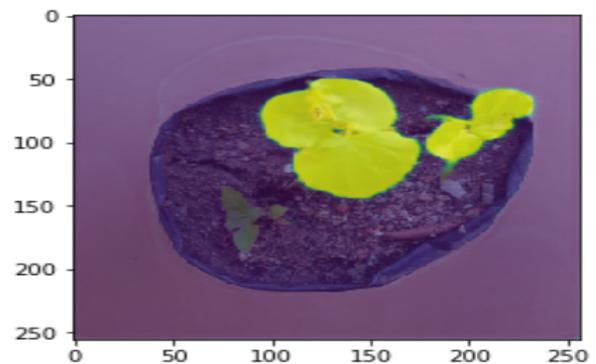


Fig. 18. *Output* U-net verdadeiro positivo.

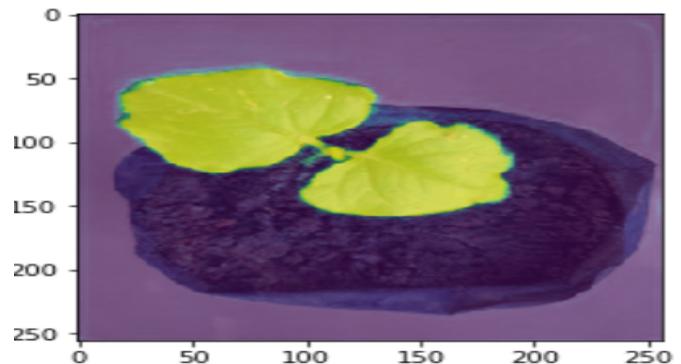


Fig. 19. *Output* U-net verdadeiro positivo.

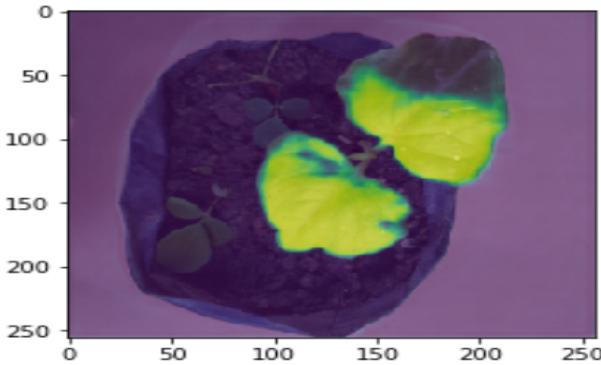


Fig. 20. *Output U-net falso negativo.*

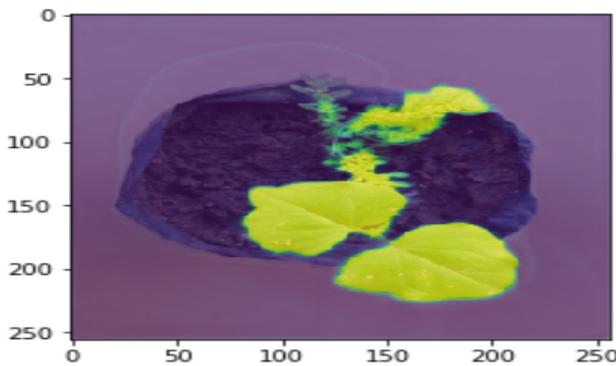


Fig. 21. *Output U-net falso positivo.*

Pode-se perceber que mesmo para cenários mais complexos com duas mudas de tamanhos diferentes e com posicionamentos diferentes o algoritmo consegue bons resultados. A Tabela II ilustra os resultados da validação do conjunto de testes utilizado no experimento com o u-net.

Tabela II
RESULTADOS U-NET

Total	Falso Positivo	Falso Negativo
15	1	2
Verdadeiro Positivo	Verdadeiro Negativo	Precisão
12	0	0,923
Revocação	% Verdadeiros Negativos	Acurácia
0,857	0	0,8

Na Tabela II pode-se perceber bons resultados de precisão, revocação e acurácia obtidos pelo modelo. No experimento não havia amostras que caracterizassem verdadeiro negativo. O resultado final encontrado do *F-measure* foi de: 0,888.

V. TRABALHOS FUTUROS

Com a realização desse trabalho surgem novos direcionamentos acerca deste tema de pesquisa. O desenvolvimento de uma aplicação embarcada para que, pelo celular, torne-se possível a identificação de plantas daninhas em uma área é uma possível aplicação a ser implementada baseada nas contribuições oferecidas nesta pesquisa. Essa ideia também incentiva ao desenvolvimento de um aplicativo educacional,

para ser utilizado na comunidade acadêmica em aulas práticas ou como recurso didático de turmas envolvidas com áreas de biologia, agronomia e engenharia florestal, por exemplo. Por fim, pretende-se refinar esta pesquisa para uma publicação científica na área. Pode-se, por exemplo, utilizar uma abordagem com o k-means para automatizar a geração dos *ground truth*.

VI. CONCLUSÕES

Com esse projeto foi possível obter conhecimento prático sobre algumas técnicas vistas durante as aulas da disciplina, assim como, conhecer outras técnicas que são mais usadas na resolução de problemas complexos. Avaliando os resultados obtidos foi visto que o U-Net consegue se sair melhor frente às outras técnicas. Notou-se que os algoritmos de segmentação por cor, Otsu e K-means são muito sensíveis às condições da imagem, como iluminação e o tom de verde, enquanto o U-net foi mais adaptativo e conseguiu se adequar melhor a problemática. Em contrapartida, a complexidade e o esforço em treinar e executar o U-net é bem maior que todos os outros.

Como contribuição dessa pesquisa disponibiliza todos os artefatos e códigos gerados e utilizados. Os algoritmos estão disponibilizados no GitHub em: https://github.com/geraldo7junior/pi_2019. Como contribuição também está disponível os datasets com *ground truth* criados em: encurtador.com.br/iqLM1 e encurtador.com.br/ijqvG.

Por fim, espera-se que este projeto possa contribuir em pesquisas futuras para a identificação de plantas daninhas em mudas cultivadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Arunachalam, Karuppusamy, et al. "Gallesia integrifolia (Spreng.) Harms: In vitro and in vivo antibacterial activities and mode of action." *Journal of ethnopharmacology* 184, 2016, 128-137.
- [2] Heap, I. 2017. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.com> (Acessado em: 23.05.2019).
- [3] Vibhute, Anup, and S. K. Bodhe. "Applications of image processing in agriculture: a survey." *International Journal of Computer Applications* 52.2, 2012.
- [4] Perez, A. J., et al. "Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields." *Computers and electronics in agriculture* 25.3, 2000: 197-212.
- [5] Dai, Qiong, et al. "Advances in feature selection methods for hyperspectral image processing in food industry applications: A review." *Critical reviews in food science and nutrition* 55.10, 2015: 1368-1382.
- [6] Partel, Victor, Sri Charan Kakarla, and Yiannis Ampatzidis. "Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence." *Computers and Electronics in Agriculture* 157, 2019: 339-350.
- [7] Milioti, Andres, Philipp Lottes, and Cyrill Stachniss. "Real-time semantic segmentation of crop and weed for precision agriculture robots leveraging background knowledge in cnns." *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, 2018.
- [8] Dyrmann, Mads, et al. "Using a fully convolutional neural network for detecting locations of weeds in images from cereal fields." *International Conference on Precision Agriculture*. International Society of Precision Agriculture, 2018.
- [9] Bakhsipour, Adel, et al. "Weed segmentation using texture features extracted from wavelet sub-images." *Biosystems engineering* 157, 2017: 1-12.
- [10] Pal, Nikhil R., and Sankar K. Pal. "A review on image segmentation techniques." *Pattern recognition* 26.9, 1993: 1277-1294.
- [11] Gonzalez, Rafael C., and Richard E. Woods. "Digital image processing [M]." Publishing house of electronics industry 141.7, 2002.

- [12] Vala, Hetal J., and Astha Baxi. "A review on Otsu image segmentation algorithm."International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)2.2, 387-389, 2013.
- [13] Palus, H. E. N. R. Y. K. "Color image segmentation: selected techniques."Color image processing: methods and applications, 103-128, 2006.
- [14] Chitade, Anil Z., and S. K. Katiyar. "Colour based image segmentation using k-means clustering."International Journal of Engineering Science and Technology 2.10, 2010.
- [15] Ma, Xu, et al. "Fully convolutional network for rice seedling and weed image segmentation at the seedling stage in paddy fields."PloS one 14.4, 2019.
- [16] Kittler, Josef, and John Illingworth. "On threshold selection using clustering criteria."IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 5, 1985, 652-655.
- [17] Câmara, G., and A. M. V. Monteiro. "Divisão de Processamento de Imagens–Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–São José dos Campos."Brasil– Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>Acesso em 27/05/2019.