

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CÂMPUS SÃO JOÃO DA BOA VISTA

JOÃO PEDRO LEOCARDIO JACOMINI NASCIMENTO

SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS APLICADAS À
DETECÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA

SÃO JOÃO DA BOA VISTA

2022

JOÃO PEDRO LEOCARDIO JACOMINI NASCIMENTO

Segmentação de imagens aplicadas à detecção de
incêndios florestais: uma revisão sistemática

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de São
Paulo, como parte dos requisitos para
a obtenção do grau de Tecnólogo em
Sistemas para Internet.

Área de Concentração: Visão
Computacional

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Marcelino
Alves

SÃO JOÃO DA BOA VISTA

2022

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Comunitária
“Wolgran Junqueira Ferreira” do Instituto Federal de São Paulo
Câmpus São João da Boa Vista

Nascimento, João Pedro Leocardio Jacomini
N244s Segmentação de imagens aplicadas à detecção de incêndios
florestais: uma revisão sistemática / João Pedro Leocardio Jacomini
Nascimento; orientador Gabriel Marcelino Alves. -- São João
da Boa Vista, 2022.
89 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Sistemas para
Internet) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
São Paulo, São João da Boa Vista, 2022.

1. Incêndios florestais – Segmentação de imagens. 2. Incêndios
florestais – Prevenção e combate. 3. Incêndios florestais – Visão
computacional. I. Alves, Gabriel Marcelino, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Dedico meus esforços para com este projeto aos professores da instituição que estiveram me acompanhando durante o curso, especialmente ao Prof. Dr. Gabriel Marcelino Alves, meu orientador, que me forneceu apoio e encorajamento constantes. Também gostaria de agradecer ao meu amigo Wesley Paulo Terrão, aluno do curso de Bacharelado em Ciência da Computação, por compartilhar comigo alguns momentos de trabalho e discussões sobre o tema do projeto.

RESUMO

Na área ambiental, as técnicas de visão computacional têm sido úteis e de bastante interesse para a detecção de incêndios: elas auxiliam no monitoramento automático de áreas florestais. Entre tais técnicas encontra-se a segmentação de imagens que consiste em subdividir uma imagem em elementos que podem ser mais facilmente identificados. Portanto, o objetivo deste trabalho foi o de mapear técnicas de segmentação de imagens aplicadas em sistemas de detecção de incêndios florestais por meio de uma revisão sistemática da literatura. Um protocolo de pesquisa foi elaborado e a revisão sistemática foi conduzida por meio da ferramenta Parsifal. Foram identificados 223 trabalhos dos quais 56 foram selecionados. O estudo mostrou que 56,74% dos artigos selecionados empregaram espaços de cores para obter informações adicionais dos pixels visando aprimorar o resultado da segmentação das imagens.

Palavras-chave: segmentação de imagem, detecção de fogo, revisão sistemática, visão computacional.

ABSTRACT

In the environmental area, computer vision techniques have been useful and of great interest for the detection of fires: they help in the automatic monitoring of forest areas. Among such techniques is image segmentation, which consists of subdividing an image into elements that can be more easily identified. Therefore, the objective of this work was to map image segmentation techniques applied in forest fire detection systems through a systematic literature review. A research protocol was elaborated, and the systematic review was conducted using the Parsifal tool. A total of 223 papers were identified, of which 56 were selected. The study showed that 56.74% of the selected articles used color spaces to obtain additional pixel information in order to improve the result of image segmentation.

Keywords: image segmentation, fire detection, systematic review, computer vision.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Incêndio Florestal na Serra da região de São João da Boa Vista no ano de 2020.	19
Figura 2 – Principais etapas de um sistema de visão artificial.	30
Figura 3 – Exemplo de segmentação. O contorno no animal indica o elemento de interesse identificado na imagem.	32
Figura 4 – Criar Revisão Sistemática no Parsifal	33
Figura 5 – Etapa <i>Review</i> do Parsifal	34
Figura 6 – Etapa <i>Planning/Protocol</i> do Parsifal.	34
Figura 7 – Etapa <i>Planning/Quality Assessment Checklist</i> do Parsifal	36
Figura 8 – Etapa <i>Planning/Data Extraction Form</i> do Parsifal	37
Figura 9 – Etapa <i>Conducting</i> do Parsifal	38
Figura 10 – Etapa <i>Conducting/Search</i> do Parsifal	38
Figura 11 – Etapa <i>Conducting/Import Studies</i> do Parsifal	39
Figura 12 – Etapa <i>Conducting/Study Selection</i> do Parsifal	40
Figura 13 – Etapa <i>Conducting/Study Selection</i> do Parsifal	41
Figura 14 – Etapa <i>Conducting/Quality Assessment</i> do Parsifal	41
Figura 15 – Etapa <i>Conducting/Quality Assessment/Detailed</i> do Parsifal	42
Figura 16 – Etapa <i>Conducting/Data Extraction</i> do Parsifal	43
Figura 17 – Etapa <i>Conducting/Data Analysis</i> do Parsifal	44
Figura 18 – Etapa <i>Reporting</i> do Parsifal	45
Figura 19 – Organização das técnicas de detecção de incêndios e fumaça.	46
Figura 20 – <i>ACM Digital Library: Pesquisa Avançada</i>	58
Figura 21 – <i>ACM Digital Library: Formulário</i>	59
Figura 22 – <i>ACM Digital Library: Filtro por Data de Publicação</i>	59
Figura 23 – <i>ACM Digital Library: Resultados</i>	60
Figura 24 – <i>ACM Digital Library: Resultados — Período das Publicações</i>	60
Figura 25 – <i>IEEE Xplore: Pesquisa Avançada</i>	61
Figura 26 – <i>IEEE Xplore: Formulário</i>	61
Figura 27 – <i>IEEE Xplore: Filtro por Data de Publicação</i>	62
Figura 28 – <i>IEEE Xplore: Resultados</i>	62
Figura 29 – <i>IEEE Xplore: Resultados — Período das Publicações</i>	63
Figura 30 – Quantidade de Resultados por Fonte	63
Figura 31 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Ano de Publicação.	65
Figura 32 – Quantidade de Artigos por Fontes de Busca	71
Figura 33 – Artigos encontrados e selecionados por base de pesquisa.	72

Figura 34 – Artigos Finais por Ano	72
Figura 35 – Proporção entre as 10 Técnicas mais Citadas	73
Figura 36 – Proporção das Técnicas mais Citadas	74
Figura 37 – Proporção de cada Técnica mais Citada	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – <i>String</i> de busca.	50
Quadro 2 – <i>Informa as técnicas utilizadas?</i> (Análise Quantitativa)	53
Quadro 3 – <i>Explica como as técnicas funcionam?</i> (Análise Quantitativa)	53
Quadro 4 – <i>Explica quais as condições onde a técnica é aplicada?</i> (Análise Quantitativa)	53
Quadro 5 – <i>Deixa claro as vantagens da técnica?</i> (Análise Qualitativa)	54
Quadro 6 – <i>Menciona as desvantagens da técnica?</i> (Análise Qualitativa)	54
Quadro 7 – Formulário de Extração de Dados	55
Quadro 8 – <i>String</i> de busca.	57
Quadro 9 – Artigos com maior pontuação segundo a Avaliação de Qualidade.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Fonte Acadêmica	64
Tabela 2 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Critério de Inclusão	64
Tabela 3 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Critério de Exclusão	64
Tabela 4 – Quantidade de Trabalhos por Classificação.	65
Tabela 5 – Índice de Qualidade (IQ) dos Artigos Selecionados	66
Tabela 6 – Análise da Extração dos Dados	70
Tabela 7 – Resultados obtidos nos três cenários de busca.	73
Tabela 8 – Técnicas de segmentação identificadas nos trabalhos selecionados. . . .	75
Tabela 9 – Relação dos melhores artigos com as técnicas mais utilizadas	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	20
1.2	Objetivos	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos	21
1.3	Organização Deste Trabalho	21
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	Revisão Sistemática da Literatura	23
2.1.1	PICOC	24
2.1.2	Protocolo de Busca	25
2.1.3	Critérios para Avaliação da Qualidade	27
2.1.4	Formulário de Extração de Dados	27
2.2	Visão Computacional	28
2.2.1	Segmentação de Imagens	31
2.3	Parsifal	32
2.4	Trabalhos Correlatos	45
3	METODOLOGIA	47
3.1	Planejamento	47
3.1.1	Protocolo	47
3.1.1.1	Objetivo	47
3.1.1.2	PICOC	48
3.1.1.3	Questões de Pesquisa	48
3.1.1.4	Palavras-chave e Sinônimos	49
3.1.1.5	String de Busca	49
3.1.1.6	Fontes	50
3.1.1.7	Critérios de Seleção	50
3.1.2	Lista de Verificação de Avaliação de Qualidade	51
3.1.3	Formulário de Extração de Dados	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Condução	57
4.1.1	Pesquisa	57
4.1.2	Seleção dos Estudos	63
4.2	Avaliação de Qualidade	66

4.3	Extração de Dados	70
4.4	Análise dos Dados	71
4.4.1	Técnicas Predominantes	72
4.4.2	Artigos por Técnica	74
4.4.3	Artigos por Avaliação de Qualidade	75
4.4.3.1	Escopo dos Trabalhos com melhor Índice de Qualidade	77
4.4.3.1.1	<i>Image processing based forest fire detection using YCbCr color mode</i>	77
4.4.3.1.2	<i>Smoke Detection Method Based on LBP and SVM from Surveillance Camera</i>	78
4.4.3.1.3	<i>Fire Detection System Using Color and Flickering Behaviour of Fire with Kekre's LUV Color Space</i>	78
4.4.3.1.4	<i>ATT-Squeeze U-Net: A Lightweight Network for Forest Fire Detection and Recognition</i> .	79
4.4.3.1.5	<i>Detection and Segmentation of Power Line Fires in Videos</i>	80
5	CONCLUSÕES	81
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

As queimadas e incêndios florestais se tornam recorrentes à cada ano, à medida que o clima se torna cada vez mais seco e mais quente, ocasionando em consequências prejudiciais não apenas para a flora ou fauna, mas sim para o mundo. Por isso, a tecnologia que hoje consegue segmentar imagens e retirar delas informações em tempo real, por meio da visão computacional, pode ser uma grande aliada no combate e prevenção de incêndios.

Os incêndios em Nova Gales do Sul (Austrália), no Ártico Siberiano, na costa oeste dos Estados Unidos e no Pantanal brasileiro foram declarados como os maiores casos de todos os tempos, segundo dados revelados pela Nasa, a agência espacial dos Estados Unidos, e pelo Sistema Copernicus, da União Europeia, baseado na compilação dos últimos 18 anos de informações sobre incêndios florestais globais. (BBC, 2020)

Recentemente, devido ao inverno seco no mês de setembro de 2021, grandes focos de incêndios assolaram a vegetação da região sudeste do estado de São Paulo, particularmente nas cidades de Vargem Grande do Sul e Águas da Prata. Em São João da Boa Vista, o fogo chegou a destruir uma área de quase 2 km² da Serra da Paulista, como pode ser visto na Figura 1. (GAZETA, 2020)

Figura 1 – Incêndio Florestal na Serra da região de São João da Boa Vista no ano de 2020.



Fonte: (GAZETA, 2020)

Dentre as consequências provocadas por estes desastres naturais, está a liberação significativa de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, o que torna a Terra

mais quente e, consequentemente, as florestas mais secas, aumentando a probabilidade de incêndios florestais. Tais gases também poluem o ar, gerando sérios prejuízos à saúde pública, uma vez que podem viajar por longas distâncias e se tornarem mais tóxicos ao interagir com a luz solar e outros elementos. (BBC, 2020)

Analizando o quadro de mudanças climáticas que afetam o planeta nos últimos tempos, tornando-o mais quente e seco, constata-se que se não houver a vigilância, os incêndios tendem a ficar mais recorrentes e descontrolados. Por isso, a fim de mitigar esse desastre e adquirir mais controle, o uso da tecnologia moderna é imprescindível.

Dentre as técnicas que podem ser utilizadas para a detecção e prevenção de incêndios florestais está a visão computacional, que pode ser entendida como uma área cujo intuito é prover as máquinas de habilidade visual semelhante à dos humanos (Szeliski, 2010). As técnicas de visão computacional têm encontrado aplicações na área ambiental para a detecção de incêndios, pois auxiliam na automatização do monitoramento, exigindo pouca intervenção de especialistas, possibilitando identificar focos de incêndio de maneira precoce (Wilson et al., 2018). Entre tais técnicas encontra-se a segmentação de imagens que consiste em subdividir uma imagem em elementos que podem ser mais facilmente identificados e representa uma etapa importante em um sistema de visão artificial (Gonzalez; Woods, 2010).

1.1 Justificativa

Os sistemas de detecção precoce de incêndios têm, cada vez mais, recorrido à visão computacional para identificar regiões de fumaça e fogo. Isto porque tais sistemas utilizam novos recursos, como câmeras e *drones* (veículos aéreos não tripulados). Uma etapa fundamental em um sistema que utiliza visão computacional é a identificação dos elementos de interesse na imagem realizada pelo processo conhecido como segmentação de imagens. Neste sentido, é importante observar que os métodos de segmentação de imagens utilizados na detecção de incêndios florestais podem combinar diferentes técnicas, cada qual suas próprias características. Portanto, tomar conhecimento de quais técnicas são utilizadas nos projetos atuais possibilita ampliar o leque de soluções visando o desenvolvimento de novos trabalhos, bem como permitir a inovação sobre o tema utilizando técnicas ou combinações ainda não experimentadas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Mapear técnicas de segmentação de imagens aplicadas em sistemas de detecção de incêndios florestais por meio de uma revisão sistemática da literatura.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar protocolo de revisão sistemática;
- Realizar busca de trabalhos utilizando o protocolo;
- Avaliar as técnicas utilizadas nos trabalhos selecionados.

1.3 Organização Deste Trabalho

Este trabalho está organizado em 5 capítulos. Iniciando por este, a Introdução, que apresenta a problemática ao leitor, e introduz sobre o contexto das queimadas e incêndios florestais que ocorrem anualmente e como a tecnologia de visão computacional pode auxiliar no controle deste problema, apresentando o objetivo deste trabalho. O segundo capítulo contempla a “Revisão da Literatura”, que fornece um recorte dos principais conhecimentos presentes no projeto, incluindo o conceito de Visão Computacional, Segmentação de Imagens, Revisão Sistemática da Literatura, uma introdução à ferramenta Parsifal e a apresentação dos Trabalhos Correlatos ao projeto. Seguindo para o terceiro capítulo, chamado “Metodologia”, que descreve como procedeu o desenvolvimento de artefatos essenciais para a realização da revisão. O quarto capítulo, “Resultados e Discussões”, apresenta os resultados da análise feitas nos trabalhos acadêmicos recuperados a partir da pesquisa, no intuito de apresentar um quadro geral e atual das principais técnicas utilizadas na aplicação da visão computacional a partir da segmentação de imagem na detecção de incêndios florestais. Enfim, o quinto capítulo apresenta as conclusões finais deste projeto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são abordados os principais conceitos e ferramentas que foram foco neste projeto. Cada sessão deste capítulo possui sua importância para a completude do trabalho. A seguir, estão listadas uma descrição breve de cada sessão, para justificar a sua utilização:

- **Revisão Sistemática da Literatura:** É o modelo de estudo escolhido para este projeto.
- **Protocolo de Busca:** São os critérios utilizados durante e após a pesquisa, conduzindo a revisão para alcançar os objetivos do projeto.
- **PICOC:** É modelo utilizado para definir as expressões e sinônimos que compuseram a *string* de busca.
- **Visão Computacional:** É a área de conhecimento na qual o projeto está inserido, baseado no mapeamento bibliográfico de soluções para a detecção de incêndios florestais em imagens digitais.
- **Segmentação de Imagens:** É a técnica definida para o mapeamento de soluções para a detecção de incêndios florestais.
- **Parsifal:** É a ferramenta gratuita utilizada como apoio para a construção do protocolo de busca e condução da pesquisa.
- **Trabalhos Correlatos:** São os trabalhos coletados para justificar e comparar o modelo de estudo escolhido.

2.1 Revisão Sistemática da Literatura

A revisão sistemática da literatura é um tipo de pesquisa documental que procura encontrar, examinar e interpretar todos os dados de trabalhos originais relevantes para uma questão de pesquisa específica. Ela consiste na elaboração de um protocolo que viabiliza uma investigação sistematizada e reproduzível da literatura científica a fim de identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências relevantes disponíveis (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

A realização de uma revisão sistemática da literatura exige muito tempo e esforço, incluindo o desenvolvimento de protocolos, a alteração dos critérios de pesquisa e a triagem dos resultados — abrangendo potencialmente mais de mil artigos — selecionando os artigos

que atendem aos critérios de inclusão e excluindo os itens que não atendem. Em seguida, os pesquisadores podem começar a analisar cada resultado relevante individualmente (FREITAS; SEGATTO, 2021).

2.1.1 PICOC

O procedimento de busca bibliográfica e seleção de estudos em revisões de literatura convencionais, agora conhecidas como revisões narrativas, já foi criticado por não ser uniforme e explícito. As conclusões tiradas dessas revisões são tipicamente inconclusivas, preconceituosas e não cobrem toda a literatura sobre o assunto sob investigação (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

Para maximizar o escopo da pesquisa e facilitar a busca de evidências, o tema da pesquisa deve ser bem definido e deve ser criada uma estrutura lógica para a busca bibliográfica de evidências na literatura (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

A partir destas necessidades, foi elaborada a estratégia PICOC, que atua na decomposição do tema da revisão sistemática e organização das expressões derivadas (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007). PICOC representa um acrônimo para População, Intervenção, Comparaçao, Resultado e Contexto. A abordagem PICOC foi usada pela primeira vez na medicina e, posteriormente, se espalhou para outros campos de estudo (RAPOSO et al., 2020). Na lista seguinte estão descritos cada termo que compõe a sigla (FREITAS; SEGATTO, 2021):

- **População:** Quem? É o grupo alvo da revisão.
- **Intervenção:** O quê ou Como? É o que deseja ser feito sobre o grupo.
- **Comparação:** Comparado com o quê? É um conjunto preliminar de informações ou outras pesquisas utilizadas na comparação com a revisão.
- **Resultado:** O que você está tentando realizar/melhorar? É aquilo que se espera extrair ao final da revisão.
- **Contexto:** Em que tipo de organização/circunstâncias? Responsável por limitar o contexto no qual a revisão será realizada.

Em um protocolo de busca, um dos artefatos mais importantes é a string de busca, criada a partir de termos e sinônimos oriundos do modelo PICOC. A estruturação das perguntas de pesquisa, essencial para a realização de uma revisão sistemática, também é possibilitada pela técnica PICOC.

É típico ter dúvidas sobre os resultados de estudos anteriores em um campo ao realizar pesquisas. É prático delinear as necessidades mínimas necessárias para iniciar a

investigação, utilizando da estratégia PICOC e evitando especificações excessivamente precisas. É aconselhável estudar resenhas ou narrativas sobre temas relacionados em fontes secundárias para auxiliar na construção de perguntas de pesquisa e *strings* de busca (GALVÃO; PEREIRA, 2014).

Uma pergunta de pesquisa apropriada permite a definição adequada das *strings* de pesquisa do protocolo, derivadas dos dados considerados necessários para responder à pergunta de pesquisa. Isso maximiza a recuperação de dados dos bancos de dados, concentra o escopo da pesquisa e evita a realização de buscas desnecessárias (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

2.1.2 Protocolo de Busca

Para a realização da revisão sistemática da literatura é necessário a elaboração do protocolo de pesquisa, que consiste em um conjunto de regras parametrizadas pelos pesquisadores para condução e documentação dos resultados obtidos nas bases científicas (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

O processo de construção de um protocolo de pesquisa pode ser fragmentado em diferentes artefatos, produzidos em uma sequência de etapas, devido à interdependência entre eles. Os principais artefatos que constituem um protocolo são descritos na próxima lista (FREITAS; SEGATTO, 2021):

1. **Definição do Objetivo:** Determina se a revisão é necessária. Pesquisadores que desejam aprender sobre o estado da arte em um campo ou profissionais que desejam incorporar dados empíricos em suas decisões estratégicas ou atividades de melhoria são os primeiros a reconhecer a necessidade de revisões sistemáticas. Se houver estudos de literatura aproximadamente sistemáticos nessa área, eles devem ser avaliados em termos de escopo e qualidade para verificar se atendem aos requisitos desta revisão. Uma maneira de conduzir uma revisão da literatura é revisar sistematicamente os estudos disponíveis.
2. **Utilização do Modelo PICOC:** Uma estratégia padronizada que representa um acrônimo de conceitos utilizados como modelo na construção e organização das perguntas de pesquisa e dos termos que irão participar da *string* de busca da pesquisa. Sua participação no protocolo implica em resultados mais amplos e maior eficiência na consideração dos materiais acadêmicos, otimizando o processo de pesquisa e a qualidade da revisão.
3. **Construção das Perguntas de Pesquisa:** O foco para selecionar os estudos primários, obter dados dos estudos e conduzir a análise é determinado pelo campo da revisão sistemática e pelas questões específicas de pesquisa. Como resultado, as

questões do estudo devem ser cuidadosamente consideradas e redigidas. O PICOC é um fator a ser considerado ao formular as questões do estudo.

4. **Definição das Palavras-chave e Sinônimos:** Basicamente, as expressões utilizadas para definir a população, intervenção, comparação e resultados são consideradas as palavras-chave. Cada palavra-chave precisa ser conectada a uma etapa do PICOC. Após determinar todas as palavras-chave relevantes, deve-se vinculá-las a cada um de seus sinônimos correspondentes para ampliar o escopo de sua pesquisa. Esta coleção de palavras servirá para compor e enriquecer a *string* de busca.
5. **Construção da String de Busca:** É a elaboração do código de busca que será utilizado nas bases acadêmicas para realizar a pesquisa. O código é composto por uma coleção de palavras derivados da utilização do PICOC sobre o tema da revisão, e quando elas são combinadas, permitem determinar quais artigos são mais pertinentes ao assunto em consideração na revisão sistemática. Por padrão, ao se projetar uma *string* de pesquisa é necessário separar as palavras-chave e sinônimos, respectivos a um conceito presente no PICOC, com o operador booleano “*OR*”, e repetir para as expressões dos demais conceitos. Cada conjunto combinado de expressões derivados dos conceitos população, intervenção, comparação, resultados e contexto é então combinado utilizando o operador booleano *AND*.
6. **Definição das Fontes de Pesquisa:** Durante a inclusão, a fim de evitar limitar a diversidade de estudos que podem ser incluídos, é necessário evitar o uso de apenas uma fonte de informação para revisões. Agora, para evitar encontrar um grande número de trabalhos que não são relevantes para a revisão, não se deve pesquisar em todos os mecanismos de busca da área (RAPOSO et al., 2020). Neste sentido, o ideal é ponderar sobre a quantidade para fontes de pesquisa da revisão em relação à diversidade de trabalhos que tais fontes podem oferecer.
7. **Construção dos Critérios de Seleção:** Torna-se necessário a elaboração dos critérios de inclusão e dos critérios de exclusão, uma vez que os trabalhos resultantes da pesquisa precisam ser avaliados em suas capacidade de contribuir para com os objetivos da revisão, ou seja, eles especificam quais trabalhos são e quais não são pertinentes ao tema em estudo (RAPOSO et al., 2020).

Os artefatos gerados ao final, quando em conjunto, formam o protocolo de busca, configurado a partir das intenções do pesquisador. Este protocolo servirá como guia durante a realização da pesquisa e da avaliação dos resultados, mitigando as chances do tangenciamento dos objetivos da revisão.

2.1.3 Critérios para Avaliação da Qualidade

Diferente dos critérios binários, onde um trabalho pode ser aprovado ou rejeitado, os critérios de avaliação adotam uma escala de pontuações que cada trabalho irá receber. A pontuação de um trabalho é definida através do grau de satisfação quanto ao conteúdo considerado pertinente aos objetivos da revisão. Este processo permite visualizar o nível de maturidade dos trabalhos e confirmar a aferição das metodologias de revisão empregadas (RAPOSO et al., 2020).

Uma lista de critérios para avaliação da qualidade é composta de três partes: uma coleção de perguntas, uma coleção de respostas predefinidas e uma pontuação de corte (FREITAS; SEGATTO, 2021). Os pontos são valores atribuídos para cada respostas, sendo que o maior ponto é esperado na resposta de maior satisfação, enquanto o menor ponto é esperado na resposta de menor satisfação. As respostas precisam englobar as opções possíveis para satisfazer as perguntas definidas; e as perguntas são elaboradas a partir do que se espera obter dos resultados da pesquisa.

No momento de criar as possíveis respostas, elas precisam fazer sentido com todas as perguntas. Neste caso, faz-se necessário a atribuição de significados individuais à cada resposta, á depender de qual pergunta.

Uma nota de corte também pode ser determinada, caso em que todos os estudos avaliados com nota abaixo dela serão excluídos da revisão sistemática.

Após concluídos, os critérios são utilizados para determinar a pontuação de cada trabalho incluído na revisão. A pontuação total que tenhamos uma visão abstrada do conteúdo e pode ser utilizado como parâmetro para justificar a inclusão e exclusão de trabalhos da revisão.

2.1.4 Formulário de Extração de Dados

Durante a leitura e análise dos resultados da pesquisa, os formulários de extração de dados são utilizados na captura de informações consideradas importantes para atender aos interesses da revisão (FREITAS; SEGATTO, 2021).

Um formulário de extração é composto por inúmeros campos, cada qual possui um rótulo e o tipo do valor que será aceito como entrada de dados no respectivo campo.

Os resultados dos formulários preenchidos podem ser recortes da pesquisa analisada ou observações do próprio pesquisador, mas que servirão como uma fonte rápida e resumida das características do trabalho consideradas pertinentes ao tema da revisão.

A completude dos formulários também permite avaliar a eficiência do protocolo de busca quanto à ausência de informações importantes em trabalhos que, até então, poderiam estar sendo aceitos.

2.2 Visão Computacional

Do ponto de vista matemático, uma *imagem* pode ser entendida como uma função bidimensional $f(x, y)$, onde o valor ou amplitude de f dá a intensidade (brilho) da imagem no ponto de coordenada (x, y) . Como a luz é uma forma de energia, $f(x, y)$ deve ser positiva e finita, portanto temos:

$$0 < f(x, y) < \infty$$

É preciso considerar que a natureza básica de $f(x, y)$ consiste na **iluminância**, ou seja, a quantidade de luz incidindo na cena observada representada por $i(x, y)$; e, **reflectância** que se refere a quantidade de luz refletida pelos objetos na cena representada, por $r(x, y)$. O produto de i e r resulta em f , portanto temos:

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y)$$

onde $0 < i(x, y) < \infty$ e $0 < r(x, y) < 1$. A iluminância é determinada pela fonte de luz enquanto a reflectância é determinada pelas características dos objetos na cena, sendo 0 a absorção total e 1 a reflectância total.

Do ponto de vista computacional, uma imagem precisa ser digitalizada tanto espacialmente quanto em amplitude. Dá-se o nome de **amostragem da imagem**, o processo de digitalização das coordenadas espaciais (x, y) e de **quantização** dos valores da amplitude. Considerando que uma imagem monocromática seja digitalizada e armazenada em uma matriz A , de tamanho $N \times M$, então temos:

$$A = f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, M - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, M - 1) \\ \vdots & & & \\ f(N - 1, 0) & f(1, N - 1) & \dots & f(N - 1, M - 1) \end{bmatrix}$$

Um elemento dessa matriz é denominado **pixel** (*picture element*) portanto, pode-se considerar essa “matriz de pixels” como a representação de uma imagem contínua armazenada no computador, também denominada *imagem digital*.

Vale observar que o número de linhas N da matriz A também pode ser chamado de **resolução vertical** da imagem, enquanto o número de colunas M é chamado de **resolução horizontal**. No que lhe concerne, a **resolução espacial** é obtida pelo produto $N \times M$. É importante destacar que a resolução espacial, em si, não fornece muita informação sobre a resolução real da imagem quando reconstruída. Por conta disso, em geral, utiliza-se o

número de pixels por polegadas, *ppi* (*pixels per inch*), também chamada de *dpi* (*dots per inch*).

Atualmente, não há consenso sobre a delimitação das áreas que lidam com imagens digitais, a saber: (i) Processamento Digital de Imagens; (ii) Visão Computacional. O intuito, portanto, é apresentar as principais abordagens acerca dessas discussões a fim de familiarizar o leitor. No entanto, não se tem o propósito de esgotar o tema.

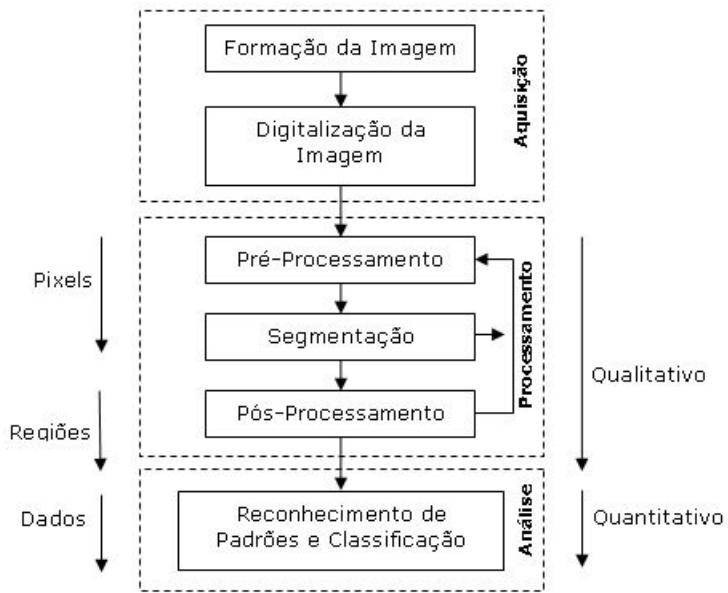
Pode-se considerar que a área do **Processamento Digital de Imagens** consiste em transformar imagens digitais em imagens digitais. Um exemplo disso seria o processo de transformar uma imagem digital colorida em uma imagem digital em tons de cinza. A área de **Visão Computacional** consiste em interpretar uma imagem digital. Com o avanço da Inteligência Artificial, particularmente do Aprendizado de Máquina (*machine learning*) e também do Aprendizado Profundo (*deep learning*), a área denominada visão computacional procura “entender” os dados visuais presentes em uma imagem digital a fim de simular a visão humana.

No entanto, há autores que defendem que não existem limites claros entre processamento digital de imagens e visão computacional (GONZALEZ; WOODS, 2010). Os autores propõem a organização do processamento digital de imagens em três tipos de processos computacionais, a saber:

- **processo de nível baixo:** neste nível, tanto a entrada quanto a saída do processo é uma imagem. O realce de imagens, as transformações geométricas e as transformações de intensidade são exemplos de operações que se enquadram neste nível.
- **processo de nível intermediário:** o objetivo, neste nível, é extrair informações das imagens que serão úteis para o próximo nível. Portanto, a entrada deste processo é uma imagem digital e a saída é um conjunto de atributos que auxilia a descrição dos elementos. A separação do objeto de interesse na imagem, processo conhecido como segmentação e a detecção de bordas são exemplos de operações deste nível.
- **processo de alto nível:** busca-se, neste nível, compreender os elementos reconhecidos na imagem a fim de realizar funções normalmente associadas à visão. Este nível de processo também é chamado de Análise de Imagens ou Visão Computacional.

Neste sentido, pode-se entender que um sistema de visão artificial, comumente chamado de sistema de visão computacional, tem por intuito prover as máquinas de habilidade visual semelhante à dos humanos. A Figura 2 apresenta as principais etapas de tal sistema. A estrutura é flexível e tem o intuito de organizar os procedimentos. Portanto, dependendo da aplicação, uma etapa pode ser ignorada ou eventualmente seja necessária uma retro-alimentação.

Figura 2 – Principais etapas de um sistema de visão artificial.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estrutura é organizada nas etapas de: aquisição (formação e digitalização da imagem), processamento de imagem (pré-processamento, segmentação e pós-processamento) e Análise digital de imagens (reconhecimento de padrões e classificação). As setas ao lado da estrutura, na Figura 2, indicam como os procedimentos operam sobre a imagem. Tem-se a primeiro momento a qualificação da amostra, trabalhando basicamente com os *pixels* e regiões da imagem e posteriormente os trabalhos quantitativos, que se dá sobre os dados da amostra.

A aquisição é responsável pela formação e digitalização de imagens. Um instrumento formador de imagem gera a imagem de uma amostra previamente preparada que consiste em um sinal analógico. Em seguida é necessário realizar a digitalização deste sinal para que o computador interprete a imagem. O processo de digitalização consiste na discretização espacial da imagem, conhecido como amostragem e na discretização em amplitude, conhecido como quantização.

O processamento de imagens visa preparar a imagem para a análise digital. Nesse sentido tem-se que o pré-processamento visa corrigir problemas advindos da aquisição preparando a imagem para a segmentação. Para isto, empregai-se técnicas de realce e/ou restauração. Com propósito de diferenciar ambas, tem-se que a restauração é um processo que tenta recuperar uma imagem degradada, usando-se algum conhecimento *a priori* do fenômeno de degradação, enquanto as técnicas de realce são procedimentos heurísticos que tiram vantagem dos aspectos psicofísicos do sistema visual humano (GONZALEZ; WOODS, 2010). A etapa de segmentação subdivide uma imagem em suas partes ou objetos constituintes, o objetivo é isolar os objetos de interesse na aplicação.

Já o pós-processamento é responsável por preparar a imagem para a análise. Assim, o objetivo é escolher um esquema de representação e, então, descrever os dados tornando-os adequados para o computador. A representação pode ser externa (fronteiras de uma região) ou interna (os pixels que compõem a região).

A análise de imagens é um processo de descobrimento, de identificação e de entendimento de padrões que sejam relevantes à performance de uma tarefa baseada em imagens (Szeliski, 2010). Basicamente, neste grupo, têm-se os métodos de reconhecimento por decisão teórica, métodos estruturais e métodos para a interpretação de imagem. Além disso, há os sistemas computacionais que tomam como inspiração o funcionamento do cérebro humano, denominados redes neurais artificiais, que tem sido largamente empregado em atividades de análise de imagens (ERTEL, 2018).

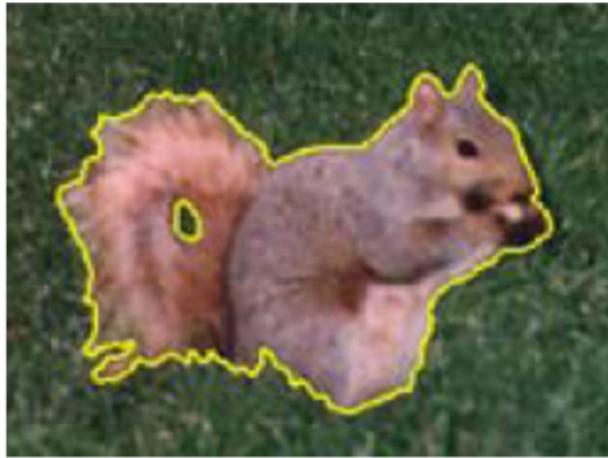
As técnicas de visão computacional e processamento de imagens têm encontrado aplicações em diversas áreas como medicina, agricultura, indústria, segurança. Pode-se mencionar aplicações como: reconhecimento de caracteres (OCR — *Optical Character Recognition*), inspeção visual de produtos, monitoramento de pessoas, controle de tráfego, detecção de doenças em plantas, carros autônomos.

Na área ambiental, as técnicas de visão computacional têm sido útil e de bastante interesse para a detecção de queimadas: elas permitem cobrir extensas áreas de vegetação e por períodos prolongados de monitoramento automático, exigindo pouca intervenção de especialistas, e possibilitam identificar focos de incêndio de maneira precoce. A tecnologia pode ser implementada por UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), dispositivos que podem se manter vigilantes e realizam a detecção de focos de incêndios em tempo real, com eficiência e de forma automática.

2.2.1 Segmentação de Imagens

A segmentação consiste em subdividir uma imagem em elementos que podem ser mais facilmente identificados. Uma prática comum é separar o objeto de interesse na imagem. Um exemplo disso, seria separar a região de queimada (objeto) da floresta (fundo). Observa-se que o nível até o qual essa subdivisão deve ser realizada depende do problema a ser resolvido. A segmentação deve parar quando os objetos de interesse na aplicação tiverem sido isolados (GONZALEZ; WOODS, 2010). A Figura 3 ilustra o processo de segmentação aplicado em uma imagem.

Figura 3 – Exemplo de segmentação. O contorno no animal indica o elemento de interesse identificado na imagem.



Adaptado de (Szeliski, 2010).

Por sua característica, a segmentação de imagens é considerada um elemento fundamental no processo de visão computacional. Esse passo determina o eventual sucesso ou fracasso na análise, pois a segmentação efetiva quase sempre garante o sucesso do reconhecimento dos objetos de interesse. Com isso, um cuidado considerável deve ser tomado para se melhorar as chances de uma boa segmentação. Dependendo da aplicação, uma operação, considerada simples, como a limiarização (*thresholding*) pode ser utilizada para segmentar uma imagem em tons de cinza e, desta forma, separar os objetos presentes, do fundo da imagem. Outra possibilidade para a segmentação é a que usa a determinação das bordas dos objetos presentes na cena, e como tais regiões são caracterizadas por uma variação brusca na imagem, a utilização de detectores de descontinuidades são ferramentas frequentemente utilizadas.

Em outras situações nas quais as imagens são consideradas complexas têm se buscado utilizar modelos de segmentação semântica. Isto, porque tais imagens contém muitas informações a ponto de inviabilizar a aplicação de técnicas tradicionais de segmentação como a limiarização. A segmentação semântica é utilizada nestes casos: ela consiste em classificar cada pixel da imagem considerando as informações contextuais da imagem em análise. Diversos modelos de segmentação semântica podem ser adotados, a exemplo dos modelos que utilizam redes neurais. No entanto, é possível também adotar outros modelos como os baseados na teoria de grafos (SOUZA et al., 2016).

2.3 Parsifal

Atualmente, existem ferramentas que auxiliam a elaboração e condução de revisões sistemáticas da literatura, uma delas é o Parsifal¹, adotado neste trabalho.

¹ <<https://parsif.al/>>

Inicialmente, o Parsifal foi projetado como uma ferramenta para revisões na área da engenharia de software, mas sua flexibilidade permite que outras áreas o utilizem como apoio — este trabalho é um exemplo. Pesquisadores geograficamente dispersos podem colaborar na elaboração de protocolos e na condução de pesquisas em um espaço de trabalho comum (FREITAS; SEGATTO, 2021).

O aplicativo não apenas fornece uma maneira de documentar todo o processo, mas também serve como um lembrete dos principais elementos de uma revisão sistemática da literatura. Parsifal ajuda no desenvolvimento de objetivos, na utilização do modelo PICOC, na definição das questões de pesquisa, termos de pesquisa, palavras-chave e sinônimos, seleção de fontes e critérios de inclusão e exclusão durante o planejamento do protocolo de pesquisa. Ele também fornece ferramentas para desenvolver formulários de extração de dados e listas de verificação de avaliação de qualidade.

A ferramenta permite importar arquivos no formato bibtex², selecionar estudos, buscar duplicatas em todas as fontes, realizar avaliações de qualidade e extrair dados de documentos durante a fase de implementação do estudo.

Para a utilização da ferramenta, é necessário realizar um cadastro. Após realizar o acesso, é possível iniciar a elaboração de uma nova revisão sistemática, como indicado na Figura 4:

Figura 4 – Criar Revisão Sistemática no Parsifal

The screenshot shows the Parsifal web application interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Blog', 'About', and 'Help'. Below the navigation bar, a header says 'Last updates on your network' with a 'New review' button. A red arrow points to this 'New review' button. The main content area has two sections: 'Lastest news' and 'Your reviews'. The 'Lastest news' section contains a message about a new interface release for inviting co-authors. The 'Your reviews' section lists a single review titled 'Revisão da Literatura para trabalhos sobre Visão Computacional aplicada na detecção de Incêndios Florestais'.

Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

O novo projeto inicia na aba de “*Review*”, onde é definida uma apresentação breve da nova revisão. As revisões criadas são vinculadas ao usuário proprietário e a outros usuários à quem são permitidos o acesso. A Figura 5 exibe como a apresentação é construída. Em seguida, estão sendo descritos os campos do respectivo formulário:

² <<http://www.bibtex.org/>>

1. **Title:** Área para definição do título da nova Revisão Sistemática.
2. **Description:** Área para descrever os temas e objetivos da Revisão Sistemática.

Figura 5 – Etapa *Review* do Parsifal

The screenshot shows the 'Review' tab of the Parsifal software. On the left, there are two input fields: 'Title' (numbered 1) and 'Description' (numbered 2). To the right is a sidebar titled 'Authors' with three entries, each consisting of a blue profile picture and a red square. At the bottom of the sidebar is a blue 'Add author' button. At the very bottom of the screen is a green 'Save' button.

Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

Posteriormente, é iniciada a etapa “*Planning*”, que fornece os modelos de construção das ferramentas que serão utilizadas para conduzir a pesquisa e para extrair informações do seu resultado. Esta etapa está subdividida em três artefatos: o Protocolo (*Protocol*), a Lista de Avaliação de Qualidade (*Quality Assessment Checklist*) e o Formulário de Extração de Dados (*Data Extraction Form*).

- **Protocol:** Começando pela elaboração do Protocolo de Busca, a Figura 6 a seguir exibe a lista de processos á serem executados até a produção do artefato:

Figura 6 – Etapa *Planning/Protocol* do Parsifal.

The screenshot shows the 'Planning' tab of the Parsifal software. On the left, there is a vertical list of protocol components: 'Protocol' (numbered 1), 'Objectives' (numbered 2), 'PICOC' (numbered 3), 'Research Questions' (numbered 4), 'Keywords and Synonyms' (numbered 5), 'Search String' (numbered 6), 'Sources' (numbered 7), and 'Selection Criteria'. To the right is a sidebar with two sections: 'Objectives' and 'PICOC'. At the bottom of the sidebar is a green 'Save' button.

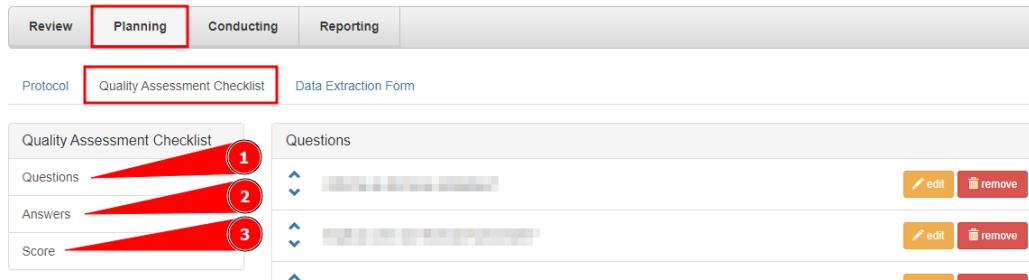
Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

Em seguida, estão descritos os elementos a serem preenchidos pelo usuário para a construção do protocolo, referenciados na Figura anterior:

1. **Objectives:** Espaço para definir o objetivo da pesquisa, o que espera-se encontrar como resultado da busca.

2. **PICOC:** Um conjunto de campos rotulados conforme os conceitos que constituem o modelo PICOC, utilizados para agrupar expressões, relativas ao tema do projeto, que irão participar da *string* de busca da pesquisa.
 3. **Reaserch Questions:** Lista personalizada para as questões de pesquisa que servirão para direcionar os resultados da pesquisa para os objetivos do projeto.
 4. **Keywords and Synonyms:** Lista personalizada, que permite importar as expressões adicionadas aos conceitos do PICOC e adicionar novas palavras-chave e/ou sinônimas das existentes. Estes termos irão constituir a *string* de busca.
 5. **Search String:** Área de Texto reservada para construir a *string* de busca do protocolo. É possível carregar uma *string* sugerida pelo Parsifal e, então, modificar seu resultado. A *string* gerada é constituída pelas palavras-chave e sinônimos adicionados anteriormente; pares de parênteses que agrupam estas palavras conforme o respectivo conceito do PICOC nas quais estão segmentadas; e a combinação dos operadores booleanos “OR” e “AND”, onde o primeiro é utilizado para intercalar palavras nos parênteses e o segundo é utilizado para combinar os pares de parênteses.
 6. **Sources:** Lista personalizável destinada a descrever quais serão as fontes acadêmicas onde será aplicado o protocolo de busca e realizada a pesquisa, bem como as bibliotecas digitais das quais o Parsifal já fornece algumas sugestões.
 7. **Selection Criteria:** Um par de listas personalizáveis que dividem os critérios de inclusão e os critérios de exclusão, utilizados para auxiliar no momento de avaliar e decidir quais trabalhos irão ser considerados na revisão e quais não serão, dentre aqueles recuperados após a aplicação do protocolo nas bases de pesquisa descritas anteriormente.
- *Quality Assessment Checklist:* O próximo artefato a ser criado, após o Protocolo, é a Lista de Avaliação de Qualidade. Ela se refere ao nível de satisfação, fornecido pelos futuros trabalhos selecionados, em relação aos objetivos da revisão sistemática. Na Figura 7 a seguir, estão enumeradas os processos necessários para a criação da lista de avaliação, através do Parsifal:

Figura 7 – Etapa *Planning/Quality Assessment Checklist* do Parsifal



Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

A avaliação é construída a partir de um arranjo de perguntas e de possíveis respostas, cada qual com seu respectivo peso que, somados à cada pergunta respondida, determinam a pontuação final de um trabalho. Os elementos a serem preenchidos na criação da lista são descritos a seguir:

1. ***Questions***: Uma lista personalizável, que permite adicionar, modificar, organizar e deletar as perguntas que irão determinar o questionário na avaliação dos trabalhos.
 2. ***Answers***: Uma lista personalizável, que permite adicionar, modificar, organizar e deletar as possíveis respostas que poderão ser utilizadas para cada uma das perguntas criadas anteriormente. Cada resposta deverá ter seu respectivo peso, ou seja, um número de pontos de satisfação sobre conteúdo do respectivo trabalho relevante para satisfazer a respectiva pergunta.
 3. ***Quality Assessment Scores***: Nestes campos é exibida a pontuação máxima que um trabalho pode adquirir, calculada a partir da resposta de maior valor multiplicada pela quantidade total de perguntas; e um espaço editável para definir (opcional) uma pontuação de corte, ou seja, um valor mínimo para determinar se o trabalho será considerado na revisão ou não.
- ***Data Extraction Form***: Uma lista personalizável para inclusão, edição, organização e exclusão dos campos que farão parte do formulário de extração de dados aplicado para cada trabalho selecionado, exemplificado na Figura 8 a seguir:

Figura 8 – Etapa *Planning/Data Extraction Form* do Parsifal

Description	Type	Values
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED] edit remove
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED] edit remove
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED] edit remove
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED] edit remove

Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

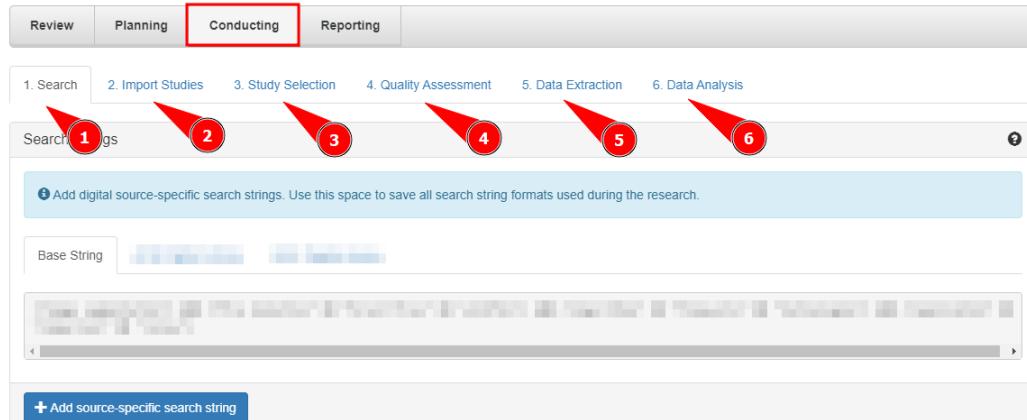
Em seguida, estão listados os elementos que compõe os campos que irão participar do formulário:

- **Description:** Espaço para descrever o campo que está sendo adicionado. Este será o rótulo do campo no formulário.
- **Type:** Seleção do tipo de campo, que define qual(ais) valores serão aceitos no mesmo. Os tipos permitidos pelo Parsifal, atualmente, são:
 - * **Boolean Field:** Campo do tipo Verdadeiro ou Falso;
 - * **String Field:** Campo do tipo Texto;
 - * **Float Field:** Campo do tipo Número com ponto flutuante, isto é, com casas decimais);
 - * **Integer Field:** Campo do tipo Número inteiro, ou seja, sem casas decimais;
 - * **Date Field:** Campo do tipo Data;
 - * **Select One Field:** Campo do tipo Caixa de Seleção única, onde é possível definir uma lista de valores e selecionar apenas um deles como resposta;
 - * **Select Many Field:** Campo do tipo Caixa de Seleção múltipla, onde é possível definir um conjunto de valores e selecionar quantos quiser.
- **Values:** Espaço de texto destinado para adicionar os possíveis valores que campos do tipo *Select One Field* e *Select Many Field* podem assumir.

Após a etapa de *Planning*, onde foram construídos o de Protocolo, a Lista de Avaliação de Qualidade e o Formulário de Extração de Dados, é o momento de utilizar estes artefatos, na etapa chamada “*Conducting*”, onde o Parsifal determina uma ordem de processos para a realização da pesquisa e abstração de informações do seu resultado, focado nos objetivos da revisão.

Esta etapa está subdividida em seis processos: a Pesquisa (*Search*), a Importação dos Estudos (*Import Studies*), a Seleção dos Estudos (*Study Selection*), a Avaliação de Qualidade (*Quality Assessment*), a Extração dos Dados (*Data Extraction*) e, por fim, a Análise dos Dados (*Data Analysis*), como exibido na Figura 9 seguinte:

Figura 9 – Etapa *Conducting* do Parsifal

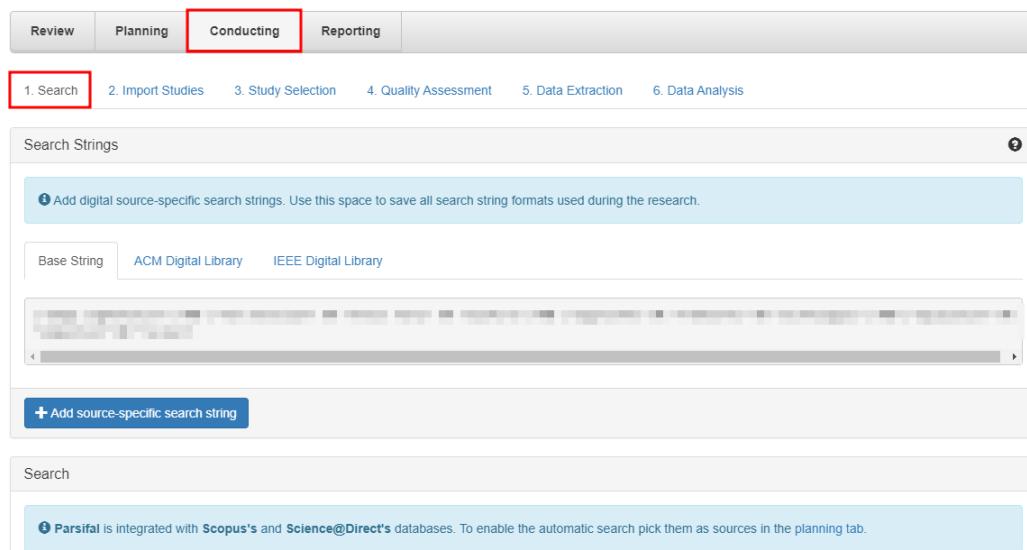


Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

Em seguida, estão descritos os objetivos de cada processo, em ordem de execução:

1. **Search:** Durante o processo de Busca, o Parsifal permite revisar a *string* de busca definida base definida no protocolo, bem como criar cadeias de caracteres de pesquisa específicas das respectivas fontes digitais pré-determinadas. A Figura 10 exemplifica a interface do processo “*Search*”:

Figura 10 – Etapa *Conducting/Search* do Parsifal



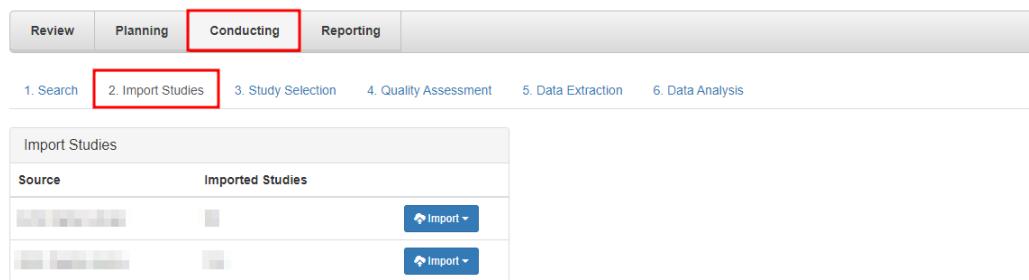
Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

Ele disponibiliza um espaço para salvar todos os formatos de *string* de busca usadas durante a pesquisa. No mesmo processo, também é possível executar tais *strings*

como códigos de consulta nas bases de dados vinculadas ao Parsifal, para retornarem resultados de pesquisa, caso as bases estejam inclusas na lista de fontes de pesquisa definidas no protocolo.

2. ***Import Studies:*** Durante o processo de Importação de Estudos, considerando que a busca já tenha sido feita utilizando das strings de busca nas bases de dados pré-determinadas, o Parsifal irá listar as respectivas bases, permitindo que sejam importados os respectivos trabalhos recuperados na busca. A Figura 11 exemplifica a interface do processo “*Import Studies*”:

Figura 11 – Etapa *Conducting/Import Studies* do Parsifal



Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

A importação pode ser feita adicionando um arquivo no formato BibTeX (.bib, .bibtex) ou colocando o conteúdo BibTex na área designada. Este procedimento deve ser feito para cada base utilizada na busca.

3. ***Study Selection:*** Durante a Seleção dos Estudos, considerando que todos os trabalhos recuperados das buscas já tenham sido importados para o Parsifal, ele irá descreminalizar cada trabalho em uma tabela, onde informações, como Título, Autor, Revista e Ano, são exibidas na forma de colunas. A Figura 12 exemplifica a interface do processo “*Study Selection*”:

Figura 12 – Etapa *Conducting/Study Selection* do Parsifal

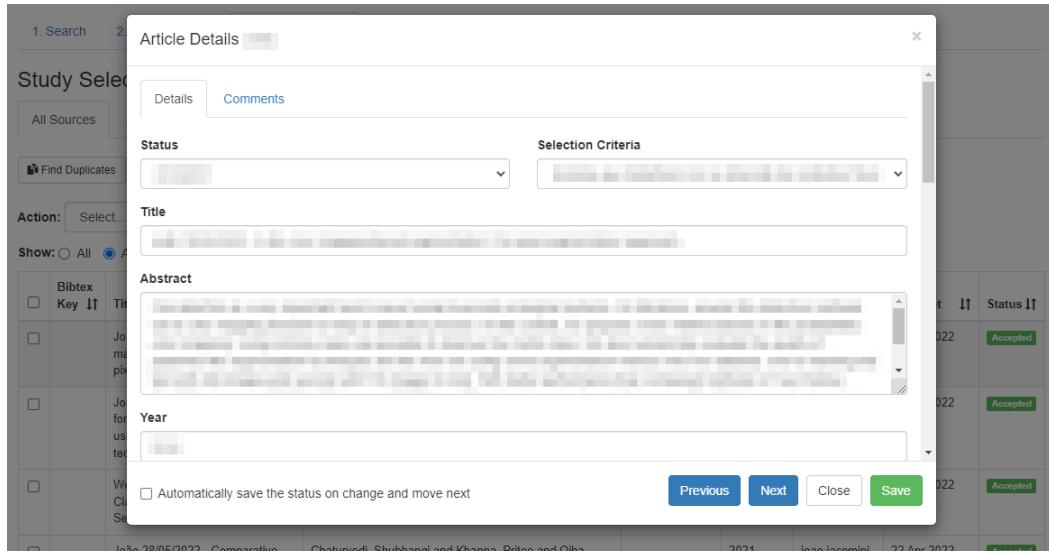
The screenshot shows the Parsifal software interface. At the top, there is a navigation bar with tabs: Review, Planning, **Conducting**, and Reporting. Below the navigation bar, a horizontal bar contains numbered steps: 1. Search, 2. Import Studies, 3. **Study Selection** (which is highlighted with a red box), 4. Quality Assessment, 5. Data Extraction, and 6. Data Analysis. The main area is titled "Study Selection" and shows a table of imported studies. The table has the following columns: Bibtex Key, Title, Author, Journal, Year, Added by, Added at, and Status. There are four rows of study data in the table. At the bottom of the "Study Selection" section, there are buttons for "Find Duplicates" and "Export Articles", and a dropdown menu for "Action".

Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

O Parsifal cria uma tabela com todos os trabalhos importados, as demais tabelas são derivadas da segregação dos trabalhos entre as bases de pesquisa à qual pertencem. As tabelas também podem ser filtradas conforme o status de cada trabalho. Inicialmente, todos os trabalhos são classificados como “*Unclassified*” (Sem Classificação). Posteriormente os trabalhos poderão ser classificados como “*Accepted*” (Aceito), *Rejected* (Recusado) e *Duplicated* (Duplicado), conforme os critérios definidos no protocolo.

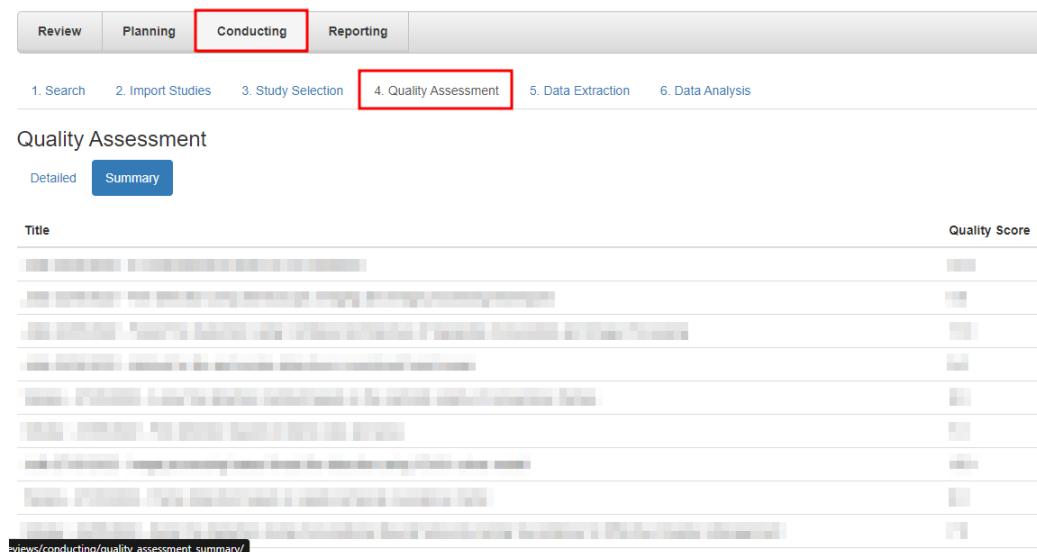
O status *Duplicated* (Duplicado) indica que o respectivo trabalho possui réplicas derivadas de alguma das demais bases de conhecimento que foram utilizadas na busca. Na tabela onde se encontram todos os trabalhos (“*All*”), é possível utilizar da função “*Find Duplicates*”, que automaticamente irá localizar os trabalhos replicados entre todos aqueles sendo importados, e modificará seus status para *Duplicated* (Duplicado).

Assim como a coluna de “Status”, as demais colunas das tabelas são ordenáveis. Quanto às linhas, cada uma representa um trabalho importado, e maiores detalhes sobre os trabalhos podem ser acessados ao clicar em uma linha, que será aberto um formulário com as demais informações. Este formulário também é o meio pelo qual definimos o status do respectivo trabalho, após análise utilizando do protocolo. O status escolhido também precisa ser justificado, escolhendo um dos critérios de inclusão (caso o trabalho seja aceito) ou um dos critérios de exclusão (caso o trabalho seja rejeitado), ambos definidos durante a construção do protocolo de busca. A Figura 13 exibe o formulário aberto após o clica em qualquer linha da tabela.

Figura 13 – Etapa *Conducting/Study Selection* do Parsifal

Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

4. ***Quality Assessment***: Durante a Avaliação de Qualidade, considerando que todos os trabalhos importados tenham sido avaliados e assumido seus status finais, para cada trabalho que tiver assumido status de “Accepted”, é criado um questionário de avaliação. Este questionário é gerado a partir das perguntas e respostas que foram definidas anteriormente, na “*Quality Assessment Checklist*”, durante a etapa “*Planning*”. Um exemplo do questionário pode ser visto na seguinte Figura 14.

Figura 14 – Etapa *Conducting/Quality Assessment* do Parsifal

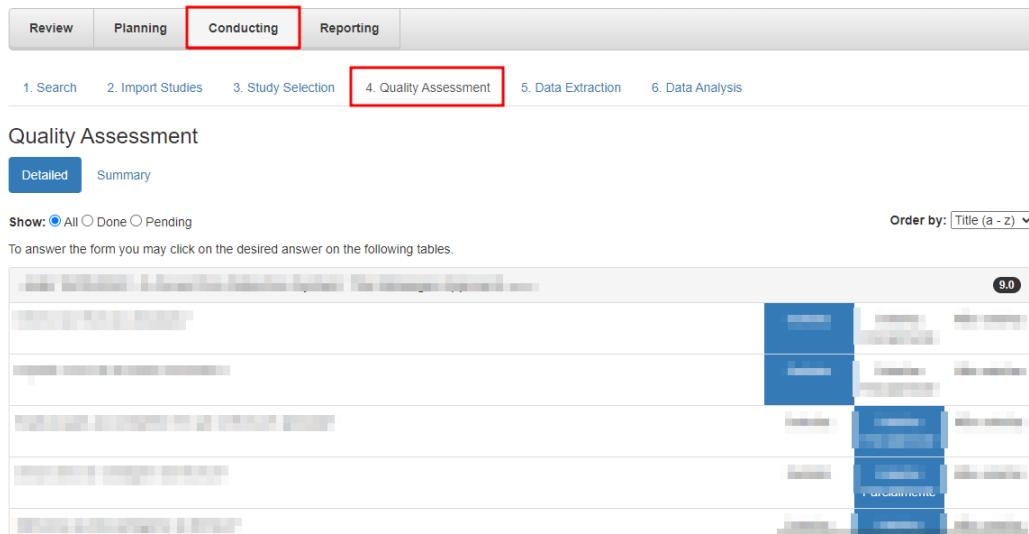
Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

Os questionários gerados são separados entre três abas: “All” (Todos os Questionários), “Done” (Questionários Preenchidos) e “Pending” (Questionários Pendentes). A mudança de status de um questionário entre concluído e pendente depende se todas as perguntas tiveram uma resposta selecionada.

A partir da configuração do “*Quality Assessment Checklist*”, cada pergunta deve ser respondida com alguma das respostas, sendo que cada resposta representa uma pontuação definida. Ao finalizar o questionário, é determinado a pontuação total do respectivo trabalho.

O Parsifal também permite que os trabalhos e suas respectivas pontuações sejam visualizadas sem a presença do questionário, fornecendo uma visão geral das avaliações, acessando a aba “*Summary*”, como exemplificado na Figura 15.

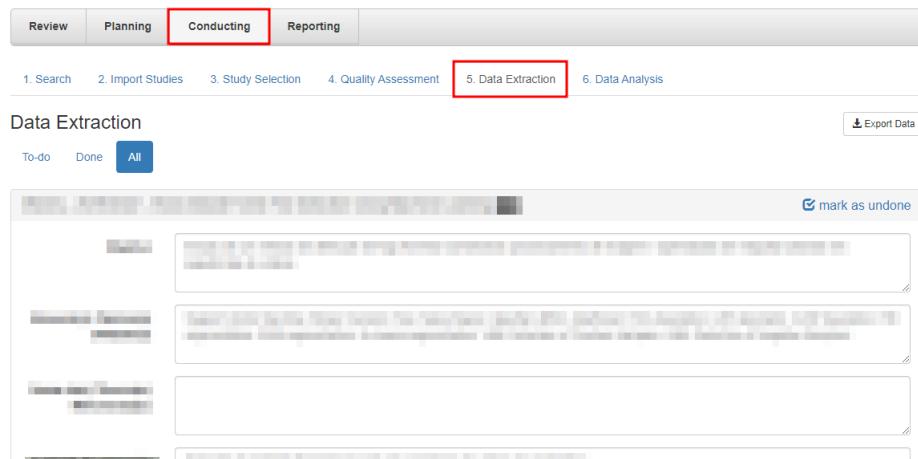
Figura 15 – Etapa *Conducting/ Quality Assessment/ Detailed* do Parsifal



Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

5. **Data Extraction:** Durante a Extração de Dados, considerando que todos os trabalhos já tenham recebido suas pontuações totais e a pontuação de corte já tenha nivelado o conjunto, são criados os formulários para extração de dados dos respectivos trabalhos restantes. Estes formulários são compostos por campos configurados anteriormente, na “*Data Extraction Form*”, durante a etapa “*Planning*”. Um exemplo do formulário é exibido na Figura 16

Figura 16 – Etapa *Conducting/Data Extraction* do Parsifal



Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

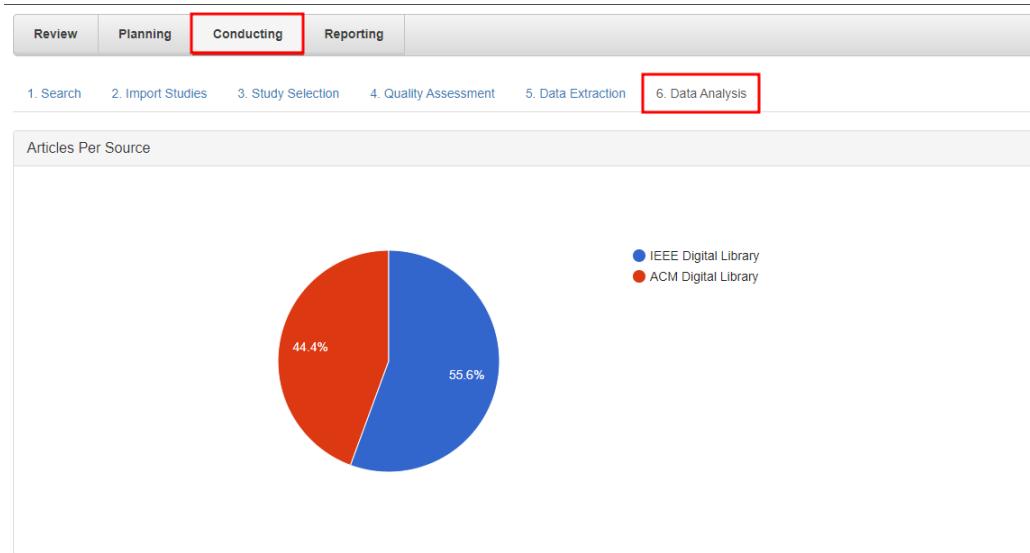
O objetivo dos formulários é facilitar o recorte de informações consideradas importantes para os objetivos da revisão, fornecendo um espaço de armazenamento dessas informações, exclusivo por trabalho.

Os formulários gerados são separados entre três abas: “*To-Do*” (Formulários Pendentes), “*Done*” (Formulários Finalizados) e “*All*” (Todos os Formulários). A mudança de status de um formulário entre pendente e finalizado depende da sinalização do autor, indicando que o respectivo formulário já foi concluído, mesmo que os campos não tenham sido todos preenchidos.

A partir da configuração do “*Data Extraction Form*”, os campos do formulário são gerados em sequência, na mesma ordem em que foram configurados, utilizando da descrição que lhes foi dada como rótulo e do tipo de campo para exibir a entrada de dados correta. Ao final, com os formulários preenchidos, o Parsifal permite que seus conteúdos sejam exportados em forma de planilha (*.xls*).

6. ***Data Analysis:*** Durante a Análise dos Dados, o Parsifal automaticamente gera três gráficos, que fornecem breves dados relativos ao processo condução da pesquisa. A Figura 17 demonstra um exemplo destes gráficos:

Figura 17 – Etapa *Conducting/Data Analysis* do Parsifal



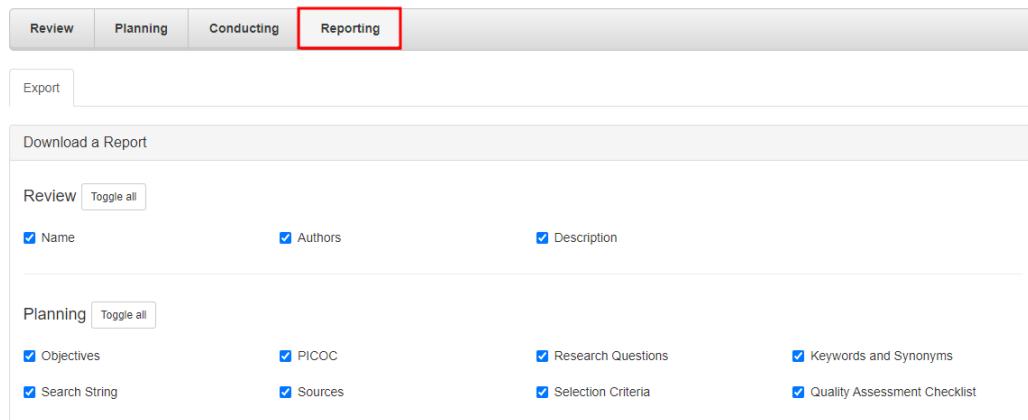
Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

A Análise dos Dados gerada pelo Parsifal se resume aos seguintes artefatos:

- ***Articles per Source***: Em forma de Gráfico de Pizza, apresenta a proporção na contribuição de cada base acadêmica, utilizada durante a pesquisa, sobre o total de trabalhos recuperados (antes das validações);
- ***Accepted Articles Per Source***: Em forma de Gráfico de Barras, apresenta a proporção de trabalhos selecionados pelo autor em comparação ao total de trabalhos recuperados, respectivo à cada base acadêmica;
- ***Final Articles per Year***: Em forma de Gráfico de Linha, apresenta uma distribuição da quantidade de artigos, após a seleção e a avaliação de qualidade, através dos anos em que foram publicados.

Enfim, na última etapa do processo de documentação e condução de revisões sistemáticas utilizando o Parsifal, tem-se a etapa denominada *Reporting*. Esta aba possui apenas uma função: exportar os artefatos construídos no decorrer da apresentação da revisão, do planejamento do protocolo e da condução da pesquisa.

Figura 18 – Etapa *Reporting* do Parsifal



Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

É exportado um arquivo de texto (*.doc*), onde os artefatos selecionados pelo autor serão transcritos pelo Parsifal.

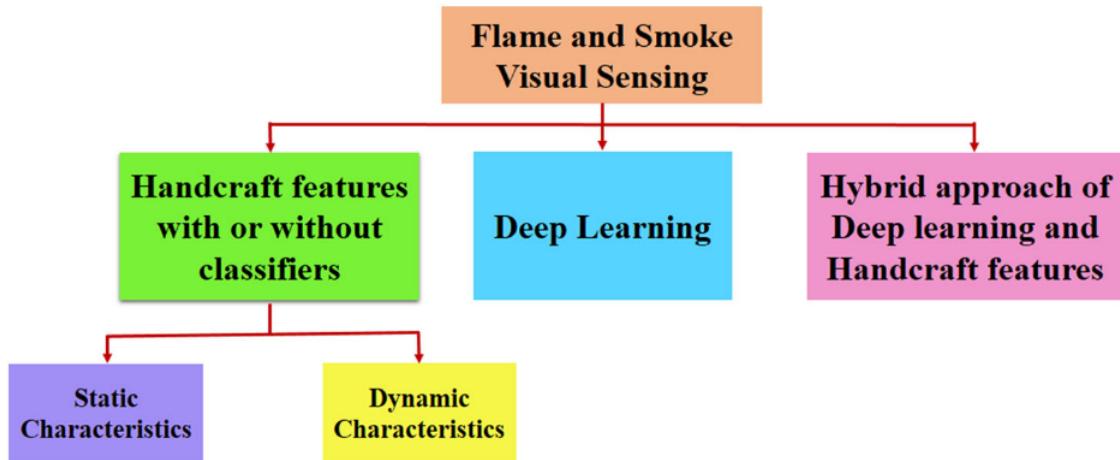
É importante lembrar que o Parsifal é uma ferramenta de apoio na criação de revisões sistemáticas da literatura, e, por isso, tais projetos precisam se expandir além do que a ferramenta oferece, para ter êxito em seus objetivos. Os artefatos gerados a partir dela servirão como base para a construção do futuro documento de revisão, enriquecendo o resultado da revisão.

2.4 Trabalhos Correlatos

Nesta seção, são relatados trabalhos da literatura que também realizaram revisões sistemáticas sobre técnicas de visão computacional visando a detecção de queimadas em áreas florestais.

Gaur et al. (2020) realizaram a revisão voltada para algoritmos de detecção de incêndios e fumaças em ambientes internos e externos a partir de vídeo. A Figura 19 apresenta como os autores organizaram as técnicas observadas durante a revisão.

Figura 19 – Organização das técnicas de detecção de incêndios e fumaça.



Fonte: (GAUR et al., 2020).

Um ponto interessante deste trabalho é que os autores observaram abordagens que não empregam o aprendizado profundo (*handcraft features*), as que empregam aprendizado profundo e as híbridas, ou seja, que utilizam as duas abordagens. O aspecto importante extraído deste trabalho é a importância de mesclar as abordagens a fim de melhorar a precisão e acurácia dos algoritmos.

Bouguettaya, Zarzour, Taberkit e Kechida (2022) realizaram uma revisão sistemática considerando o uso da visão computacional com o apoio do *Deep learning* para detecção de incêndios florestais por meio de drones também conhecidos por UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Os autores destacaram que o uso do aprendizado profundo tem contribuído para a melhoria dos algoritmos voltados para a identificação de formação e incêndios. Os autores ainda observaram que a definição da arquitetura tem um papel importante neste processo.

Mohapatra e Trinh (2022) apresentaram uma revisão sistemática discutindo avanços e tendências, bem como limitações e desafios, das técnicas e tecnologias voltadas para a detecção precoce de incêndios florestais. De modo geral, foi possível classificar os sistemas de detecção de incêndios em quatro categorias: i) os baseados no uso de sensores; ii) baseados em redes câmeras fixas; iii) baseados em dados de satélites e, iv) baseados em monitoramento por veículos aéreos não-tripulados (UAV).

3 METODOLOGIA

Neste tópico, são abordados os trabalhos realizados para o desenvolvimento da revisão sistemática, mais precisamente os trabalhos necessários antes da realização da pesquisa, que depende de um protocolo para ser realizada. Estes trabalhos envolvem a utilização da ferramenta Parsifal, que possibilitou organizar o modelo em etapas, a fim de orientar a realização da pesquisa e o tratamento dos resultados. Cada etapa foi concluída com a produção de um artefato, utilizado durante ou após a pesquisa nas bases de conhecimento. Estes artefatos são baseados nos elementos que, por padrão, constituem uma revisão sistemática da literatura.

3.1 Planejamento

Como mencionado, antes de se realizar a pesquisa nas bases acadêmicas, é necessário estabelecer quais serão as regras utilizadas para alcançar os objetivos do projeto e não tangenciar os resultados. Este conjunto de regras se chama “Protocolo”.

Outros artefatos definidos antes da realização das buscas são a “Lista de Verificação de Avaliação de Qualidade” e o “Formulário de Extração de Dados”. O primeiro fornece um meio para avaliar o grau de satisfação de cada trabalho selecionado em relação ao conteúdo com o propósito da revisão. O segundo fornece um conjunto de rótulos indicando o seu preenchimento por informações derivadas de cada trabalho selecionado, considerados pertinentes aos objetivos da revisão.

3.1.1 Protocolo

Especificamente, o protocolo da revisão sistemática é responsável por determinar os objetivos da pesquisa, as perguntas que queremos satisfazer com os resultados, a *string* de busca utilizada nas bases, a nomeação das bases acadêmicas que serão utilizadas e os critérios de inclusão e exclusão sobre os resultados.

3.1.1.1 Objetivo

O objetivo consiste no propósito da revisão sistemática, isto é, definir a necessidade de se realizar a revisão, seja para entender o estado em que se encontram as pesquisas em uma determinada área, ou para a utilização de evidências empíricas a fim de auxiliar as tomadas de decisões. Neste trabalho, o objetivo foi o de “*identificar as técnicas de segmentação de imagens que podem ser aplicadas em sistemas de detecção de incêndios florestais*”.

3.1.1.2 PICOC

O PICOC foi o modelo estratégico utilizado para determinar os principais conceitos e que compuseram parte da *string* de busca. Em seguida estão listados os conceitos finais definidos no modelo:

- **Population:** *image segmentation techniques;*
- **Intervention:** *forest fires, wildfire, fire detection;*
- **Comparison:** *algorithms, frameworks, techniques;*
- **Outcome:** *comparison, review, application;*
- **Context:** *computer vision, image processing.*

Todos os termos utilizados estão na língua inglesa, pois dessa forma era esperado abranger um número maior de trabalhos mais atuais, também considerando o idioma das bases acadêmicas.

Em População, o objeto de estudo definido foram as técnicas para segmentação de imagens, pois são elas que a revisão deseja evidenciar, no contexto da detecção de incêndios florestais.

Em Intervenção, os termos estão direcionados à utilização pretendida da segmentação de imagens, ou seja, de que modo a técnica pode ser usada na mitigação e/ou detecção automática dos incêndios florestais que ocorrem anualmente, sendo responsáveis por grandes prejuízos ao homem e à natureza?

Em Comparaçao, foi descrito que a técnica de segmentação de imagens não é única, e pode ser implementada de diferentes formas, utilizando de diferentes estratégias e ferramentas. A comparação concede um enriquecimento geral para a área de conhecimento.

Em Resultados, busca-se destacar que o interesse da revisão é contrapor os diferentes trabalhos selecionados, e assim divulgar quais técnicas estão sendo utilizadas atualmente, comparar seus diferenciais e demonstrar como são aplicadas entre os trabalhos que as citam.

Em Contexto, é estabelecido que as técnicas são provenientes da área de conhecimento chamada de “visão computacional”, também consideradas “processamento de imagens”.

3.1.1.3 Questões de Pesquisa

As questões de pesquisa vieram para direcionar a pesquisa para com os objetivos da revisão, e definir o que queremos satisfazer com os resultados obtidos no final. Elas têm

o intuito de delimitar o foco da pesquisa para identificar estudos primários e permitir a extração de dados e uma análise mais precisa possível. Dito isso, as questões foram baseados no objetivo central do trabalho.

A estratégia PICOC é geralmente utilizada na elaboração das perguntas de pesquisa (FREITAS; SEGATTO, 2021). A partir de cada palavra-chave definida para cada aspecto da estratégia foram elaboradas 4 perguntas:

- **Qual a importância da visão computacional na detecção de incêndios florestais?**; sua resposta propõe a existência de múltiplos trabalhos que contribuem para a resolução do problema.
- **Quais os tipos de técnicas de segmentação de imagens adotados para a detecção de incêndios florestais?**; sua resposta instiga a evidenciar toda técnica e/ou ferramenta diferente mencionadas nos trabalhos.
- **Quais são as vantagens das técnicas de segmentação de imagens na detecção de incêndios florestais?**; sua resposta atende à necessidade de explicar e segmentar as técnicas localizadas entre seus diferentes contextos de aplicações.
- **Quais são as desvantagens das técnicas de segmentação de imagens na detecção de incêndios florestais?**; sua resposta cogita destacar que as técnicas possuem limitações, e os trabalhos que as utilizam podem não compartilhar de um mesmo contexto — mesmo na detecção de incêndios florestais — ou satisfação em sua aplicação.

A intenção de definir as questões de pesquisa é para que, durante a seleção dos trabalhos, seja um critério tentar respondê-las com os conteúdos encontrados.

3.1.1.4 Palavras-chave e Sinônimos

Os termos utilizados na construção do PICOC podem originar novas palavras, como sinônimos, para enriquecer a *string* de busca e expandir o seu alcance. No entanto, para este projeto, considerando seu grau de especificidade, não houve a necessidade de aumentar o número de expressões além das que já foram definidas no PICOC.

3.1.1.5 String de Busca

A *string* de busca consiste na organização de palavras-chave a fim de organizar sentença a ser submetida às fontes de pesquisa. O Quadro 1 apresenta a *string* de busca gerada neste trabalho a partir dos conceitos definidos no modelo PICOC.

```
(("image segmentation") AND ("fire detection"OR "forest fires"OR "wildfire")) OR
((("image segmentation") AND ("fire detection"OR "forest fires"OR "wildfire") AND
("algorithms"OR "frameworks"OR "technologies")) OR ((("image segmentation") AND
("fire detection"OR "forest fires"OR "wildfire") AND ("application"OR
"comparison"OR "review"))).
```

Quadro 1 – *String* de busca.

A utilização do operador booleano “AND” especifica a sua busca, afunilando os seus resultados, enquanto o “OR” à torna mais genérica, expandindo os seus resultados. Portanto, a repetição de algumas palavras na *string*, especialmente da expressão “*image segmentation*”, foi feita para controlar as “fronteiras” da pesquisa, tornando as palavras repetidas um foco da temática tratada nos trabalhos localizados, buscando não fugir do contexto deste trabalho, enquanto as demais palavras, que não são frequentes na *string*, são facultativas no conteúdo dos trabalhos.

3.1.1.6 Fontes

As bases de pesquisa escolhidas foram *ACM Digital Library*¹ e *IEEE Xplore*², por serem bibliotecas digitais de literatura científica especializadas em Ciência da Computação e Engenharias.

3.1.1.7 Critérios de Seleção

Os critérios de seleção incluem critérios de inclusão e critérios de exclusão. Ambos auxiliam o pesquisador no momento de selecionar os trabalhos coletados mais relevantes para o contexto da pesquisa, e que farão parte da análise. As regras são determinadas perante as especificidades da revisão. Para este projeto, foram definidos 4 critérios de inclusão e 5 critérios de exclusão:

- Critérios de Inclusão:
 1. **Estudos aplicados em florestas tropicais ou as mencionam;** esta delimitação de floresta buscar trazer as abordagens do tema mais próximas do Brasil, não foi considerado obrigatório.
 2. **Estudos com até 10 anos de publicação;** pois o objetivo é recuperar as técnicas mais utilizadas atualmente ou as técnicas mais modernas.
 3. **Estudos no formato de Artigos, Teses, Dissertações e TCC;** pois nestes formatos podemos encontrar experimentos, protótipos e aplicações diversas de diferentes técnicas por diferentes pesquisadores que testaram e avaliaram elas.

¹ <<https://dl.acm.org/>>

² <<https://ieeexplore.ieee.org/>>

4. **Estudos que trabalham com a detecção de incêndios florestais;** pois este é o contexto de aplicação das técnicas definido para o projeto.
 - Critérios de Exclusão:
 1. **Estudos com mais de 10 anos de publicação;** corroborando com o primeiro critérios de inclusão, o intuito é manter as abordagens mais próximas do presente, a fim de recuperar trabalhos mais recentes para que seu conteúdo não esteja desatualizado e que possa contribuir com trabalhos futuros.
 2. **Estudos que trabalham com imagens de satélites;** pois este projeto tem foco em imagens obtidas por UAVs, que podem enfrentar desafios distintos na segmentação da imagem, se comparado à segmentação de imagens de satélite.
 3. **Estudos que trabalham com vídeos ou segmentação de frames;** pois este projeto tem foco em aplicações de técnicas de segmentação em uma única imagem.
 4. **Estudos repetidos entre as bases de pesquisa;** as duplicatas são desconsideradas.
 5. **Estudos que trabalham com segmentação semântica;** pois a abordagem depende de inteligência artificial, e o foco do projeto está nas técnicas utilizadas na ausência delas.

Este é um artefato utilizado após a realização da pesquisa.

3.1.2 Lista de Verificação de Avaliação de Qualidade

Esta lista tem o objetivo definir um meio pelo qual os trabalhos selecionados, após a aplicação dos critérios de seleção, poderão ser avaliados em grau de satisfação quanto ao respectivo conteúdo no momento de contribuir com alguns requisitos considerados importantes/necessários para o projeto. Dessa forma, podemos identificar quais são os melhores trabalhos para avaliações futuras.

Inicialmente, foi definido um conjunto de perguntas, que questionam se um determinado elemento considerado útil na contribuição com o projeto está presente no conteúdo do trabalho. Neste caso, foram elaboradas 5 perguntas:

- **Informa as técnicas utilizadas?**; pois um dos objetivos deste projeto é evidenciar estas técnicas.
- **Explica como as técnicas funcionam?**; pois as técnicas precisam ser analisadas e comparadas.

- **Explica quais as condições onde a técnica é aplicada?**; pois algumas características das técnicas, como vantagens e desvantagens, podem ser justificadas pelo contexto de aplicação.
- **Deixa claro as vantagens da técnica?**; pois são informações de comparação e especificação das técnicas.
- **Menciona as desvantagens da técnica?**; pois são informações de comparação e especificação das técnicas.

Em seguida, foram definidas quais serão as respostas válidas para qualquer uma das perguntas elaboradas. As respostas precisam ser genéricas para caberem em todas as perguntas. E cada uma possui um peso, uma quantidade de pontos que representa o grau de satisfação do conteúdo oferecido pelo trabalho para atender à pergunta. No total, foram 3 respostas, cada qual com um peso diferente:

- *Satisfaz*; ou seja, o conteúdo do trabalho satisfaz totalmente a respectiva pergunta. Seu peso é 3, a pontuação mais alta para destacar o trabalho.
- *Satisfaz Parcialmente*; ou seja, o conteúdo do trabalho não atende totalmente a respectiva pergunta, deixando algumas dúvidas ou informações incompletas, mas é possível entender. Seu peso 1, a pontuação média para não desconsiderar o trabalho.
- *Não satisfaz*; ou seja, o conteúdo do trabalho é insuficiente, sem credibilidade ou não existe para atender a respectiva pergunta. Seu peso é 0, a pontuação mais baixa para evidenciar que o trabalho não é útil para a necessidade respectiva.

O máximo de pontos que um trabalho pode obter, satisfazendo completamente todas as perguntas, é 15, indicando que aquele trabalho é de excelente qualidade e muito útil para o projeto. Não foi estabelecido nenhuma nota de corte, mas os trabalhos com notas mais baixas também são tratados com baixa prioridade, durante a análise.

Foi necessário, também, estabelecer um protocolo para a utilização das respostas sob o contexto de cada pergunta, ou seja, diferentes perguntas buscam respostas diferentes, e como é utilizado um conjunto em comum de respostas para todas as perguntas, algumas regras foram determinadas para não utilizar critérios diferentes entre os trabalhos para a mesma pergunta. Os critérios foram definidos para dar significado às respostas, em relação ao que é solicitado pela pergunta.

A primeira pergunta questiona a existência do nome/descrição das técnicas no conteúdo do trabalho. Então, as respostas adotam um padrão sobre a quantidade de técnicas mencionadas para representá-las. O Quadro 2 apresenta as respostas e seus respectivos significados:

Quadro 2 – *Informa as técnicas utilizadas?* (Análise Quantitativa)

Resposta	Significado
Satisfaz	Informa mais de uma técnica.
Satisfaz parcialmente	Informa uma única técnica.
Não satisfaz	Não informa nenhuma técnica.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A segunda pergunta questiona se as técnicas mencionadas estão definidas em termos de funcionamento. Então, as respostas adotam um padrão sobre a quantidade de técnicas explicadas o funcionamento para representa-las. O Quadro 3 apresenta as respostas e seus respectivos significados:

Quadro 3 – *Explica como as técnicas funcionam?* (Análise Quantitativa)

Resposta	Significado
Satisfaz	Explica metade ou mais das técnicas mencionadas.
Satisfaz parcialmente	Explica menos da metade das técnicas mencionadas.
Não satisfaz	Não explica nenhuma das técnicas mencionadas.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A terceira pergunta questiona sobre as condições/contexto onde as técnicas são aplicadas. Então, as respostas adotam um padrão sobre a quantidade de dúvidas geradas a partir das condições/contextos explicados para representa-las. O Quadro 4 apresenta as respostas e seus respectivos significados:

Quadro 4 – *Explica quais as condições onde a técnica é aplicada?* (Análise Quantitativa)

Resposta	Significado
Satisfaz	Não há dúvidas em relação à explicação das condições.
Satisfaz parcialmente	Há dúvidas em relação à explicação das condições.
Não satisfaz	Não há explicação das condições.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A quarta pergunta questiona o entendimento quanto às vantagens da técnica no contexto de aplicação. Então, as respostas adotam um padrão sobre a qualidade na explicação sobre o propósito de utilização da técnica no contexto para representa-las. O Quadro 5 apresenta as respostas e seus respectivos significados:

Quadro 5 – *Deixa claro as vantagens da técnica?* (Análise Qualitativa)

Resposta	Significado
Satisfaz	É possível inferir para qual contexto a técnica foi criada.
Satisfaz parcialmente	Apresenta vantagens genéricas, comum em outras técnicas.
Não satisfaz	Não apresenta nenhuma vantagem da técnica.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A quinta, e última, pergunta questiona o entendimento quanto às desvantagens da técnica no contexto de aplicação. Então, as respostas adotam um padrão sobre a qualidade na explicação sobre a baixa eficiência na utilização da técnica no contexto para representá-las. O Quadro 6 apresenta as respostas e seus respectivos significados:

Quadro 6 – *Menciona as desvantagens da técnica?* (Análise Qualitativa)

Resposta	Significado
Satisfaz	É possível inferir em qual contexto a técnica perde eficiência ou função.
Satisfaz parcialmente	Apresenta desvantagens genérica, comum em outras técnicas.
Não satisfaz	Não apresenta nenhuma desvantagem da técnica.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Este é um artefato utilizado após a seleção dos trabalhos por meio dos critérios de seleção.

3.1.3 Formulário de Extração de Dados

Este formulário tem o objetivo de definir um modelo de entrada dos dados que são considerados pertinentes para o projeto, derivados dos trabalhos selecionados. Essa entrada de dados ocorre por meio de um campo identificado por um rótulo. O rótulo é a descrição do campo, indicando qual dado é esperado. O campo é um espaço para inserir o dado, podendo exigir um tipo específico ou já possuir um conjunto pré-determinado de dados para selecionar.

Para o contexto do projeto, o formulário criado foi composto por campos genéricos, para dados comuns entre todos os trabalhos, e campos específicos do tema, que podem não existir em todos os trabalhos. No Quadro 7 seguinte estão especificados os campos do formulário deste projeto:

Quadro 7 – Formulário de Extração de Dados

Rótulo	Campo	Descrição
Objetivo	Texto	Descrever os objetivos do trabalho analisado.
Nome da(s) Técnica(s) Utilizada(s)	Texto	Listar quais foram as técnicas utilizadas no experimento, protótipo ou problema.
Nome da(s) Técnica(s) Mencionada(s)	Texto	Listar quais foram as técnicas mencionadas, e não utilizadas, em todo o trabalho analisado.
Contexto de Aplicação	Texto	Explicar em qual contexto as técnicas estavam sendo aplicadas.
Métricas de avaliação	Texto	Descrever quais foram as métricas utilizadas para avaliar o desempenho das técnicas na detecção do incêndio florestal.
Tipo da(s) Floresta(s)	Texto	Informar quais foram os tipos de florestas nos quais os experimentos foram realizados ou onde as técnicas são utilizadas.
Nome da Base de Imagens	Texto	Informar qual o nome da base de imagens utilizadas para aplicar as técnicas.
Aplicação da técnica(s)?	Booleano	Responder se as técnicas são aplicadas na prática, ou não.
Explicação sobre a(s) técnica(s)?	Booleano	Responder se as técnicas estão sendo explicadas, ou não.
Replicação do(s) experimento(s)?	Booleano	Responder se o experimento realizado pode ser replicado facilmente, ou não.
Comparação das técnicas?	Booleano	Responder se o trabalho compara as técnicas mencionadas e/ou utilizadas, ou não.
Observações	Texto	Espaço para incluir informações consideradas relevantes, mas que não estão sendo consideradas nos rótulos anteriores.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Este é um artefato utilizado após a seleção dos trabalhos por meio dos critérios de seleção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é descrito como se procedeu a condução da revisão sistemática, utilizando dos artefatos construídos a partir do planejamento do protocolo, formulário de extração de dados e lista de verificação de qualidade. O protocolo de busca foi utilizado para recuperar trabalhos acadêmicos a partir das bases de conhecimento e orientar no momento da seleção dos trabalhos encontrados.

Após realizar a seleção, os trabalhos restantes foram submetidos ao questionário de avaliação de qualidade, na qual todos os trabalhos receberam uma pontuação.

Enfim, foi realizado o preenchimento do formulário de extração a partir das informações contidas nos trabalhos selecionados e eram consideradas pertinentes ao tema.

Esta etapa foi finalizada realizando a organização de toda informação condensada a partir da seleção dos trabalhos, onde o objetivo, seguindo a ideia central do projeto, identificar quais foram as técnicas para detecção de incêndios florestais presentes nos respectivos trabalhos e dados relativos aos resultados da busca e seleção dos trabalhos.

4.1 Condução

A etapa de condução da busca pode ser entendida como o momento em que a revisão sistemática conclui o planejamento dos parâmetros necessários para a pesquisa e efetivamente faz uso deles para realizá-la. É nesta etapa que os resultados do protocolo começam a ser desenvolvidos.

4.1.1 Pesquisa

Durante a realização das buscas, foi utilizada a *string* de busca, desenvolvida no protocolo, através da função de pesquisa avançada das bases acadêmicas. Todos os resultados foram recuperados no dia de 22 de abril de 2022. O Quadro 8 apresenta a *string* utilizada (não houve alteração da mesma que foi desenvolvida no protocolo):

```
(("image segmentation") AND ("fire detection" OR "forest fires" OR "wildfire")) OR
(("image segmentation") AND ("fire detection" OR "forest fires" OR "wildfire") AND
("algorithms" OR "frameworks" OR "technologies")) OR ((("image segmentation") AND
("fire detection" OR "forest fires" OR "wildfire") AND ("application" OR
"comparison" OR "review"))).
```

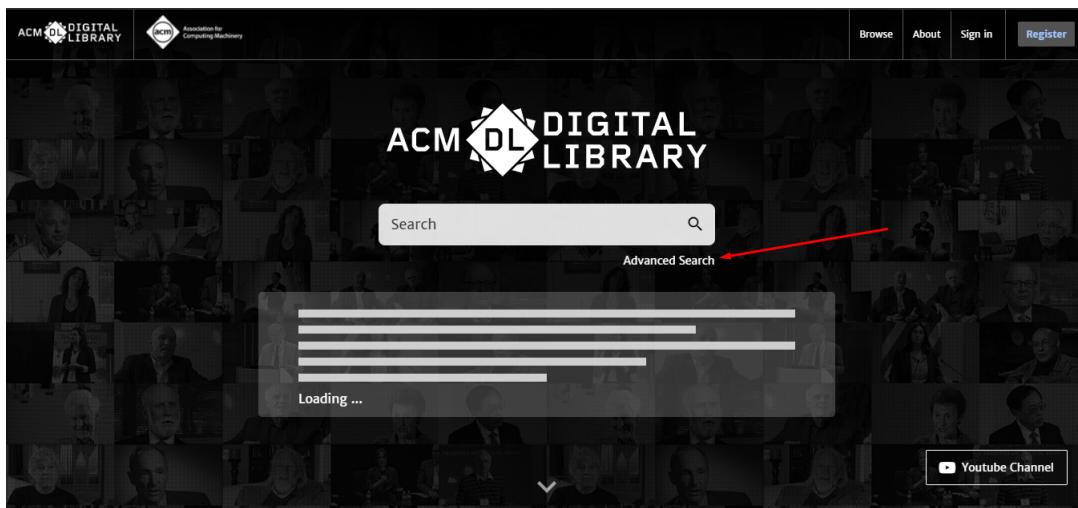
Quadro 8 – *String* de busca.

As bases de conhecimento nas quais foram utilizadas as pesquisas avançadas eram as mesmas definidas no protocolo: *ACM Digital Library*¹ e *IEEEXplore*². Em seguida, é descrito como foi o processo de utilização da *string* de busca nas respectivas bases:

- *ACM Digital Library*

1. Inicialmente, após acessar o portal, a função de pesquisa avançada da plataforma é localizada e acessada. A Figura 20 exibe o caminho até a ferramenta:

Figura 20 – *ACM Digital Library: Pesquisa Avançada*



Fonte: Elaborado pelo autor.

2. Em seguida, através do formulário fornecido, o seletor "Search items from:" é configurada com a opção "The ACM Guide to Computing Literature", para parametrizar a fonte da busca para as Literaturas de Computação. No quadro "Search Within" foi adicionada a *string* de busca. A Figura 21 exibe o preenchimento do formulário:

¹ <<https://dl.acm.org/>>

² <<https://ieeexplore.ieee.org/>>

Figura 21 – ACM Digital Library: Formulário

Advanced Search

Search
Search anything within the ACM Digital Library or go to your [Saved Searches](#)

Search items from: The ACM Full-Text collection

Search Within: Anywhere
(("image segmentation") AND ("fire detection" OR "forest fires" OR "wildfires"))

Filters: Published in

SEARCH TIPS for text fields

Boolean searches
Use the boolean operators AND, OR, and NOT to narrow or broaden your search results.

By default, an AND relationship is assumed between Search Within terms unless you specify a different operator in the **Edit Query** input.

By default, an OR relationship is assumed between words within 1 Search Within term.

Searching for phrases
Enclose your search terms within quotation marks (" ") to search for an exact match of that phrase.

If no quotation marks are used, search results will be populated with publications that contain your search terms somewhere in the text.

For example, if you search for "machine learning" the search engine will limit the results to publications that contain this exact phrase

Fonte: Elaborado pelo autor.

3. Ainda no formulário da pesquisa avançada, foi mantida a parametrização que desconsidera a filtragem por data ou período, do campo "*Publication Date*". Esta condição só sera considerada durante a aplicação dos critérios de exclusão, durante a seleção dos trabalhos, após a pesquisa. A Figura 22 e sinaliza o campo:

Figura 22 – ACM Digital Library: Filtro por Data de Publicação

Filters

Published in

Publication Date

All dates

Last

Please Select

Custom range

From: Select Month / Select Year

To: Select Month / Select Year

Clear

Search

Feedback

Enclose your search terms within quotation marks (" ") to search for an exact match of that phrase.

If no quotation marks are used, search results will be populated with publications that contain your search terms somewhere in the text.

For example, if you search for "machine learning" the search engine will limit the results to publications that contain this exact phrase otherwise an OR will be assumed in between the words.

Curly quotes (" ") are also acceptable eg. "machine learning"

NOTE: opening and closing quotes must be of the same type; curly or straight. Please avoid entering "machine learning"

Wildcards
Use an asterisk (*) to specify any number of unknown characters. For example, if you search for **comput***, the search engine will provide results that contain words such as compute, computation, computing, etc.

Use a question mark (?) to specify any single

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Após o carregamento dos resultados da pesquisa, foram obtidos **99** trabalhos compatíveis com a *string* de busca. A Figura 23 comprova o resultado:

Figura 23 – ACM Digital Library: Resultados

The screenshot shows the ACM Digital Library search results page. The search query is highlighted in red: "[All: "image segmentation"] AND [[All: "fire detection"] OR [All: "forest fires"] OR [All: "wildfire"]]] OR [[All: "image segmentation"] AND [[All: "fire detection"] OR [All: "forest fires"] OR [All: "wildfire"]]] AND [[All: "algorithms"] OR [All: "frameworks"] OR [All: "technologies"]]]] OR [[All: "image segmentation"] AND [[All: "fire detection"] OR [All: "forest fires"] OR [All: "wildfire"]]] AND [[All: "application"] OR [All: "comparison"] OR [All: "review"]]]]. The results count is 99.

RESULTS

Showing 1 - 50 of 99 Results

per page: 10 20 50 Relevance ▾

ARTICLE Video fire detection - Review December 2013

Chi Yuan, Zhixiang Liu, Youmin Zhang

Journal of Intelligent and Robotic Systems (JIRS), Volume 88, Issue 2-4 • December 2017, pp 635–654 • <https://doi.org/10.1007/s10846-016-0464-7>

Due to their fast response capability, low cost and without danger to personnel safety since there is no human pilot on-board, unmanned aerial vehicles (UAVs) with vision-based systems have great potential for monitoring and detecting forest fires. This ...

8 Highlights

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Foi tomado nota sobre qual o período compreende os trabalhos recuperados. A Figura 24 mostra que os resultados foram publicados entre os anos de 1997 e 2022:

Figura 24 – ACM Digital Library: Resultados — Período das Publicações

The screenshot shows the ACM Digital Library search results page. The search query is the same as in Figure 23. The results count is 99.

Publication Date

1997 2022

Past 5 years Past 2 years Past year

ARTICLE December 2017

Aerial Images-Based Forest Fire Detection for Firefighting Using Optical Remote Sensing Techniques and Unmanned Aerial Vehicles

Chi Yuan, Zhixiang Liu, Youmin Zhang

Journal of Intelligent and Robotic Systems (JIRS), Volume 88, Issue 2-4 • December 2017, pp 635–654 • <https://doi.org/10.1007/s10846-016-0464-7>

Due to their fast response capability, low cost and without danger to personnel safety since there is no human pilot on-board, unmanned aerial vehicles (UAVs) with vision-based systems have great potential for monitoring and detecting forest fires. This ...

8 Highlights

ARTICLE July 2011

Observer network and forest fire detection

Ljiljana Šerić, Darko Stipaničev, Maja Štula

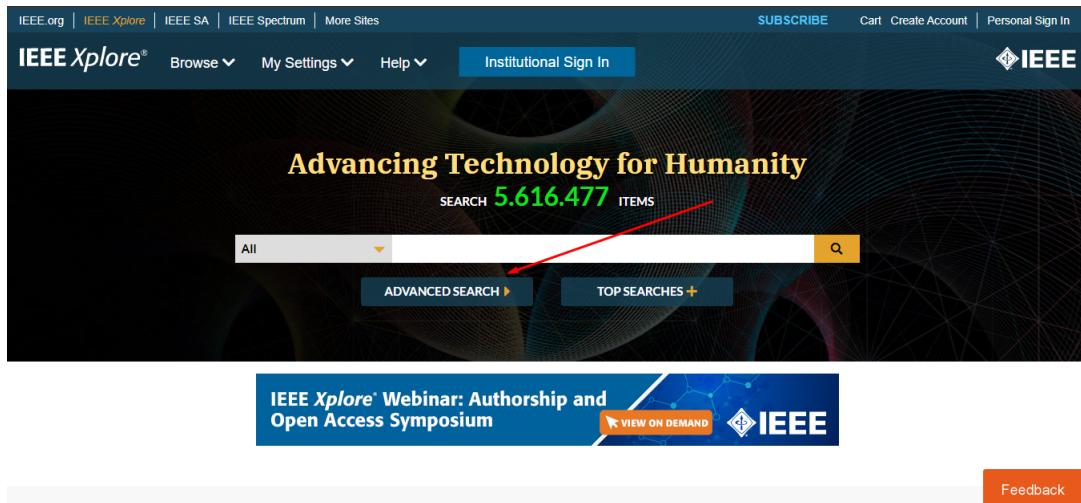
Information Fusion (IFUS), Volume 18, Issues 1–3, July 2013, pp 160–169

Fonte: Elaborado pelo autor.

- *IEEEExplore*

- Inicialmente, após acessar o portal, a função de pesquisa avançada da plataforma é localizada e acessada. A Figura 25 exibe o caminho até a ferramenta:

Figura 25 – IEEE Xplore: Pesquisa Avançada



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Em seguida, através do formulário fornecido, é acessada a aba "*Command Search*", na qual é permitido realizar a busca informando somente a *string* de busca. A Figura 26 exibe a opção no formulário:

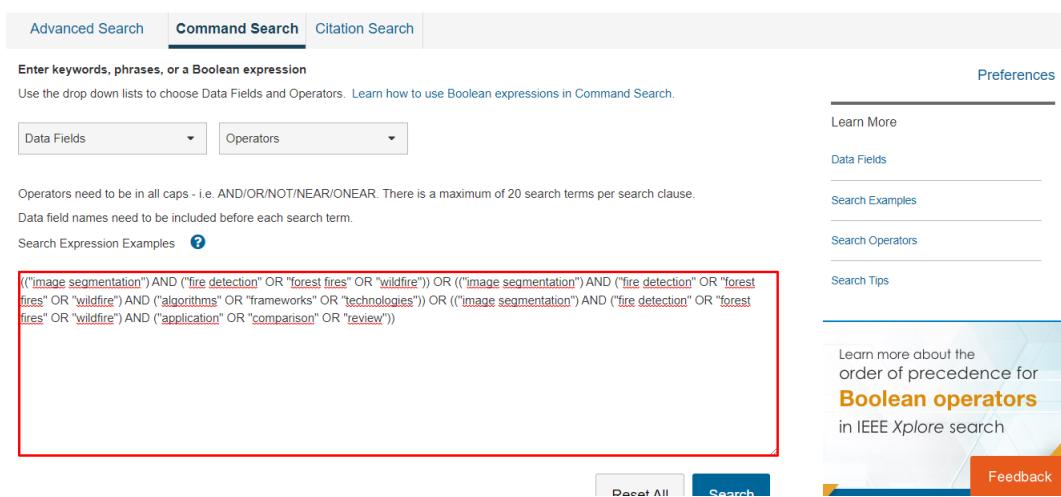
Figura 26 – IEEE Xplore: Formulário

The screenshot shows the "Advanced Search" interface of IEEE Xplore. At the top, there are links for IEEE.org, IEEE Xplore, IEEE SA, IEEE Spectrum, and More Sites. On the right, there are buttons for SUBSCRIBE, Cart, Create Account, and Personal Sign In. The IEEE logo is in the top right corner. A search bar with the word "All" selected is at the top. To the right of the search bar is a red arrow pointing to a blue button labeled "ADVANCED SEARCH". Below the search bar, there are three tabs: "Advanced Search", "Command Search" (which is highlighted with a red border), and "Citation Search". A text input field below the tabs says "Enter keywords, phrases, or a Boolean expression". To the right of the input field are "Preferences", "Learn More", "Data Fields", "Search Examples", "Search Operators", and a "Feedback" button. A sidebar on the right contains sections for "Learn More", "Data Fields", "Search Examples", "Search Operators", and a "Feedback" button.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Ainda no formulário da pesquisa avançada, na aba "*Command Search*", nada foi modificado, e na área designada foi colada a *string* de busca. A Figura 27 e sinaliza o campo:

Figura 27 – IEEE Xplore: Filtro por Data de Publicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Após o carregamento dos resultados da pesquisa, foram obtidos **124** trabalhos compatíveis com a *string* de busca. A Figura 28 comprova o resultado:

Figura 28 – IEEE Xplore: Resultados

The screenshot shows the IEEE Xplore search results page. At the top, there is a navigation bar with links to IEEE.org, IEEE Xplore, IEEE SA, IEEE Spectrum, and More Sites. On the right side of the navigation bar are links for SUBSCRIBE, Cart, Create Account, and Personal Sign In. Below the navigation bar is the IEEE logo. The main search bar has "All" selected and contains the search query: ("image segmentation") AND ("fire detection" OR "forest fires" OR "wildfire") OR ((("image segmentation") AND ("fire detection" OR "forest fires" OR "wildfire") AND ("algorithms" OR "frameworks" OR "technologies")) OR ((("image segmentation") AND ("fire detection" OR "forest fires" OR "wildfire") AND ("application" OR "comparison" OR "review")))) . Below the search bar are "Per Page: 100", "Export", "Set Search Alerts", and "Search History". The results section shows "Showing 1-100 of 124" results. There are filters for Conferences (111), Journals (12), and Early Access Articles (1). On the left, there is a "Show" section with "All Results" selected. On the right, there is a "Sort By: Relevance" dropdown and a "Need Full-Text" button with a "Feedback" link. Below the results, there is a "Feedback" button.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5. Foi tomado nota sobre qual o período compreende os trabalhos recuperados. A Figura 29 mostra que os resultados foram publicados entre os anos de 2003 e 2022:

Figura 29 – IEEE Xplore: Resultados — Período das Publicações

The screenshot shows the IEEE Xplore search interface. On the left, there are filters for 'Show' (All Results selected), 'Year' (Range from 2003 to 2022), 'Author', 'Affiliation', and 'Publication Title'. The main area displays two search results. The first result is titled 'A Hybrid Clustering Algorithm for Fire Detection in Video and Analysis with Color Based Thresholding Method' by Ishita Chakraborty and Tanoy Kr. Paul, from the 2010 International Conference on Advances in Computer Engineering. The second result is 'Application of image segmentation based on the artificial bee colony algorithm in fire detection of mine belt conveyor' by Yuxin Liu and Xianmin Ma, from the 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). Both results have options to view 'Abstract', 'HTML', or download ('PDF', 'DOC'). A sidebar on the right promotes 'Full-Text' access and the 'IEEE Xplore CHALLENGE' for researchers in Brazil.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final da realização das buscas, foram obtidos um total de 223 trabalhos de ambas as fontes. A Figura 30 exibe a quantidade total por fonte:

4.1.2 Seleção dos Estudos

Na seleção dos trabalhos, primeiramente localizamos os trabalhos duplicados. Considerando que ambas as fontes podem conter os mesmos trabalhos, foi necessário desconsiderar a réplicas do número total de trabalhos recuperados. Neste caso, foram descartadas **6** réplicas, atualizando o número total de trabalhos para **217** unidades.

Em seguida, sobre os trabalhos restantes, foi realizada uma análise inicial, na qual o conteúdo de cada trabalho foi lido e comparado aos critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo.

Figura 30 – Quantidade de Resultados por Fonte

Import Studies		
Source	Imported Studies	
ACM Digital Library	99	Import ▾
IEEE Digital Library	124	Import ▾

Fonte: (FREITAS; SEGATTO, 2021).

Todo trabalho era aceito até se localizar um elemento semelhante à qualquer um dos critérios de exclusão definidos ou contraditório à qualquer um dos critérios de inclusão. A Tabela 1 apresenta a proporção de trabalhos que foram rejeitados entre as diferentes bases de conhecimento de origem.

Tabela 1 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Fonte Acadêmica

ACM Digital Library	IEEE Digital Library
92	69

Fonte: Elaborado pelo autor

Cada trabalho rejeitado era vinculado à um critério, para justificar por qual motivo o respectivo trabalho estava recebendo este status. O critério à ser vinculado poderia se originar da lista de critérios de exclusão, mas também da lista de critérios de inclusão. Isso pois, neste trabalho, os critérios de inclusão criados implicam, automaticamente, na criação de critérios de exclusão inversos, mesmo que implícito, e vice-versa. Neste sentido, em alguns casos houve a necessidade de se utilizar critérios de inclusão para justificar a rejeição de um determinado trabalho, pois o mesmo foi rejeitado por não atender ao respectivo critério de inclusão, ou seja, fornecendo o oposto ao que é exigido pelo critério.

A Tabela 2 apresenta o quantitativo de trabalhos que não atenderam os critérios de inclusão utilizados como justificativa na avaliação.

Tabela 2 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Critério de Inclusão

Critério de Inclusão	Qtd. Rejeitados
Estudos no formato de Artigos, Teses, Dissertações e TCC.	1
Estudos que trabalham com a detecção de incêndios florestais.	75
Estudos que trabalham com a segmentação semântica.	1

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 3 apresenta o quantitativo de trabalhos que foram rejeitados de acordo com os critério de exclusão.

Tabela 3 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Critério de Exclusão

Critério de Exclusão	Qtd. Rejeitados
Estudos com mais de 10 anos de publicação.	50
Estudos que trabalham com imagens de satélites.	15
Estudos que trabalham com vídeos ou segmentação de frames.	19

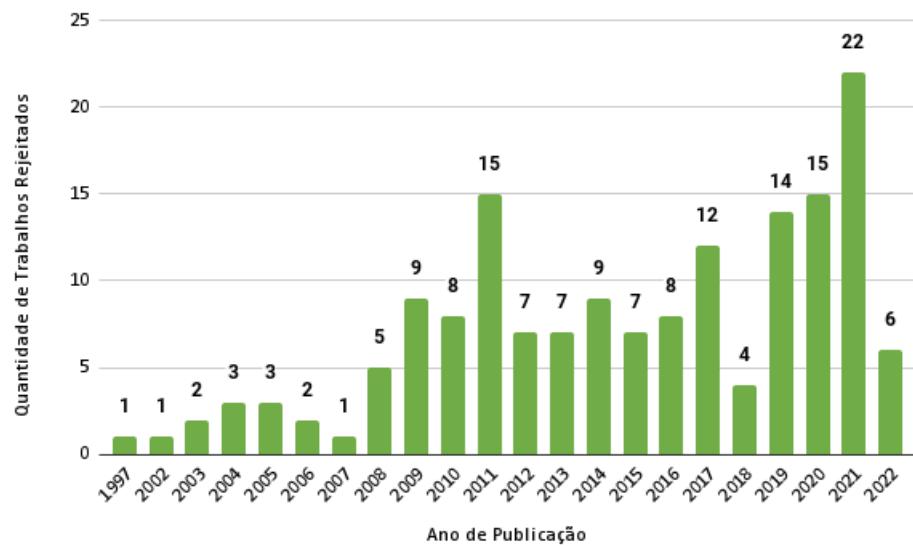
Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser evidenciado, o critério predominante na justificativa para os trabalhos rejeitados é aquele que define que os estudos devem trabalhar na temática de detecção de incêndios florestais. Este critério é de extrema importância para que a seleção dos trabalhos seja direcionada de acordo com os objetivos do projeto. De qualquer forma, apesar da utilização de string de busca, a presença de trabalhos que transgredem o alvo da detecção de incêndio indica uma alta riqueza de problemáticas e temas abordados na segmentação de imagens para detecção de incêndios que não sejam em florestas.

O segundo critério de maior predominância é aquele que determina o ano mínimo de publicação do trabalho para ele não ser rejeitado. Este critério permite controlar o grau de atualidade dos assuntos abordados nos trabalhos selecionados, não distanciando muito do que conhecemos atualmente sobre o tema.

A Figura 31 apresenta o gráfico com o quantitativo de trabalhos rejeitados durante a revisão sistemática por ano em que eles foram publicados.

Figura 31 – Quantidade de Trabalhos Rejeitados por Ano de Publicação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ocorreram exceções durante as análises, onde foram aceitos trabalhos que mencionavam ou direcionavam seu estudo para a segmentação de imagens aplicada em vídeos ou sequências de *frames*. Apesar de entrar em choque com um dos critérios de exclusão, grande parte das técnicas retratadas nos trabalhos excepcionais eram ou podem ser utilizadas sobre um único *frame*, permitindo-os servirem como um exemplo das técnicas que poderiam ser utilizadas na segmentação de uma única imagem.

Enfim, após a conclusão do processo de seleção, o número total de trabalhos aceitos foi de **56** unidades, enquanto o número de trabalhos rejeitados foi de **161** unidades. A Tabela 4 descreve as quantidades de trabalhos nas respectivas classificações utilizadas no momento da seleção.

Tabela 4 – Quantidade de Trabalhos por Classificação.

Total	Duplicatas	Rejeitados	Aceitos
223	6	161	56

Fonte: Elaborado pelo autor

O número de artigos aceitos foi considerado satisfatório, além dos trabalhos, cor-

responderem com o protocolo elaborado. Na sequência, passou-se a etapa de avaliação de qualidade dos artigos aceitos.

4.2 Avaliação de Qualidade

Concluída a condução da busca e seleção, foi iniciada a avaliação sobre cada artigo aceito, a fim de obter um nível de satisfação quanto ao conteúdo do respectivo trabalho em relação aos objetivos da revisão sistemática.

Um questionário foi utilizado para avaliar o grau de satisfação e clareza em relação ao que pode ser utilizado como resposta para as perguntas deste questionário, respostas estas que eram derivadas de uma análise minuciosa aplicada ao trabalho. Este processo foi aplicado para todos os trabalhos selecionados.

Este questionário foi construído a partir do protocolo, onde foram definidas 5 perguntas, alinhadas à proposta do projeto, 3 possíveis respostas e a sua pontuação respectiva, variando de 0 a 3. A Tabela 5 apresenta a pontuação total dos 56 artigos que foram avaliados, em ordem decrescente dos pontos.

Tabela 5 – Índice de Qualidade (IQ) dos Artigos Selecionados

Artigo	Autor(es)	IQ
Smoke Detection Method Based on LBP and SVM from Surveillance Camera	(RUSSO; DEB; TISTA; IS-LAM, 2018)	15,00
Saliency Based Fire Detection Using Texture and Color Features	(JAMALI; KARIMI; SAMAVI, 2020)	15,00
Multi color feature, background subtraction and time frame selection for fire detection	(SHIDIK et al., 2013)	15,00
Image processing based forest fire detection using YCbCr colour model	(PREMAL; VINSLEY, 2014)	15,00
Fire Detection System Using Color and Flickering Behaviour of Fire with Kekre's LUV Color Space	(THEPADE; DEWAN; PRITAM; CHATURVEDI, 2018)	15,00
Detection and Segmentation of Power Line Fires in Videos	(SHI; WANG; GAO; YU, 2020)	15,00
Comparative Analysis of Traditional and Deep Learning Techniques for Industrial and Wildfire Smoke Segmentation	(CHATURVEDI; KHANNA; OJHA, 2021)	15,00
ATT Squeeze U-Net: A Lightweight Network for Forest Fire Detection and Recognition	(ZHANG; ZHU; WANG; LING, 2021)	15,00
<i>continua</i>		

Tabela 5 – continuação

Artigo	Autor(es)	IQ
Aerial Forest Fire Surveillance — Evaluation of Forest Fire Detection Model using Aerial Videos	(DANG-NGOC; NGUYEN-TRUNG, 2019)	15,00
A Novel Forest Fire Detection System Using Fuzzy Entropy Optimized Thresholding and STN-based CNN	(AVULA; BADRI; P, 2020)	15,00
Video Image Fire Recognition Based on Color Space and Moving Object Detection	(QIAN; XIAO-JUN; LEI, 2020)	13,00
UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques	(YUAN; LIU; ZHANG, 2015)	13,00
Fire detection using infrared images for UAV-based forest fire surveillance	(YUAN; LIU; ZHANG, 2017)	13,00
Early Forest Fire Region Segmentation Based on Deep Learning	(WANG et al., 2019)	13,00
Computer Vision and Smoke Sensor Based Fire Detection System	(CHOWDHURY; MUSHFIQ; CHOWDHURY, 2019)	13,00
Comparison of two semantic segmentation databases for smoke detection	(FRIZZI; BOUCHOUICHA; MOREAU, 2021)	13,00
A New Color Space Based on K-Medoids Clustering for Fire Detection	(KHATAMI; MIRGHASEMI; KHOSRAVI; NAHAVANDI, 2015)	13,00
A computer vision based approach for detection of fire and direction control for enhanced operation of fire fighting robot	(RANGAN; RAKESH; SANDEEP; SUTTUR, 2013)	13,00
A fast flame recognition algorithm based on tracking and marking	(LI; BU; CHEN, 2020)	12,00
Information-Guided Flame Detection Based on Faster R-CNN	(CHAOXIA; SHANG; ZHANG, 2020)	11,00
Forest Fires Segmentation using Deep Convolutional Neural Networks	(GHALI et al., 2021)	11,00
Forest Fire Detection Using Combined Architecture of Separable Convolution and Image Processing	(DUTTA; GHOSH, 2021)	11,00

continua

Tabela 5 – continuação

Artigo	Autor(es)	IQ
Fire Detection using Residual Deeplabv3+ Model	(HARKAT; NASCIMENTO; BERNARDINO, 2021)	11,00
Fire Detection and Segmentation using YOLOv5 and U-NET	(MSEDDI; GHALI; JMAL; ATTIA, 2021)	11,00
Edge Detection Comparison of Hybrid Feature Extraction for Combustible Fire Segmentation: A Canny vs Sobel Performance Analysis	(MALBOG et al., 2020)	11,00
Color algorithm for flame exposure (CAFE)	(ALVES et al., 2018)	11,00
Accurate fire detection through fully convolutional network	(GONZALEZ et al., 2017)	11,00
A Texture Driven Approach for Visible Spectrum Fire Detection on Mobile Robots	(STEFFENS; BOTELHO; RODRIGUES, 2016)	11,00
A fire color mapping-based segmentation: Fire pixel segmentation approach	(SOUZA; FACON, 2016)	11,00
Vision-based forest fire detection in aerial images for firefighting using UAVs	(YUAN; LIU; ZHANG, 2016)	10,00
Research on Fire Detection and Image Information Processing System Based on Image Processing	(XIONG, 2020)	10,00
A Comprehensive Study on Fire Detection	(WILSON et al., 2018)	10,00
The Reprocessing for Himawari-8 Based on Deep Learning	(ZHANG et al., 2021)	9,00
Research on Image Fire Detection Based on Support Vector Machine	(CHEN et al., 2019)	9,00
Research on Forest Fire Image Recognition Algorithm Based on Color Feature Statistics	(LI; XIAOBO; JUN; YING, 2021)	9,00
Method for fire and smoke detection in monitored forest areas	(ASATRYAN; HOVSEPYAN, 2015)	9,00
Forest Fire Thermal Infrared Image Segmentation Based on K-V Model	(YANG et al., 2021)	9,00
Flame detection based on spatio-temporal covariance matrix	(GU et al., 2016)	9,00
<i>continua</i>		

Tabela 5 – continuação

Artigo	Autor(es)	IQ
Flame and Smoke Detection in Substation Based on Wavelet Analysis and Convolution Neural Network	(XU et al., 2019)	9,00
Fire detection using stereoscopic imaging and image processing techniques	(LI; LU; YAN, 2014)	9,00
Development of New Efficient Transposed Convolution Techniques for Flame Segmentation from UAV-captured Images	(HOSSAIN; ZHANG, 2021)	9,00
Detection of fire using image processing techniques with LUV color space	(PRITAM; DEWAN, 2017)	9,00
Attention on Classification for Fire Segmentation	(NIKNEJAD; BERNARDINO, 2021)	9,00
Attention Based CNN Model for Fire Detection and Localization in Real-World Images	(MAJID et al., 2022)	9,00
An Effective Algorithm to Detect Both Smoke and Flame Using Color and Wavelet Analysis	(YE et al., 2017)	9,00
A new fire detection method based on the centroid variety of consecutive frames	(LEI et al., 2017)	9,00
A Forest Fire Detection System: The Meleager Approach	(TSETSOS et al., 2012)	9,00
System to detect fire under surveillanced area	(JAYASHREE; PAVITHRA; VAISHALI; VIDHYA, 2017)	8,00
An efficient and optimal clustering algorithm for real-time forest fire prediction with	(T.L.; B.; M.N.; DHARANI, 2014)	8,00
Vision-Based Forest Fire Detection Using Machine Learning	(JIN; LU, 2019)	7,00
Vision Based Flame Detection System For Surveillance Camera	(RIYADI; AISYAH, 2018)	7,00
Machine Learning Algorithm for Fire Detection using Color Correlogram	(MAHEEN; ANEESH, 2019)	7,00
Fire detection based on video processing method	(NGUYEN-TI; NGUYEN-PHUC; DO-HONG, 2013)	7,00
Fire detection based on flame color and area	(WANG; ZHOU, 2012)	7,00
<i>continua</i>		

<i>Tabela 5 – continuação</i>		
Artigo	Autor(es)	IQ
Early Fire Detection Using Convolutional Neural Networks during Surveillance for Effective Disaster Management	(MUHAMMAD; AHMAD; BAIK, 2018)	7,00
Real-time fire detection using enhanced color segmentation and novel foreground extraction	(KHAN; UDDIN; COR-RAYA, 2017)	6,00
<i>fim da Tabela 5</i>		

4.3 Extração de Dados

Em sequência, foi realizada a extração das informações consideradas pertinentes aos objetivos do projeto dos trabalhos selecionados. Como não foi configurada uma pontuação de corte, nenhum trabalho foi descartado após a avaliação de qualidade.

O formulário para extração foi elaborado no protocolo, onde constam 13 campos com diferentes tipos de dado de entrada, sendo em sua maioria do tipo texto. Alguns dos resultados da extração estão resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise da Extração dos Dados

Rótulo do Campo	Trabalhos satisfatórios	Trabalhos não satisfatórios
Contexto de Aplicação	42	14
Métricas de Avaliação	42	14
Tipos de Florestas	3	53
Nome das Bases de Imagens	43	13

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta análise, os rótulos destacados foram aqueles que tiverem menor número de trabalhos satisfatórios, dentre os demais. O "Contexto de Aplicação" onde as técnicas foram utilizadas pode não ter sido especificado por alguns trabalhos devido à generalidade do problema que foi resolvido, reduzindo-se à detecção de chamas.

As "Métricas de Avaliação" também podem ter sido evitadas sua explanação, pois o método utilizado é de entendimento comum, como uma comparação de eficiência entre diferentes técnicas utilizando uma mesma base de imagens para testes.

Os "Tipos de Florestas" foram as informações de menor presença entre os trabalhos selecionados, então podemos inferir que a detecção das chamas, em sua maioria, não considerava elementos relativos ao ambiente, pelo menos não em relação ao tipo de floresta, no entanto, estes elementos podem interferir na segmentação da imagem, portanto pode-se destacar este ponto como foco de melhoria nos trabalhos. Vale destacar que alguns dos trabalhos não limitaram seus ambientes em florestas ou vegetação fechada, outros não

especificaram detalhes do ambiente, no entanto, tratativas para evitar falsos positivos e falsos negativos foram aplicadas, quando a técnica utilizada falha ao tentar diferenciar pixels que compõe a chama com outros elementos da mesma cor, o que se aplica à qualquer ambiente, inclusive florestas.

Os "Nomes das Bases de Imagens" também não foram mencionados, em alguns casos, isto predominantemente se deve ao fato de alguns experimentos utilizarem imagens de autoria própria, dispensando a necessidade de informar a fonte.

Estas e as demais informações coletadas através do formulário foram utilizadas para realizar uma análise geral dos resultados.

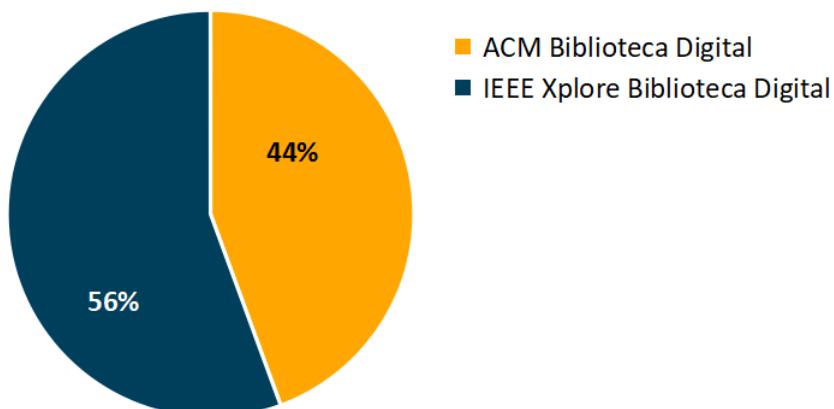
4.4 Análise dos Dados

Todos os artefatos criados durante o planejamento do protocolo foram utilizados, até este ponto. Cada artefato projetou visões diferentes dos resultados da pesquisa, onde a *string* de busca produziu resultados brutos do tema, enquanto os critérios de exclusão e inclusão os refinaram conforme os objetivos do projeto, o formulário de extração de dados permitiu destacar informações relevantes de cada trabalho selecionado, produzindo uma visão quantitativa da seleção, e a avaliação de qualidade permitiu estabelecer filtrar pelos melhores trabalhos selecionados, produzindo uma visão qualitativa da seleção.

A partir deste montante de informações, foi possível alcançar diferentes abstrações, especialmente a relação de técnicas mais utilizadas dentre os trabalhos selecionados.

No princípio, após a aplicação da *string* de busca nas bases selecionados, obtivemos **223** artigos, sendo **99** unidades da ACM Digital Library e **124** unidades da IEEE Digital Library, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32 – Quantidade de Artigos por Fontes de Busca

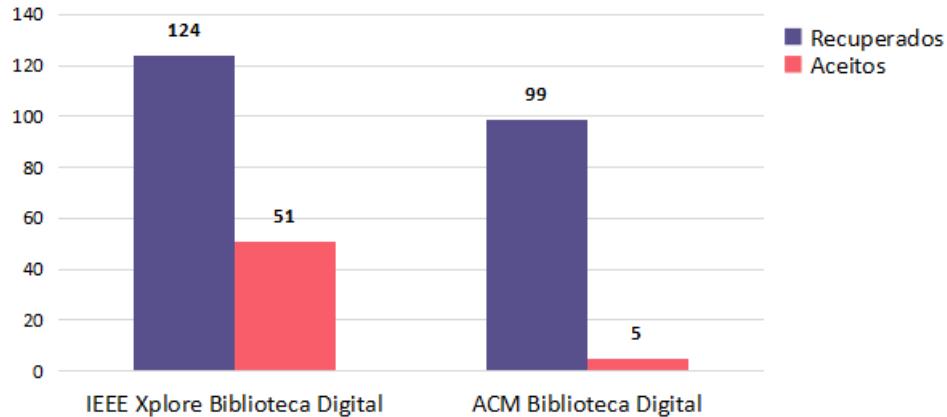


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após aplicar as restrições do protocolo, incluindo os critérios de inclusão e exclusão,

este conjunto foi reduzido para 56 artigos, sendo 51 da IEEE Digital Library e somente 5 da ACM Digital Library, conforme mostrado na Figura 33.

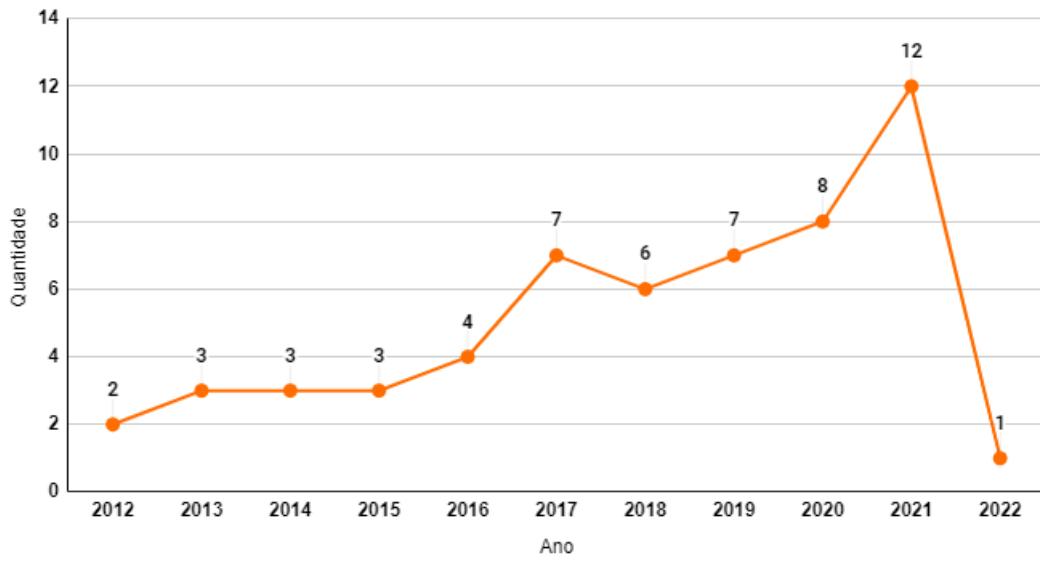
Figura 33 – Artigos encontrados e selecionados por base de pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Durante a busca, não foi aplicado nenhum filtro por período de datas da publicação, no entanto, um dos critérios de exclusão incluía a restrição por data entre 2012 e 2022 (até 10 anos de diferença), o que influenciou o resultado da seleção. A Figura 34 apresenta a quantidade de artigos recuperados, respectivos aos anos de publicação.

Figura 34 – Artigos Finais por Ano



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.4.1 Técnicas Predominantes

A partir dos recortes feitos nos trabalhos, buscando por informações relativas às técnicas utilizadas nas soluções, foi possível obter uma relação das técnicas mais frequentes, entre os 56 trabalhos analisados.

A Tabela 7 apresenta quais foram as 10 técnicas mais comuns, utilizadas nas soluções dos trabalhos, e a quantidade de vezes que foram utilizadas (uma vez por trabalho).

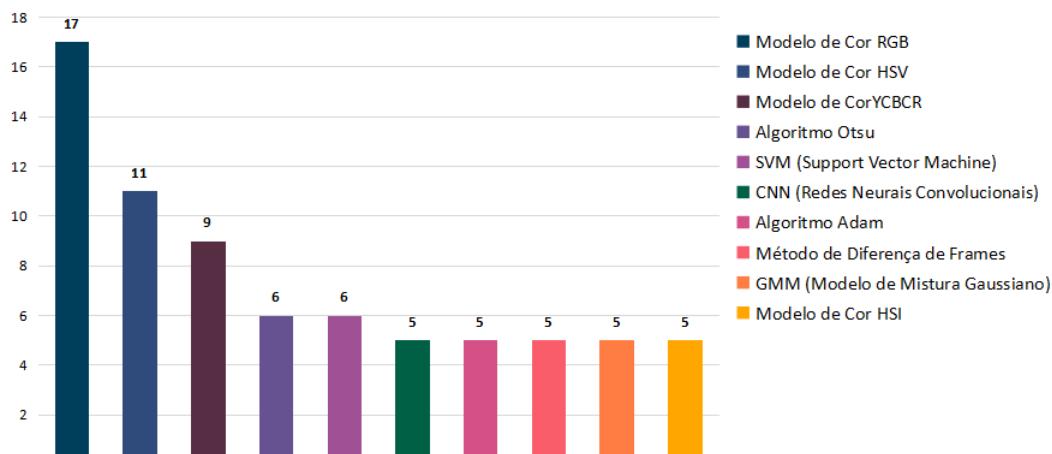
Tabela 7 – Resultados obtidos nos três cenários de busca.

Técnicas	Quantidade
Modelo de Cor RGB	17
Modelo de Cor HSV	11
Modelo de Cor YCBCR	9
Algoritmo Otsu	6
SVM (Support Vector Machine)	6
CNN (Convolutional Neural Network)	5
Algoritmo Adam	5
Método de Diferença de Frames	5
GMM (Modelo de Mistura Gausiano)	5
Modelo de Cor HSI	5

Fonte: Elaborada pelo Autor

A Figura 35 apresenta a mesma informação, porém no formato de um gráfico de barras.

Figura 35 – Proporção entre as 10 Técnicas mais Citadas

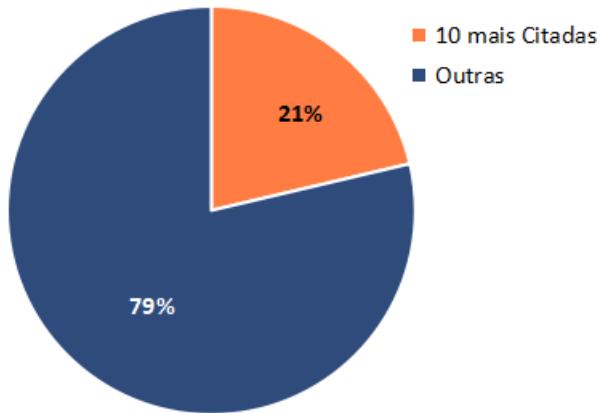


Fonte: Elaborado pelo Autor

As 10 técnicas mais frequentes correspondem à **21%** do total de técnicas localizadas nos 56 trabalhos, sendo **347** citações às técnicas (222 técnicas diferentes), enquanto as demais citações correspondem à **79%**.

A Figura 36 apresenta essa proporção no formato de um gráfico de pizza.

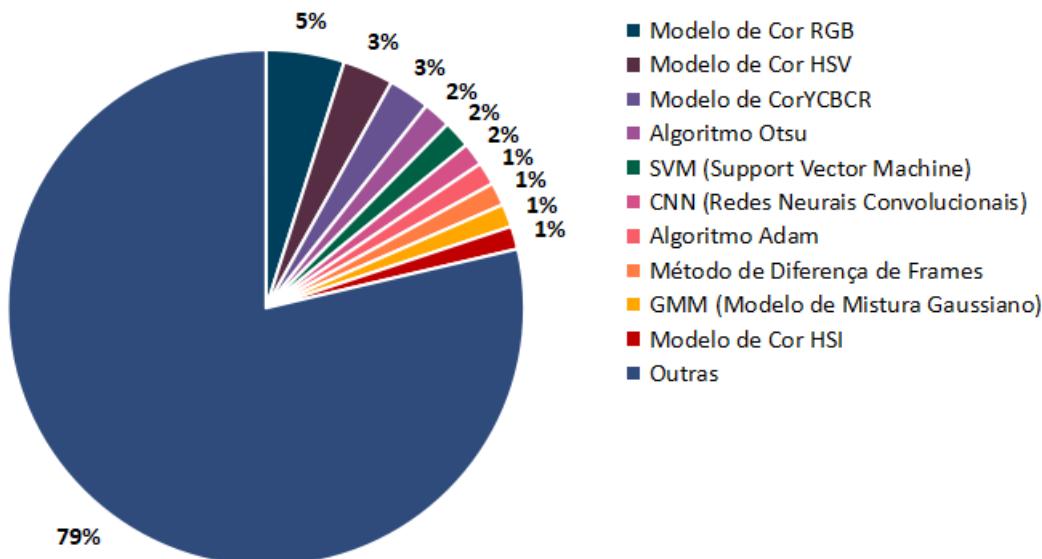
Figura 36 – Proporção das Técnicas mais Citadas



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 37 apresenta a mesma informação, porém agora apresentando a proporção respectiva às técnicas mais frequentes em relação as demais localizadas.

Figura 37 – Proporção de cada Técnica mais Citada



Fonte: Elaborado pelo Autor

É possível inferir que porque os modelos de cores são predominantes, entre as técnicas utilizadas, é devido ao fator principal utilizado na detecção de objetos de interesse em uma imagem, sendo ele a cor. Neste caso, os modelos de cores são utilizados no algoritmo para diferenciar os pixels das chamas do restante do cenário, utilizando valores de cores característicos do fogo.

4.4.2 Artigos por Técnica

Em relação aos artigos, todos apresentaram pelo menos uma técnica de segmentação de imagens utilizada no contexto de detecção de incêndios. No entanto, predominantemente

os trabalhos combinam diferentes técnicas para obter resultados cada vez mais precisos.

Considerando essa informação, a Tabela 8 apresenta a proporção das 10 técnicas mais utilizadas em relação a frequência que aparecem nos trabalhos selecionados.

Tabela 8 – Técnicas de segmentação identificadas nos trabalhos selecionados.

Técnicas	Quantidade	Porcentagem (%)
RGB Color Space	17	22,97
HSV Color Space	11	14,85
YCBQR Color Space	9	12,16
OTSU Algorithm	6	8,11
Support Vector Machine	6	8,11
Convolutional Neural Network	5	6,76
Adam Algorithm	5	6,76
Frame Difference Method	5	6,76
Gaussian Mixture Model	5	6,76
HSI Color Space	5	6,76
Total	74	100,00

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A quantidade de vezes de uma técnica representa a quantidade de artigos em que ela foi localizada, portanto, é possível dizer que inúmeros artigos utilizaram uma mesma técnica em comum. Nesta análise, é possível observar que 56,74% dos artigos adotaram espaços de cores no desenvolvimento das soluções.

4.4.3 Artigos por Avaliação de Qualidade

O índice de qualidade atribuído para cada trabalho permitiu localizar os trabalhos que apresentavam maior grau de satisfação, conforme os objetivos do projeto. A partir desta escala, foram selecionados 5 trabalhos dentre aqueles que obtiveram o maior índice, para realizar uma análise mais aprofundada sobre o seu conteúdo. O Quadro 9 apresenta quais foram os cinco primeiros trabalhos melhores avaliados e a quantidade de técnicas utilizadas em cada trabalho.

Quadro 9 – Artigos com maior pontuação segundo a Avaliação de Qualidade.

Artigos	Autor(es)	Qtd. Técnicas
Image processing based forest fire detection using YCbCr color model	(PREMAL; VINS-LEY, 2014)	5
Smoke Detection Method Based on LBP and SVM from Surveillance Camera	(RUSSO; DEB; TISTA; ISLAM, 2018)	5
Fire Detection System Using Color and Flickering Behaviour of Fire with Kekre's LUV Color Space	(THEPADE; DEWAN; PRITAM; CHATURVEDI, 2018)	13
ATT Squeeze U-Net: A Lightweight Network for Forest Fire Detection and Recognition	(ZHANG; ZHU; WANG; LING, 2021)	13
Detection and Segmentation of Power Line Fires in Videos	(SHI; WANG; GAO; YU, 2020)	13

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nos 5 melhores artigos também podemos encontrar algumas das técnicas mais utilizadas, localizadas entre os trabalhos selecionados, como apresenta a Tabela 9, utilizando a seguinte representação:

- 1: *Image processing based forest fire detection using YCbCr color model;*
- 2: *Smoke Detection Method Based on LBP and SVM from Surveillance Camera;*
- 3: *Fire Detection System Using Color and Flickering Behaviour of Fire with Kekre's LUV Color Space;*
- 4: *ATT Squeeze U-Net: A Lightweight Network for Forest Fire Detection and Recognition;*
- 5: *Detection and Segmentation of Power Line Fires in Videos.*

Tabela 9 – Relação dos melhores artigos com as técnicas mais utilizadas

Técnicas	Trabalhos				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Modelo de Cor RGB					
Modelo de Cor HSV					
Modelo de Cor YCbCr	X				X
Algoritmo Otsu					
SVM (Support Vector Machine)		X			
CNN (Redes Neurais Convolucionais)					
Algoritmo Adam					
Método de Diferença de Frames			X		
GMM (Modelo de Mistura Gaussiano)					X
Modelo de Cor HSI					

Fonte: Elaborado pelo Autor.

No entanto, mesmo que alguns trabalhos utilizem técnicas em comum em seus projetos, cada abordagem traz uma solução única, devido à combinação entre diferentes técnicas e à qual contexto elas foram aplicadas. Essa conclusão foi possível através da análise minuciosa de cada artigo destacado.

4.4.3.1 Escopo dos Trabalhos com melhor Índice de Qualidade

Nesta seção estão descritos os cinco primeiros trabalhos com as maiores pontuações derivadas da avaliação de qualidade, sendo que todos atingiram a pontuação máxima de 15 pontos, a partir de 5 perguntas.

4.4.3.1.1 *Image processing based forest fire detection using YCbCr color mode*

Uma classificação de pixels de fogo com base no processamento de imagem com o espaço de cores YCbCr é sugerida neste artigo. Os autores ponderam que o espaço de cores YCbCr é superior a outros espaços de cores como RGB, pois é possível distinguir entre luminância e crominância.

A técnica sugerida considera as características estatísticas da imagem do incêndio no espaço de cores YCbCr, como média e desvio padrão, e isola os pixels tanto da chama do incêndio quanto do núcleo do incêndio de alta temperatura.

Para categorizar os pixels de fogo, ele emprega quatro critérios. A região da chama do fogo é segmentada usando duas regras, e o centro do fogo de alta temperatura é segmentado usando duas regras.

Três conjuntos de fotos são usados para testar a abordagem. O fogo está presente no set de abertura. O segundo conjunto tem áreas que lembram fogo. O terceiro conjunto consiste em áreas que se assemelham a centros de incêndio.

Após a experimentação, 99,4% dos incêndios são detectados pela abordagem proposta, enquanto 12% dos falsos alarmes são gerados. Por detectar incêndios com maior frequência e produzir menos alarmes falsos, a técnica sugerida é superior conforme as comparações que foram feitas com outros métodos da literatura.

O sistema proposto pode ser utilizado para detecção de incêndios florestais em tempo real, pois possui uma complexidade computacional muito menor.

4.4.3.1.2 *Smoke Detection Method Based on LBP and SVM from Surveillance Camera*

Este artigo descreve uma técnica de detecção de fumaça baseada em câmeras de segurança. A abordagem sugerida é baseada em Support Vector Machines (SVM) e Padrões Binários Locais (LBP) (SVM).

Inicialmente, para remover primeiro o fundo do quadro de entrada, foi usado o algoritmo de filtragem de mediana aproximada. A região de interesse foi então obtida usando a técnica de filtragem baseada em forma. Depois disso, a área é dividida em histogramas de 16×16 pixels e um vetor de recursos é criado calculando os valores de LBP de cada pixel. Os valores LBP são então usados para construir o histograma para cada bloco.

Para fornecer um resultado preciso, os coeficientes de Bhattacharyya também foram usados para avaliar a região de fumaça. A região de interesse foi finalmente identificada pelo SVM como uma imagem de fumaça.

O autor conclui afirmando que as descobertas obtidas com informações de cenários reais demonstram a capacidade da estratégia sugerida de produzir resultados corretos em diversos contextos.

4.4.3.1.3 *Fire Detection System Using Color and Flickering Behaviour of Fire with Kekre's LUV Color Space*

Segundo o autor, é necessário distinguir entre o fogo como um objeto não-fogo e os objetos reais de fogo, a fim de aumentar a precisão do sistema de detecção de incêndio.

Foi sugerido usar o espaço de cores LUV do Kekre para identificar a existência de pixels de fogo. L dá o brilho da imagem colorida, enquanto U e V dão os valores de cromaticidade. Em uma imagem colorida, um valor negativo para U ou V indica que o componente vermelho é mais proeminente do que o componente verde ou o componente azul.

Com o espaço de cores LUV da Kekre, o sistema sugerido funciona com mais precisão e eficiência ao detectar incêndios, e a cintilação da chama é usada para validar o movimento do fogo. A tendência da chama de piscar resulta da tendência dos pixels de

aumentar e diminuir com o tempo. Após a identificação da chama, os quadros de incêndio candidatos são examinados quanto à atividade de cintilação. Como resultado, há menos alarmes falsos.

A câmera deve gravar vídeo para que a abordagem funcione. Cada quadro coletado é examinado quanto à presença de chamas. Para determinar se a cor de fogo está presente no quadro, o espaço de cores LUV de Kekre é empregado. Após validar que há fogo na imagem, as bordas do fogo são extraídas do quadro original usando uma técnica de detecção de borda. Os resultados de ambas as técnicas são integrados e as zonas de fundo e de incêndio são separadas usando o algoritmo de segmentação de imagem. Ao contar os pixels de incêndio encontrados em quadros de incêndio prospectivos, o crescimento do incêndio é reconhecido.

Em comparação com os espaços de cores RGB e YCbCr, o espaço de cores LUV produz melhores resultados devido à qualidade cintilante do fogo. A precisão da detecção de incêndio no espaço de cores RGB foi de 66,67%. Oitenta por cento de precisão foi alcançada usando o modelo de cores HSV e YCbCr. Uma precisão média de 93,33% foi alcançada pelo método de detecção de incêndio sugerido usando o espaço de cores LUV do Kekre.

4.4.3.1.4 *ATT-Squeeze U-Net: A Lightweight Network for Forest Fire Detection and Recognition*

Os autores propuseram um algoritmo a partir de dois módulos, um para segmentar e extrair a forma do incêndio e um módulo de classificação, classificando a área de incêndio em verdadeiro ou falso.

Foi criado um codificador-decodificador assimétrico baseado em SqueezeNet com uma arquitetura em forma de U chamado Attention U-Net e SqueezeNet (ATT Squeeze U-Net), que serve principalmente como extrator e discriminador de incêndios florestais.

Este modelo destaca recursos úteis e oculta coisas que não são relevantes usando um método de atenção. Traços salientes são destacados desta forma para tornar a estratégia sugerida eficaz na segmentação de incêndios florestais com um conjunto limitado de critérios.

Foi adotado um módulo de classificação, chamado M4. O método proposto tenta segmentar todas as áreas semelhantes a fogo, e então identificar se são realmente fogo ou não pelo módulo de classificação.

Mesmo que situações de incêndio bastante precisas tenham sido alertadas e as zonas de incêndio possam ser segregadas com precisão, ainda pode haver certos limites em termos de detecção completa de incêndio. Aspectos temporais, sendo igualmente importantes na detecção de incêndios, mas podem ser difíceis de avaliar, incluem formação de chamas,

propagação do fogo e flutuação de cor. Além disso, condições climáticas variadas, como neblina e neve, também podem dificultar o reconhecimento de redes.

Os resultados dos experimentos demonstraram que a arquitetura sugerida produziu precisão de segmentação confiável e reconhecimento competitivo.

4.4.3.1.5 Detection and Segmentation of Power Line Fires in Videos

A fim de identificar automaticamente a existência de incêndio e informações sobre sua magnitude e posição, uma estrutura híbrida de detecção de incêndio baseada em uma rede neural convolucional profunda (CNN) e um detector de incêndio baseado em pixel é sugerida nesta pesquisa.

Como um classificador binário, a CNN profunda pré-treinada pode identificar a presença de fogo. O detector de incêndio baseado em pixel é feito para localizar os pixels de incêndio, que representam o tamanho e a posição do incêndio nos quadros de vídeo.

A estrutura sugerida tem duas partes importantes em particular. Uma rede residual de 50 camadas (ResNet50), o elemento inicial, categoriza certos quadros de vídeo como mostrando imagens de fogo ou não. Para determinar a posição e o tamanho do incêndio, o segundo componente usa as fotos de incêndio de entrada do primeiro componente.

A primeira etapa envolve identificar se o quadro atual em um determinado vídeo é uma imagem de fogo ou não. Para identificar um incêndio em um determinado quadro de vídeo, o ResNet50 funciona como um classificador binário.

O detector de incêndio baseado em pixel avaliará esse quadro na segunda etapa se for uma imagem de incêndio.

A zona de incêndio correspondente em um quadro de vídeo de incêndio é localizada pelo detector de incêndio baseado em pixel. A detecção de cor, detecção de movimento, detecção de cintilação e verificação de variação espacial são os quatro módulos básicos que compõem o detector de incêndio baseado em pixel.

Os pixels de fogo são aqueles que passam nos testes de todos os quatro módulos. A máscara da área de incêndio gerada pelo detector de incêndio baseado em pixels mostra o tamanho e a localização de um incêndio.

Seis filmes reais são usados em estudos de caso para verificar a estrutura sugerida. Em vídeos de teste de incêndio, é demonstrado que a abordagem sugerida pode localizar pixels de incêndio com eficiência e detectar incêndios.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho mapeou técnicas de segmentação de imagens aplicadas em sistemas de detecção de incêndios florestais por meio de uma revisão sistemática da literatura considerando o período de 2012 à 2022.

Como reforçado pelos trabalhos selecionados, a visão computacional é importante na detecção de incêndios florestais com o objetivo de reduzir os danos causados. O avanço da tecnologia de câmeras digitais e processamento de vídeo levou à substituição dos sistemas antigos por sistemas baseados em visão computacional, que usam três processos de processamento de imagem para detecção de incêndios: categorização de pixels de chama, segmentação de objetos e análise de regiões candidatas. A segmentação de imagem é crucial para determinar o desempenho do sistema e pode ser aprimorada pelos algoritmos adaptáveis. No entanto, as técnicas podem ter limitações e altas taxas de falso-positivo devido à complexidade da segmentação da imagem, condições climáticas e aspectos temporais.

No geral, detecção automática de incêndios usa técnicas de segmentação de imagem para destacar objetos indicativos de fogo, considerando características como cores de pixels, fundo da imagem e bordas. Essas técnicas são ferramentas para extrair informações relevantes.

Conforme o resultado do projeto, as técnicas mais utilizadas na literatura para detecção de incêndios se concentram na análise da coloração dos pixels, usando modelos de cores como RGB, HSV e YCBCR, para destacar objetos da cena. O objetivo é identificar a presença de chamas através de sua coloração característica, diferenciando entre objetos de Fogo e Não-Fogo.

De qualquer forma, é importante comentar que, mesmo uma técnica sendo comum, ela não é necessariamente a melhor. Na verdade, a eficiência de um algoritmo ou tecnologia na detecção de incêndios florestais é determinada pela combinação harmônica de diferentes técnicas. Este projeto, forneceu material de apoio que permite implementar técnicas nos mais diversos contextos de detecção, com baixo custo de processamento e complexidade.

A respeito da realização da revisão sistemática, a plataforma Parsifal proporcionou maior facilidade na construção dos componentes da revisão, permitindo um avanço mais rápido do projeto. Além disso, a plataforma também orienta como utilizar o método PICOC, ferramenta de orientação na definição das palavras-chave e sinônimos que compõem a *string* de busca e na elaboração das questões de pesquisa, ambos presentes no protocolo de busca.

Como trabalhos futuros, a intenção é reunir as técnicas de segmentação de imagens e detecção de incêndios mais utilizadas nos trabalhos selecionados e combiná-las em um único protótipo, a fim de criar um modelo de algoritmo genérico que utiliza as técnicas mais populares para a detecção de incêndios florestais.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J.; SOARES, C.; TORRES, J.; SOBRAL, P.; MOREIRA, R. S. Color algorithm for flame exposure (CAFE). In: **2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)**. IEEE, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.23919/cisti.2018.8399412>>. Citado na página 68.
- ASATRYAN, D.; HOVSEPYAN, S. Method for fire and smoke detection in monitored forest areas. In: **2015 Computer Science and Information Technologies (CSIT)**. IEEE, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/csitechnol.2015.7358254>>. Citado na página 68.
- AVULA, S. B.; BADRI, S. J.; P, G. R. A novel forest fire detection system using fuzzy entropy optimized thresholding and STN-based CNN. In: **2020 International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS)**. IEEE, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/comsnets48256.2020.9027347>>. Citado na página 67.
- BBC. Incêndios florestais pelo mundo são os maiores 'em escala e em emissões de CO₂' em 18 anos. 2020. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-54202546>>. Acesso em: 05 de dez. de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- BOUGUETTAYA, A.; ZARZOUR, H.; TABERKIT, A. M.; KECHIDA, A. A review on early wildfire detection from unmanned aerial vehicles using deep learning-based computer vision algorithms. Elsevier BV, v. 190, p. 108309, 2022. Citado na página 46.
- CHAOXIA, C.; SHANG, W.; ZHANG, F. Information-guided flame detection based on faster r-CNN. **IEEE Access**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 8, p. 58923–58932, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/access.2020.2982994>>. Citado na página 67.
- CHATURVEDI, S.; KHANNA, P.; OJHA, A. Comparative analysis of traditional and deep learning techniques for industrial and wildfire smoke segmentation. In: **2021 Sixth International Conference on Image Information Processing (ICIIP)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iciip53038.2021.9702600>>. Citado na página 66.
- CHEN, K.; CHENG, Y.; BAI, H.; MOU, C.; ZHANG, Y. Research on image fire detection based on support vector machine. In: **2019 9th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (ICFSFPE)**. IEEE, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icfsfpe48751.2019.9055795>>. Citado na página 68.
- CHOWDHURY, N.; MUSHFIQ, D. R.; CHOWDHURY, A. E. Computer vision and smoke sensor based fire detection system. In: **2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)**. IEEE, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icasert.2019.8934458>>. Citado na página 67.

DANG-NGOC, H.; NGUYEN-TRUNG, H. Aerial forest fire surveillance - evaluation of forest fire detection model using aerial videos. In: **2019 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)**. IEEE, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/atc.2019.8924547>>. Citado na página 67.

DUTTA, S.; GHOSH, S. Forest fire detection using combined architecture of separable convolution and image processing. In: **2021 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics (CAIDA)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/caida51941.2021.9425170>>. Citado na página 67.

ERTEL, W. **Introduction to Artificial Intelligence**. [S.l.]: Springer, 2018. v. 1. ISBN 978-33-1958-487-4. Citado na página 31.

FREITAS, V.; SEGATTO, W. **Parsifal**. 2021. Disponível em: <<https://parsif.al/>>. Acesso em: 11 de fev. de 2022. Citado 17 vezes nas páginas 24, 25, 27, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 49 e 63.

FRIZZI, S.; BOUCHOUICHA, M.; MOREAU, E. Comparison of two semantic segmentation databases for smoke detection. In: **2021 22nd IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)**. [S.l.: s.n.], 2021. v. 1, p. 856–863. Citado na página 67.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, FapUNIFESP (SciELO), v. 23, n. 1, p. 183–184, mar. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.5123/s1679-49742014000100018>>. Citado na página 25.

GAUR, A.; SINGH, A.; KUMAR, A.; KUMAR, A.; KAPOOR, K. Video flame and smoke based fire detection algorithms: A literature review. Springer Science and Business Media LLC, v. 56, n. 5, p. 1943–1980, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.

GAZETA. **Queimadas destroem mata em Vargem, São João e Prata**. 2020. Disponível em: <<https://www.gazetavg.com.br/2020/09/14/queimadas-destroem-mata-em-vargem-sao-joao-e-prata/>>. Acesso em: 05 de dez. de 2020. Citado na página 19.

GHALI, R.; AKHLOUFI, M. A.; JMAL, M.; MSEDDI, W. S.; ATTIA, R. Forest fires segmentation using deep convolutional neural networks. In: **2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/smcc52423.2021.9658905>>. Citado na página 67.

GONZALEZ, A.; ZUNIGA, M.; NIKULIN, C.; CARVAJAL, G.; CARDENAS, D.; PEDRAZA, M.; FERNANDEZ, C.; MUÑOZ, R.; CASTRO, N.; ROSALES, B.; QUINTEROS, J.; RAUH, F.; AKHLOUFI, M. Accurate fire detection through fully convolutional network. In: **7th Latin American Conference on Networked and Electronic Media (LACNEM 2017)**. Institution of Engineering and Technology, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1049/ic.2017.0026>>. Citado na página 68.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. C. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. ISBN 9788576054016. Citado 4 vezes nas páginas 20, 29, 30 e 31.

- GU, C.; TIAN, D.; CONG, Y.; ZHANG, Y.; WANG, S. Flame detection based on spatio-temporal covariance matrix. In: **2016 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)**. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icarm.2016.7606904>>. Citado na página 68.
- HARKAT, H.; NASCIMENTO, J. M.; BERNARDINO, A. Fire detection using residual deeplabv3 model. In: **2021 Telecoms Conference (ConfTELE)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/conftele50222.2021.9435459>>. Citado na página 68.
- HOSSAIN, F. M. A.; ZHANG, Y. Development of new efficient transposed convolution techniques for flame segmentation from UAV-captured images. In: **2021 3rd International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iai53119.2021.9619442>>. Citado na página 69.
- JAMALI, M.; KARIMI, N.; SAMAVI, S. Saliency based fire detection using texture and color features. In: **2020 28th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)**. IEEE, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icee50131.2020.9260659>>. Citado na página 66.
- JAYASHREE, D.; PAVITHRA, S.; VAISHALI, G.; VIDHYA, J. System to detect fire under surveillanced area. In: **2017 Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM)**. IEEE, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iconstem.2017.8261285>>. Citado na página 69.
- JIN, S.; LU, X. Vision-based forest fire detection using machine learning. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Application Engineering - CSAE 2019**. ACM Press, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3331453.3361659>>. Citado na página 69.
- KHAN, R. A.; UDDIN, J.; CORRAYA, S. Real-time fire detection using enhanced color segmentation and novel foreground extraction. In: **2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)**. IEEE, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icaee.2017.8255405>>. Citado na página 70.
- KHATAMI, A.; MIRGHASEMI, S.; KHOSRAVI, A.; NAHAVANDI, S. A new color space based on k-medoids clustering for fire detection. In: **2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**. IEEE, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/smcb.2015.481>>. Citado na página 67.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. 2007. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- LEI, S.; FANGFEI, S.; TENG, W.; LEPING, B.; XINGUO, H. A new fire detection method based on the centroid variety of consecutive frames. In: **2017 2nd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)**. IEEE, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icivc.2017.7984594>>. Citado na página 69.
- LI, G.; LU, G.; YAN, Y. Fire detection using stereoscopic imaging and image processing techniques. In: **2014 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST) Proceedings**. IEEE, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ist.2014.6958440>>. Citado na página 69.

LI, J.; BU, W.; CHEN, J. A fast flame recognition algorithm based on tracking and marking. In: **2020 Chinese Automation Congress (CAC)**. IEEE, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/cac51589.2020.9326932>>. Citado na página 67.

LI, W.; XIAOBO, S.; JUN, C.; YING, L. Research on forest fire image recognition algorithm based on color feature statistics. In: **2021 6th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icsp51882.2021.9408856>>. Citado na página 68.

MAHEEN, J. B.; ANEESH, R. P. Machine learning algorithm for fire detection using color correlogram. In: **2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT)**. IEEE, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icicict46008.2019.8993246>>. Citado na página 69.

MAJID, S.; ALENEZI, F.; MASOOD, S.; AHMAD, M.; GüNDÜZ, E. S.; POLAT, K. Attention based CNN model for fire detection and localization in real-world images. **Expert Systems with Applications**, Elsevier BV, v. 189, p. 116114, mar. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116114>>. Citado na página 69.

MALBOG, M. A. F.; LACATAN, L. L.; DELLOSA, R. M.; AUSTRIA, Y. D.; CUNANAN, C. F. Edge detection comparison of hybrid feature extraction for combustible fire segmentation: A canny vs sobel performance analysis. In: **2020 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)**. IEEE, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icsgrc49013.2020.9232632>>. Citado na página 68.

MOHAPATRA, A.; TRINH, T. Early wildfire detection technologies in practice—a review. MDPI AG, v. 14, n. 19, p. 12270, 2022. Citado na página 46.

MSEDDI, W. S.; GHALI, R.; JMAL, M.; ATTIA, R. Fire detection and segmentation using YOLOv5 and u-NET. In: **2021 29th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.23919/eusipco54536.2021.9616026>>. Citado na página 68.

MUHAMMAD, K.; AHMAD, J.; BAIK, S. W. Early fire detection using convolutional neural networks during surveillance for effective disaster management. **Neurocomputing**, Elsevier BV, v. 288, p. 30–42, maio 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.04.083>>. Citado na página 70.

NGUYEN-TI, T.; NGUYEN-PHUC, T.; DO-HONG, T. Fire detection based on video processing method. In: **2013 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2013)**. IEEE, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/atc.2013.6698087>>. Citado na página 69.

NIKNEJAD, M.; BERNARDINO, A. Attention on classification for fire segmentation. In: **2021 20th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icmla52953.2021.00103>>. Citado na página 69.

PREMAL, C. E.; VINSLEY, S. S. Image processing based forest fire detection using YCbCr colour model. In: **2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014]**. IEEE, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iccpct.2014.7054883>>. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 76.

- PRITAM, D.; DEWAN, J. H. Detection of fire using image processing techniques with LUV color space. In: **2017 2nd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)**. IEEE, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/i2ct.2017.8226309>>. Citado na página 69.
- QIAN, Z.; XIAO-JUN, L.; LEI, H. Video image fire recognition based on color space and moving object detection. In: **2020 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Engineering (ICAICE)**. IEEE, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icaice51518.2020.00077>>. Citado na página 67.
- RANGAN, M. K.; RAKESH, S. M.; SANDEEP, G. S. P.; SUTTUR, C. S. A computer vision based approach for detection of fire and direction control for enhanced operation of fire fighting robot. In: **2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)**. IEEE, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/care.2013.6733740>>. Citado na página 67.
- RAPOSO, M.; SILVA, L.; BELLON, O.; AMORIM, L.; CRUZ, R. Ferramentas de treinamento das emoções para pessoas com esquizofrenia: Revisão sistemática/ emotion training tools for people with schizophrenia: Systematic review. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 94900–94913, 01 2020. Citado 3 vezes nas páginas 24, 26 e 27.
- RIYADI, D. S.; AISYAH, S. Vision based flame detection system for surveillance camera. In: **2018 International Conference on Applied Engineering (ICAE)**. IEEE, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/incae.2018.8579405>>. Citado na página 69.
- RUSSO, A. U.; DEB, K.; TISTA, S. C.; ISLAM, A. Smoke detection method based on LBP and SVM from surveillance camera. In: **2018 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Material and Electronic Engineering (IC4ME2)**. IEEE, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ic4me2.2018.8465661>>. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 76.
- SANTOS, C. M. da C.; PIMENTA, C. A. de M.; NOBRE, M. R. C. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, FapUNIFESP (SciELO), v. 15, n. 3, p. 508–511, jun. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0104-11692007000300023>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- SHI, J.; WANG, W.; GAO, Y.; YU, N. Detection and segmentation of power line fires in videos. In: **2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)**. IEEE, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/isgt45199.2020.9087642>>. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 76.
- SHIDIK, G. F.; ADNAN, F. N.; SUPRIYANTO, C.; PRAMUNENDAR, R. A.; ANDONO, P. N. Multi color feature, background subtraction and time frame selection for fire detection. In: **2013 International Conference on Robotics, Biomimetics, Intelligent Computational Systems**. IEEE, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/robionetics.2013.6743589>>. Citado na página 66.
- SOUZA, B. M. N. de; FACON, J. A fire color mapping-based segmentation: Fire pixel segmentation approach. In: **2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)**. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/aiccsa.2016.7945741>>. Citado na página 68.

SOUZA, G. B.; ALVES, G. M.; LEVADA, A. L. M.; CRUVINEL, P. E.; MARANA, A. N. A graph-based approach for contextual image segmentation. In: **2016 29th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)**. [S.l.]: IEEE, 2016. Citado na página 32.

STEFFENS, C. R.; BOTELHO, S. S. D. C.; RODRIGUES, R. N. A texture driven approach for visible spectrum fire detection on mobile robots. In: **2016 XIII Latin American Robotics Symposium and IV Brazilian Robotics Symposium (LARS/SBR)**. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/lars-sbr.2016.50>>. Citado na página 68.

SZELISKI, R. **Computer Vision: Algorithms and Applications**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2010. v. 1. ISBN 978-18-4882-935-0. Citado 3 vezes nas páginas 20, 31 e 32.

THEPADE, S. D.; DEWAN, J. H.; PRITAM, D.; CHATURVEDI, R. Fire detection system using color and flickering behaviour of fire with kekre's LUV color space. In: **2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)**. IEEE, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iccubea.2018.8697454>>. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 76.

T.L., D.; B., M.; M.N., V.; DHARANI, A. An efficient and optimal clustering algorithm for real-time forest fire prediction with. In: **2014 International Conference on Communication and Signal Processing**. IEEE, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iccsp.2014.6949852>>. Citado na página 69.

TSETSOS, V.; SEKKAS, O.; TSOUTBLEKAS, G.; HADJIEYTHYMIADES, S.; ZERVAS, E. A forest fire detection system: The meleager approach. In: **2012 16th Panhellenic Conference on Informatics**. IEEE, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/pci.2012.62>>. Citado na página 69.

WANG, G.; ZHANG, Y.; QU, Y.; CHEN, Y.; MAQSOOD, H. Early forest fire region segmentation based on deep learning. In: **2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)**. IEEE, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ccdc.2019.8833125>>. Citado na página 67.

WANG, W.; ZHOU, H. Fire detection based on flame color and area. In: **2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)**. IEEE, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/csae.2012.6272943>>. Citado na página 69.

WILSON, S.; VARGHESE, S. P.; NIKHIL, G. A.; MANOLEKSHMI, I.; RAJI, P. G. A comprehensive study on fire detection. In: **2018 Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS)**. IEEE, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icedss.2018.8544329>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 68.

XIONG, W. Research on fire detection and image information processing system based on image processing. In: **2020 International Conference on Advance in Ambient Computing and Intelligence (ICAACI)**. IEEE, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icaaci50733.2020.00027>>. Citado na página 68.

- XU, Z.; WANGUO, W.; XINRUI, L.; BIN, L.; YUAN, T. Flame and smoke detection in substation based on wavelet analysis and convolution neural network. In: **Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Innovation in Artificial Intelligence - ICIAI 2019**. ACM Press, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3319921.3319962>>. Citado na página 69.
- YANG, B.; PAN, H.; HE, S.; HAN, K.; ZHAO, X. Forest fire thermal infrared image segmentation based on k-v model. In: **2021 IEEE 24th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/cscwd49262.2021.9437739>>. Citado na página 68.
- YE, S.; BAI, Z.; CHEN, H.; BOHUSH, R.; ABLAMEYKO, S. An effective algorithm to detect both smoke and flame using color and wavelet analysis. **Pattern Recognition and Image Analysis**, Pleiades Publishing Ltd, v. 27, n. 1, p. 131–138, jan. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1134/s1054661817010138>>. Citado na página 69.
- YUAN, C.; LIU, Z.; ZHANG, Y. UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques. In: **2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)**. IEEE, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icuas.2015.7152345>>. Citado na página 67.
- YUAN, C.; LIU, Z.; ZHANG, Y. Vision-based forest fire detection in aerial images for firefighting using UAVs. In: **2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)**. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icuas.2016.7502546>>. Citado na página 68.
- YUAN, C.; LIU, Z.; ZHANG, Y. Fire detection using infrared images for uav-based forest fire surveillance. In: **2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 567–572. Citado na página 67.
- ZHANG, H.; ZHENG, Z.; ZHU, M.; ZHOU, F.; HE, Y.; LI, Z.; ZHOU, G.; WANG, Z.; LI, M.; JIANG, L.; LIU, Q.; LI, X. The reprocessing for himawari-8 based on deep learning. In: **2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS**. IEEE, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/igarss47720.2021.9553821>>. Citado na página 68.
- ZHANG, J.; ZHU, H.; WANG, P.; LING, X. ATT squeeze u-net: A lightweight network for forest fire detection and recognition. **IEEE Access**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 9, p. 10858–10870, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/access.2021.3050628>>. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 76.