

Jeanderson Gomes de Sousa
Orientador: Flávio Henrique Duarte de Araújo

Desenvolvimento de um sistema de autenticação por reconhecimento facial

Picos - PI
4 de novembro de 2023

Jeanderson Gomes de Sousa
Orientador: Flávio Henrique Duarte de Araújo

Desenvolvimento de um sistema de autenticação por reconhecimento facial

Monografia submetida ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Heuvídio Nunes de Barros
Bacharelado em Sistemas de Informação

Picos - PI
4 de novembro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca José Albano de Macêdo

S725d Sousa, Jeanderson Gomes de.
Desenvolvimento de um sistema de autenticação por reconhecimento facial./ Jeanderson Gomes de Sousa. – 2024.
38 f.

1 Arquivo em PDF
Indexado no catálogo *online* da biblioteca José Albano de Macêdo-CSHNB
Aberto a pesquisadores, com restrições da Biblioteca

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Piauí, Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação, Picos, 2024.
“Orientadora: Prof. Flávio Henrique Duarte de Araújo”

1. Tecnologia. 2. Reconhecimento facial. 3. Identificação facial.
I. Sousa, Jeanderson Gomes de. II. Araújo, Flávio H. Duarte de.
III. Título.

CDD 609.81

Elaborado por Sérvulo Fernandes da Silva Neto CRB 15/603

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTENTICAÇÃO POR
RECONHECIMENTO FACIAL

JEANDERSON GOMES DE SOUSA

Monografia aprovada como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas
de Informação.

Data de Aprovação

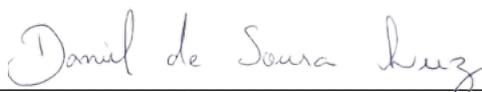
Picos – PI, 01 de fevereiro de 2024



Prof. Flávio Henrique Duarte de Araújo



Prof. Thiago José Barbosa Lima



Prof. Daniel de Sousa Luz

Agradecimentos

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por todas as bênçãos que me concedeu ao longo da minha jornada. Sua presença constante e sua força me sustentaram nos momentos mais difíceis, e me ajudaram a alcançar meus objetivos.

Agradeço também aos meus pais, Leusa Arlinda Gomes de Sousa e Gilberto José de Sousa, pelo amor, apoio e educação que me deram. Vocês são as bases que me mantêm firme e me fazem ser a pessoa que sou hoje.

Agradeço ao meu professor orientador, Flávio Henrique Duarte de Araújo, por ter me guiado e me ajudado a crescer tanto na carreira acadêmica quanto na profissional. Sua orientação foi essencial para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, cada um, sem exceções, me passou ensinamentos que ultrapassam o conhecimento técnico. Vocês me ajudaram a desenvolver o meu pensamento crítico e a construir uma visão mais ampla do mundo.

Agradeço à minha namorada, Sthefany Moura, pela parceria, pela paciência, pelo apoio nos momentos mais difíceis e por me manter calmo nos momentos de muita ansiedade. Você é a minha companheira e o meu maior amor.

Agradeço aos meus amigos, Saul Rocha, Eurico Delmondes, Filipe Mateus, Francisco José, José Welison, Lucas Silva, Mateus Assis, Marcos Eduardo, que fizeram parte do meu caminho durante a minha formação acadêmica. Sem vocês, esse caminho seria muito mais laborioso e menos agradável. Agradeço o companheirismo, os momentos de descontração e as risadas que compartilhamos. Sou grato por todos que fizeram parte da minha jornada e me ajudaram a chegar até aqui. Sem vocês, não seria a pessoa que sou hoje.

*O mais profundo desejo de conhecimentos da humanidade é justificção suficiente para a
nossa procura contínua.*

Stephen Hawking

Resumo

O reconhecimento facial vem se destacando por conta da sua ampla utilização, por exemplo, em sistemas de identificação automática de pessoas em redes sociais, sistemas de segurança capazes de identificar alvos em grandes concentrações de pessoas e sistemas de autenticação por meio do reconhecimento facial. Sua ampla utilização pode ser explicada graças ao seu destaque em meio a outras tecnologias de identificação, possuindo mais benefícios desejáveis. E também se mostra favorável atualmente, graças ao risco comprovado da COVID-19, evitando sua proliferação, substituindo métodos de identificação que necessitam de contato físico com algum equipamento. Existem diversos trabalhos que tratam do desenvolvimento de algoritmos para autenticação por reconhecimento facial. Esses trabalhos relatam as utilidades do reconhecimento facial, por exemplo, para garantir a segurança no acesso a dados e a locais de acesso restrito e também evidenciam a aplicabilidade do reconhecimento facial em diversas áreas, como segurança e redes sociais. No entanto, não existem ferramentas gratuitas com interface gráfica de fácil manuseio, que englobam esses algoritmos de autenticação por reconhecimento facial. Neste trabalho foi desenvolvida uma solução intuitiva que possibilita a identificação de pessoas por reconhecimento facial. Para isso, foi utilizada redes neurais pré-treinadas na base de imagens VGG-Faces dataset. Em seguida, foram comparados seis métodos de pré-processamento de imagens, são eles: escala de cinza, filtro gaussiano, filtro da mediana, filtro linear, equalização de histograma e transformação logarítmica. Os testes foram realizados utilizando o descritor VGG Faces e o método de reconhecimento Ball tree. Durante os testes, foram utilizadas as bases de imagens AT&T, FEI, CASIA-WebFace-cropped e UWA Hyperspectral. Além de empregar as bases de dados em seu formato original, cada conjunto de dados passou por modificações que envolvem a introdução de ruídos artificiais, tais como o ruído gaussiano e o ruído de sal e pimenta. Os resultados dos testes indicam que o filtro da mediana foi o método que apresentou melhores resultados em imagens com ruídos tipo Sal e Pimenta, alcançando uma acurácia de 0,93. O filtro da mediana é uma técnica simples e eficaz que pode ser utilizada para melhorar o desempenho de sistemas de reconhecimento facial em condições que apresentem os ruídos testados. Além disso, foi desenvolvido um sistema com interface gráfica, de forma intuitiva, que realiza a autenticação de pessoas por meio do reconhecimento facial de imagens pré-armazenadas.

Palavras-chaves: Reconhecimento facial; Pré-processamento; VGG Face.

Abstract

Facial recognition has stood out due to its wide use, for example, in systems for automatically identifying people on social networks, security systems that detect targets in crowds and authentication systems using facial recognition. Its wide use can be explained thanks to its prominence among other identification technologies, having more desirable benefits. And it is also currently favorable, thanks to the proven risk of COVID-19, preventing its proliferation, replacing identification methods that require physical contact with some equipment. There are several works that deal with the development of algorithms for facial recognition authentication. These works report the uses of facial recognition, for example, to ensure secure access to data and restricted access locations, and also highlight the applicability of facial recognition in various areas, such as security and social networks. However, there are no free tools with an easy-to-use graphical interface that include these algorithms for facial recognition authentication. This work aims to develop an intuitive solution that enables the identification of people through facial recognition. For this, pré-trained neural networks will be used on the VGG-Faces dataset images. Next, six image pré-processing methods will be compared, they are: gray scale, gaussian filter, median filter, linear filter, histogram equalization and logarithmic transformation. The tests will be carried out using the VGG Faces descriptor and the Ball tree recognition method. During the tests, the AT&T, FEI, CASIA-WebFace-cropped and UWA Hyperspectral image bases were used. In addition to using the databases in their original format, each dataset underwent modifications that involve the introduction of artificial noises, such as Gaussian noise and salt and pepper noise. The test results indicate that the median filter is the method that produces best results in images with salt and pepper noise, achieving an accuracy of 0.93. The median filter is a simple and effective technique that can be used to improve the performance of facial recognition systems in conditions that present the noise tested. Furthermore, it was possible to develop a system with an intuitive graphical user interface (GUI), which authenticates people through facial recognition of previously registered images.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Etapas fundamentais da visão computacional.	14
Figura 2 – Exemplo de detecção facial.	17
Figura 3 – Arquitetura da rede VGG-Very-Deep-16.	18
Figura 4 – Ilustração de consulta usando Ball Tree.	19
Figura 5 – Metodologia proposta.	25
Figura 6 – Exemplos de imagens presentes nas bases de dados.	26
Figura 7 – Resultados do filtro da mediana.	31
Figura 8 – Janela de cadastro do administrador.	33
Figura 9 – Janela de login do administrador.	33
Figura 10 – Janela de menu inicial.	33
Figura 11 – Janela de cadastro dos dados do indivíduo.	34
Figura 12 – Realizando a operação de identificação de Indivíduo.	34
Figura 13 – Realizando a operação de cadastro de Indivíduo.	35
Figura 14 – Janela de edição de indivíduo.	35

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resumo dos trabalhos relacionados	23
Tabela 2 – Resultados de acurácia obtidos.	30
Tabela 3 – Requisitos Não Funcionais	31
Tabela 4 – Requisitos Funcionais	32

Lista de abreviaturas e siglas

PIN	Numero de identificação pessoal (<i>Personal identification number</i>)
RFID	Identificação por rádio frequência (<i>Radio-Frequency IDentification</i>)
COVID	Coronavirus
IOT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
GUI	Interface Gráfica de Usuario (<i>Graphical User Interface</i>)
CNN	Redes Neurais Convolucionais (<i>Convolutional Neural Network</i>)
HOG	Histograma de Gradiente Orientado (<i>Histogram of Oriented Gradients</i>)
PCA	Análise de Componentes Principais (<i>Principal Component Analysis</i>)
VGG	<i>Visual Geometry Group</i>
K-NN	K Vizinho mais próximo (<i>K Nearest Neighbor</i>)
AT&T	<i>American Telephone and Telegraph</i>
FEI	Faculdade de Engenharia Industrial
UWA	<i>University of Western Australia</i>
NINTEC	Núcleo de Inovação Tecnológica
ICA	Análise de Componentes Independentes
LPQ	Quantização de Fase Local
LBP	Análise de Padrão Binário Local
CF	Filtros de Correlação
DREAM	<i>Equivariant Mapping</i>
CFP	<i>Celebrities in Frontal-Profile</i>
IJB-A	<i>IARPA Janus Benchmark A</i>
MB-LBP	<i>Padrão Binário Local Multi Bloco</i>
LBP	<i>Padrão Binário Local</i>
FA-GAN	<i>Face Augmentation Generative Adversarial Network</i>

CBAM	<i>Convolutional Block Attention Module</i>
LFW	<i>Labeled Faces in the Wild</i>
CA-LFW	<i>Cross-age LFW</i>
CP-LFW	<i>CrossPose LFW</i>
CFP-FP	<i>Celebrities in Frontal-Profile in the Wild</i>
IJB-B	<i>IARPA Janus Benchmark-B</i>
IJB-C	<i>IARPA Janus Benchmark-C</i>

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Objetivos Gerais e Específicos	12
1.2	Disposição do Trabalho	13
2	Referencial Teórico	14
2.1	Visão computacional	14
2.2	Reconhecimento Facial	16
2.3	Detecção Facial	16
2.4	Redes Neurais Convolucionais	17
2.5	Extração de Características	17
2.5.1	VGG-Face	18
2.6	Identificação da Face	18
2.6.1	Ball Tree	19
2.7	Interface gráfica	19
3	Trabalhos Relacionados	21
4	Metodologia Proposta	24
4.1	Aquisição das Imagens	24
4.2	Pré-processamento das Imagens	27
4.3	Extração das Características	27
4.4	Reconhecimento	27
4.5	Construção da ferramenta	27
5	Resultados e Discussão	29
5.1	Validação das Técnicas de Pré-processamento	29
5.2	Requisitos Funcionais e Não Funcionais	31
5.3	Funcionalidades do Sistema	32
6	Conclusão	36
6.1	Trabalhos futuros	36
7	Registros e Publicações	37
	Referências	38

1 Introdução

Conforme o processo de desenvolvimento de novas tecnologias vem se tornando cada vez mais rápido e comum na sociedade, grande parte delas passa a ser um fator presente no cotidiano das pessoas, como foi o caso da visão computacional, mais especificamente o reconhecimento facial. De maneira simplificada, essa tecnologia possibilita a identificação e distinção de indivíduos através de seus traços faciais, em fotos, vídeos ou em tempo real (EKMAN, 1993). Sendo assim o reconhecimento facial torna características biométricas em credenciais únicas para o usuário. Suas principais etapas consistem em: Detecção da face, identificação de pontos e criação do descritor da face, busca no banco de dados e reconhecimento facial.

O reconhecimento facial possui aplicabilidade em diversas áreas como por exemplo: identificação automática de pessoas em redes sociais, sistemas de segurança que detectam alvos em aglomerados de multidões e autenticação de indivíduos. Um exemplo de método de segurança amplamente empregado de identificação é a senha. No entanto, por conta do avanço das tecnologias de informação e algoritmos de segurança, muitos sistemas estão começando a usar muitos fatores biométricos para tarefas de reconhecimento (OUERHANI; JRIDI; ALFALOU, 2010). Esses fatores biométricos permitem identificar a identidade das pessoas por suas características fisiológicas ou comportamentais. Eles também oferecem várias vantagens, por exemplo, a presença de uma pessoa na frente do sensor é suficiente e não há mais a necessidade de lembrar várias senhas ou códigos confidenciais. Por esta razão, nos últimos anos, o reconhecimento facial tornou-se um dos sistemas de autenticação biométrica mais utilizados, devido ao seu potencial em muitas aplicações e campos (vigilância, segurança doméstica, controle de fronteiras e assim por diante) (WANG; ALFALOU; BROSSEAU, 2017).

O reconhecimento facial também apresenta vantagens em relação aos métodos de autenticação de identidade tradicionais, como os que utilizam PIN (Personal identification number) ou cartões com tecnologia RFID (*Radio-Frequency IDentification*), já que na autenticação biométrica as características não podem ser roubadas, perdidas ou esquecidas (PHILLIPS et al., 1998). Também se destaca em relação a outros sistemas de autenticação por biometria, por não necessitar contato com qualquer tipo de equipamento, fundamental para a identificação por digitais, e ser minimamente invasiva, quando comparada a identificação por meio de padrões presentes na íris do olho. Também se mostra favorável ao momento atual, proporcionado pela COVID-19, evitando sua proliferação, substituindo métodos de identificação que exigem contato físico com superfícies suscetíveis à contaminação. Esses e outros ganhos fazem com que esses métodos venham sendo adotado por diversas organizações públicas e privadas em diversos países (MITRA; SAVVIDES; BROCKWELL, 2007).

Diversos trabalhos estudam novos algoritmos de identificação por reconhecimento facial, alguns exemplos são: *Face Recognition at a Distance for a Stand-Alone Access Control System* (LEE et al., 2020a); *Enhancing the Authentication Mechanism of Social Media Websites using Face Detection* (AHMAD et al., 2019); e *IoT Based Facial Recognition Security System*. Nestes trabalhos são feitas comparações de novos métodos de reconhecimento facial em relação ao estado da arte. Também são destacadas as utilidades do reconhecimento facial, como, por exemplo: garantir a segurança ao acessar a dados e locais de acesso restrito a determinados indivíduos, evidenciando a sua aplicabilidade do reconhecimento facial em diversas áreas, como segurança e redes sociais. Entretanto, não é abordado o processo de implementação desses algoritmos em uma ferramenta gratuita que forneça uma interface gráfica intuitiva englobando esses algoritmos.

Dessa forma, sistema de autenticação por reconhecimento facial pode otimizar operações de identificação e controle de acesso. Seus algoritmos também se mostraram mais vantajosos em relação aos outros métodos de identificação. Por esse motivo, o desenvolvimento de um sistema gratuito de reconhecimento facial disponível à comunidade se mostra ser de extrema valia.

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Com base no exposto acima, o objetivo deste trabalho foi criar um sistema que possibilite a identificação de pessoas, por meio do reconhecimento facial de imagens já armazenadas no banco de dados. Para alcançarmos esse objetivo, foi desenvolvida uma plataforma com uma interface gráfica de usuário (*Graphical User Interface - GUI*) intuitiva. Este projeto possui 4 objetivos específicos descritos a seguir:

1. Aplicar conceitos de *deep learning* a imagens faciais visando extrair características relevantes para identificação de pessoas;
2. Analisar arquiteturas existentes na literatura, e realizar testes utilizando conjuntos de imagens faciais disponíveis publicamente;
3. Analisar técnicas de pré-processamento de imagens visando aprimorar o desempenho nos procedimentos de reconhecimento facial.
4. Desenvolver uma metodologia de identificação de pessoas, que possa ser aplicada ao sistema proposto por esse trabalho, e implementar uma plataforma intuitiva que facilite a operação do sistema;

1.2 Disposição do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, além da introdução. O Capítulo 2 apresenta os conceitos e técnicas essenciais, facilitando a compreensão do trabalho, bem como as métricas utilizadas. O Capítulo 3 apresenta uma breve revisão da literatura sobre os principais trabalhos relacionados. O Capítulo 4 descreve a metodologia adotada, incluindo as principais abordagens para cada etapa do desenvolvimento. O Capítulo 5, por sua vez, explora os resultados obtidos juntamente com outras informações pertinentes. O Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e sugere possíveis trabalhos futuros. E por fim, o Capítulo 7 apresenta as publicações e registros derivadas dos resultados obtidos neste trabalho.

2 Referencial Teórico

Esta seção explica os conceitos fundamentais para a compreensão do projeto. Na Subseção 2.1, será realizado um contexto a respeito do conceito de visão computacional. Na Subseção 2.2, será apresentado o conceito de reconhecimento facial, acompanhado pela descrição das operações inerentes aos estágios fundamentais de um sistema de reconhecimento facial robusto. A Subseção 2.3 abordará sobre detecção facial. O Subseção 2.4 se dedicará à contextualização das redes neurais. Prosseguindo para o Subseção 2.5, será discutida a etapa de extração de características no processo de reconhecimento facial, incluindo uma abordagem sobre o extrator de características *VGG-Face*. Na sequência, o Subseção 2.6 abordará a etapa de identificação facial, explorando o método *Ball Tree*. Finalizando, o Subseção 2.7 se concentrará nos conceitos relacionados à interface gráfica.

2.1 Visão computacional

Tecnologias emergentes como inteligência artificial, *blockchain* e *big data* transformaram a vida cotidiana das pessoas nos últimos anos. Dentro desse panorama, destaca-se a visão computacional, uma subárea dessas tecnologias, que tem mostrado um vasto leque de possibilidades na resolução de problemas por meio do reconhecimento de padrões em imagens.

O processo de visão computacional é composto por cinco etapas fundamentais que são: aquisição ou digitalização de imagens, pré-processamento, segmentação, extração de dados e classificação (REHEM; TRINDADE, 2009), como mostra na Figura 1. A aquisição de imagens é feita através da utilização de bases de dados públicas ou privadas. Algoritmos de *denoising* e *super-resolution* são usados na etapa de pré-processamento para remover ruídos ou melhorar a qualidade das imagens.



Figura 1 – Etapas fundamentais da visão computacional.

Algumas das técnicas de pré-processamento consistem em aplicação de filtros, que compensam a iluminação e qualidade das imagens capturadas pela câmera, melhorando a qualidade dessas imagens (HAN et al., 2013). Alguns exemplos de filtros são: escala de cinza, filtro gaussiano, filtro da mediana, filtro linear, equalização de histograma e transformação logarítmica.

Escala de cinza: Esse método consiste em converter as imagens em escala de cinza. Seu objetivo é de realçar características das fotos que não estão facilmente visíveis em escala RGB (JAIN, 1995).

Filtro gaussiano: Também conhecido como filtro de distribuição normal, possui a função de suavização de imagens, reduzindo o impacto de ruídos de alta frequência. A filtragem consiste no cálculo do valor do píxel central da máscara na imagem. A função utiliza os parâmetros média e desvio padrão obtidos usando o conjunto de píxeis da área coberta pela máscara (JESUS; JR, 2015).

Filtro da mediana: É um método de transformação bastante usado em suavização de ruídos do tipo impulsivo. Sua filtragem consiste em atribuir o valor da mediana ao píxel central, usando os valores do conjunto de píxeis da área coberta pela máscara (JAIN, 1995). A aplicação do filtro da mediana é especialmente útil na remoção de ruídos.

Filtro linear: Esse método possibilita a suavização que realça detalhes da imagem e minimizam efeitos de ruído, sem alterar a média da imagem (JAIN, 1995).

Equalização de histograma: Função de mapeamento baseado na função de distribuição acumulada. A imagem resultante possui valores do histograma próximos a uma distribuição uniforme, realçando-a, já que os seus píxeis são distribuídos para preencher o máximo do intervalo da faixa de níveis de cinza da imagem (KIM; KIM; HWANG, 2001).

Transformações logarítmicas de intensidade: Método que realiza o mapeamento de uma determinada faixa de valores, aumentando o contraste das áreas com baixas intensidades e diminuindo o contraste das áreas com altas intensidades (SAVVIDES; KUMAR, 2003).

Técnicas de identificação de regiões de interesse são utilizadas na segmentação. Descritores são empregados na extração de características de uma imagem com base em informações de baixo nível, tais como cor, textura e formas contidas na imagem extraíndo suas características (PENATTI; TORRES, 2008). Na etapa de classificação, os vetores são usados para fazer comparações baseadas em métricas de distância ou cálculos de similaridade entre diferentes vetores de características (TORRES; FALCAO, 2006). Técnicas de aprendizado profundo têm sido usadas recentemente em várias etapas de um projeto de visão computacional.

Em meio a grande possibilidades de resolver problemas utilizando visão computacional, o reconhecimento facial ganhou destaque, podendo ser utilizado em sistemas como identificação automática de pessoas em redes sociais, sistemas de segurança que detectam alvos em grandes grupos de pessoas e sistemas de autenticação baseados em reconhecimento facial.

2.2 Reconhecimento Facial

Os sistemas de reconhecimento facial visam assemelhar as máquinas aos seres humanos, aproximando o mundo da automação (SCHROFF; KALENICHENKO; PHILBIN, 2015). Apesar do reconhecimento facial ser relativamente simples para os humanos, fazer com que as máquinas tenham capacidade de identificar rostos em imagens, compreender suas características faciais, armazená-las e reconhecê-las posteriormente representa uma tarefa desafiadora.

O reconhecimento facial é uma tecnologia que pode identificar com precisão um indivíduo com base em suas características faciais. Este sistema pode ser usado visando detectá-los em imagens, vídeos ou em tempo real (HUANG et al., 2020). Métodos tradicionais, como filtragem de respostas, histogramas de códigos de caracteres e distribuição de átomos de dicionários, distinguem rostos humanos usando representações de uma ou ambas as câmeras. Métodos de aprendizado profundo, como o da CNN, empregam uma cascata de várias unidades de processamento extraindo e alterando dados.

Para localizar rostos em fotografias ou vídeos, é inicialmente empregado um detector de rostos. As faces são alinhadas às coordenadas canônicas normalizadas usando um detector de ponto de referência facial. Essas fotos de rosto alinhadas são utilizadas para criar o módulo Reconhecimento Facial. Além disso, antes que os recursos sejam inseridos no módulo de reconhecimento facial, é garantido que o rosto esteja ativo e não falsificado. O desenvolvimento de um sistema abrangente de reconhecimento facial, três etapas básicas são usadas: detecção facial, extração de características e identificação da face (NAPOLEÓN; ALFALOU, 2017), que será discutido nas seções a seguir.

2.3 Detecção Facial

A fase de detecção de face é usada para detectar e localizar a imagem de face humana obtida pelo sistema. O sistema de reconhecimento facial começa com a identificação de rostos humanos em uma imagem específica. O objetivo desta etapa é detectar e delimitar os rostos humanos em uma imagem de entrada, como mostra na Figura 2. Variações na iluminação e na expressão do rosto podem dificultar a detecção precisa do rosto.

A detecção facial desempenha um papel essencial na robustez do sistema de reconhecimento facial. Muitas técnicas são usadas na identificação e localização de rostos humanos em imagem, como o detector Viola-Jones (VIOLA; JONES, 2001), histograma de gradiente orientado (HOG) (OUERHANI; ALFALOU; BROSSEAU, 2017) e análise de componentes principais (PCA) (SEO; MILANFAR, 2011). Além disso, a fase de detecção de rosto pode ser usada para classificação de vídeo e imagem, detecção de objetos (DU; SU; CAI, 2009), detecção de região de interesse (CALONDER et al., 2011) e assim por diante.

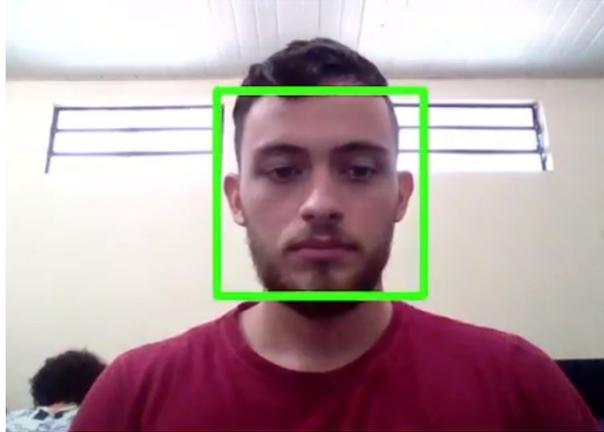


Figura 2 – Exemplo de detecção facial.

2.4 Redes Neurais Convolucionais

As Redes Neurais Convolucionais (CNN) representam provavelmente o modelo mais reconhecido e amplamente utilizado no âmbito do *Deep Learning* na atualidade. O que caracteriza esse tipo de rede é a sua composição essencialmente formada por camadas convolucionais, que processam as entradas levando em consideração campos receptivos locais. Adicionalmente, incorporam operações conhecidas como pooling, que têm a responsabilidade de reduzir a dimensionalidade espacial das representações. A principal aplicação das CNNs é no processamento de informações visuais, especialmente em relação a imagens, visto que a convolução possibilita a filtragem dessas imagens levando em conta sua estrutura bidimensional (PONTI; COSTA, 2018).

2.5 Extração de Características

A etapa de extração de recursos é usada para extrair os vetores de recursos de qualquer rosto humano encontrado na primeira etapa. O principal objetivo desta etapa é extrair as características das imagens de rosto detectadas durante a fase de detecção. Essa etapa retrata um rosto com um conjunto de características conhecido como "assinatura", que descreve as características mais proeminentes da imagem do rosto, como boca, nariz e olhos, bem como sua distribuição geométrica (SMACH et al., 2007).

Cada rosto se distingue por sua estrutura, tamanho e forma, que ajudam a identificá-lo. Várias técnicas incluem a extração do formato da boca, olhos ou nariz para determinar o tamanho e a distância do rosto (NAPOLÉON; ALFALOU, 2017). HOG (WANG et al., 2019), Eigenface, análise de componentes independentes (ICA), análise discriminante linear (LDA) (SEO; MILANFAR, 2011), transformação de caracteres invariantes de escala (SIFT) (VINAY et al., 2015), filtro gabor, quantização de fase local (LPQ) (HUSSAIN; NAPOLÉON; JURIE, 2012), wavelets de Haar, transformadas de Fourier (SMACH et al., 2007), análise de padrão binário local (LBP) (HAJIRASSOULIHA et al., 2013) e o

modelo VGG-Face sem a camada SoftMax (PARKHI; VEDALDI; ZISSERMAN, 2015), são comumente usados na extração de características de face.

2.5.1 VGG-Face

A VGG-Face CNN é um descritor pré-treinado com base na arquitetura VGG-Very-Deep-16, composta por 22 camadas e 37 unidades de profundidade. A Figura 3 mostra a arquitetura da rede. Seu treinamento foi realizado com a base de imagens de face VGG-Faces dataset, composta por imagens de 2.622 celebridades distintas e avaliado pelos datasets *Labeled Faces in the Wild* e *YouTube Faces*. Na extração de características das imagens, a última camada, denominada *SoftMax*, foi eliminada, resultando na obtenção da representação da imagem, um vetor bidimensional composto por 4.096 características. (PARKHI; VEDALDI; ZISSERMAN, 2015).



Figura 3 – Arquitetura da rede VGG-Very-Deep-16.

Fonte: *Blog Sefik Ilkin Serengil* (SERENGIL, 2018)

2.6 Identificação da Face

Finalmente, a fase de identificação da face que inclui extrair recursos do rosto humano e compará-los com todos os bancos de dados de rosto para determinar a identidade do rosto. Esta etapa compara os recursos extraídos durante a fase de extração de recursos com faces conhecidas armazenadas em um banco de dados específico. Em relação aos métodos de abordagem de reconhecimento facial, existem 2 tipos, verificação facial e identificação facial.

Verificação facial: Consistem na identificação de uma pessoa através de suas características faciais. Para fazer isso, o sistema de verificação facial primeiro coleta uma imagem da face da pessoa. Essa imagem pode ser tirada por uma câmera, como a de um smartphone ou de um sistema de segurança. Em seguida, o sistema de verificação facial compara a imagem coletada com uma imagem armazenada da pessoa. Se as duas imagens forem semelhantes o suficiente, o sistema conclui que a pessoa é quem diz ser (CHU et al., 2005).

Identificação facial: Durante a fase de identificação facial, um rosto de teste é comparado a um grupo de rostos visando determinar a correspondência provável. Durante

a fase de identificação, uma face de teste é comparada a uma face conhecida no banco de dados com o intuito de tomar uma decisão sobre aceitação ou rejeição (PASANDI, 2014). Filtros de correlação (CFs) (NAPOLÉON; ALFALOU, 2014), rede neural convolucional (CNN) (SCHROFF; KALENICHENKO; PHILBIN, 2015), k-vizinho mais próximo (K-NN) (BELI; GUO, 2017) e *Ball Tree* (DOLATSHAH; HADIAN; MINAEI-BIDGOLI, 2015) são todos conhecidos por resolverem efetivamente este problema.

2.6.1 Ball Tree

O método *Ball Tree* é uma árvore de pesquisa eficiente empregada em consultas envolvendo a distância euclidiana. Cada nó desta árvore representa uma bola, ou seja, uma esfera que contém um subconjunto dos pontos que serão posteriormente pesquisados. Na classificação do indivíduo testado, é selecionada a representação com a menor distância em relação à imagem de consulta (BELI; GUO, 2017). A Figura 4 ilustra como uma consulta de intervalo é processada em uma *Ball Tree*.

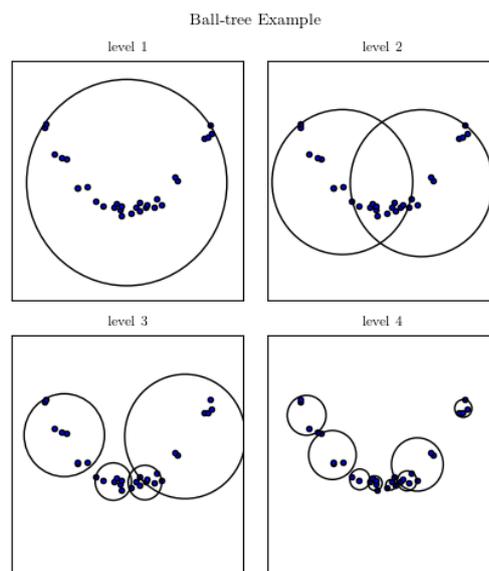


Figura 4 – Ilustração de consulta usando *Ball Tree*.

Fonte: *Blog astroML* (C ANDREW J. CONNOLLY, 2012)

2.7 Interface gráfica

Na criação de uma ferramenta que identifique pessoas, por meio do reconhecimento facial, é necessário desenvolver uma plataforma com uma interface gráfica de usuário (GUI). Durante o desenvolvimento de uma interface gráfica, é possível empregar bibliotecas como PyQt5, que representa uma coleção de ligações Python para a versão 5 do aplicativo Qt da *The Qt Company*.

A biblioteca PyQt5 é uma boa opção para desenvolver GUIs com Python, pois fornece uma coleção de classes e funções que simplificam o processo. Qt é uma coleção de bibliotecas C++ e ferramentas de desenvolvimento que incluem gráficos de interface do usuário, redes, encadeamentos, expressões regulares, bancos de dados SQL, SVG, OpenGL, XML, configurações de usuários e aplicativos, serviços de posicionamento e localização e comunicações de curto alcance.

3 Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão apresentados os trabalhos que têm alguma relação com aplicações de reconhecimento facial. A Tabela 1 mostra o resumo dos trabalhos relacionados de acordo com 3 critérios: método, base de imagens e proposta.

Em (GUNAWAN; HALIMAWAN; SUHARJITO, 2021), foi proposto um método de reconhecimento facial leve e resiliente baseado em uma combinação do bloco *Deep Residual Equivariant Mapping* (DREAM) de última geração e da arquitetura MobileFaceNets, que resolve o problema de redução da precisão dos modelos de deep learning quanto a variação de posturas. A metodologia de comparação dos resultados foi feita por meio da avaliação do tempo de processamento, tamanho do arquivo e acurácia. Eles usaram os conjuntos de dados Celebrities in Frontal-Profile (CFP) e IARPA Janus Benchmark A (IJB-A). A acurácia da avaliação do modelo proposto foi de 99% usando fotos frontais e 93.075% usando fotos em perfil.

No artigo (LEE et al., 2020b), propôs a utilização da técnica AdaBoost em conjunto com o descritor Padrão Binário Local Multi Bloco (MB-LBP) para a detecção facial, além de empregar MB-LBP em conjunto com o filtro Gabor para a descrição das características faciais. Esse método alcançou uma precisão de 97,27% ao usar o banco de imagens E-face e 99,06% ao usar o banco de imagens XM2VTS.

No artigo (BAH; MING, 2020), foi proposto um método que combina o algoritmo Padrão Binário Local (LBP) com técnicas de processamento de imagem, tais como ajuste de contraste, filtragem bilateral e equalização de histograma. O objetivo dessa combinação é tratar problemas de variação de iluminação, ruído de imagem, escala e postura. O método utilizado atingiu uma taxa de acurácia de 95%.

No artigo (LUO et al., 2021) foi proposto um estudo a respeito do uso da *Face Augmentation Generative Adversarial Network* (FA-GAN). A rede neural proposta tem o intuito de solucionar o problema da má distribuição de dados, presente em bancos de imagens, evitando viés na aprendizagem do modelo. Os modelos também se mostraram mais robustos a uma grande quantidade de dados de treino após a aplicação dessa técnica. Com essas características podemos exemplificar as bases de dados *IARPA Janus Benchmark A* (IJB-A) e o *CASIA-WebFace*. Foi concluído que ao utilizar o FA-GAN, diversos modelos, com algumas ressalvas, obtiveram uma melhoria no seu desempenho, aumentando o percentual de verdadeiro positivo em métodos como o *CoFace* e o *Mobile Face*.

O trabalho (JUNIOR; THOMAZ., 2021), foi dado destaque à situação atual do mundo, onde, por conta da pandemia COVID-19, o uso de máscaras se tornou um dos meios de proteção eficazes de infecções pelo vírus. Porém, essa condição se tornou mais um desafio para os sistemas de reconhecimento facial existentes. A fim de solucionar o problema, é proposta uma abordagem baseada em Convolutional Block Attention Module (CBAM),

abordagem essa que dá foco às regiões ao redor dos olhos. Durante o treinamento foram usadas imagens de situações distintas, uma usando faces sem máscara no treinamento de reconhecer faces mascaradas, e usando faces mascaradas no treinamento de reconhecer faces sem máscara. Os resultados obtidos mostram que a abordagem proposta pode melhorar significativamente o desempenho do reconhecimento de rosto mascarado comparando com outras abordagens já utilizadas e de última geração. Os resultados mostram que nossa abordagem pode aumentar a precisão do reconhecimento em 0,104% no caso onde foi utilizado um recorte nas regiões em destaque igual a 0,9L, 17,427% e 18,507% no caso com recorte de 0,7L.

O trabalho (BAE et al., 2023) propõe um conjunto de imagens de rostos sintéticos em larga escala para reconhecimento facial, o DigiFace-1M. Modelos de reconhecimento facial são treinados em conjuntos de dados massivos que contêm milhões de imagens reais de rostos humanos coletados da web. Muitos desses conjuntos de dados são enviesados em termos de raça, iluminação e outros fatores, o que pode levar a uma baixa precisão de reconhecimento visando grupos sub-representados. Além disso, alguns conjuntos de dados são coletados sem consentimento explícito, levantando preocupações éticas. As imagens sintéticas foram geradas por meio de um pipeline de computação gráfica que capturou uma ampla variedade de características faciais, poses, texturas, expressões, acessórios e ambientes. O conjunto de dados DigiFace-1M, abordado no artigo, fornece uma alternativa sintética em larga escala que é diversificada, realista e livre de preconceitos e preocupações éticas. Comparado com Syn-Face, um método recente treinado em sintético gerado por Generative Adversarial Networks (GAN) rostos, foi reduzida a taxa de erro no LFW em 52,5% (acumulado atrevido de 91,93% para 96,17%). Ajustando a rede em um número menor de imagens de rostos reais alcançamos uma precisão que é comparável aos métodos treinados em milhões de rostos reais imagens.

No artigo (GEORGE et al., 2023), é apresentado o *EdgeFace*, uma rede de reconhecimento facial que é leve e eficiente, inspirada na arquitetura híbrida do *EdgeNeXt*. O *EdgeFace* combina as melhores características de dois tipos de modelos de aprendizado de máquina: CNNs e *Transformers*. Essa combinação de recursos permite que o *EdgeFace* atinja um desempenho de reconhecimento facial excelente, mesmo em dispositivos de ponta com recursos limitados. A rede *EdgeFace* é uma solução de reconhecimento facial leve e eficiente que atende aos requisitos de dispositivos de ponta. Ela é capaz de alcançar alta precisão com baixos custos computacionais e armazenamento. Para avaliar o desempenho do *EdgeFace*, os pesquisadores o testaram em vários conjuntos de dados de benchmarking, incluindo *Labeled Faces in the Wild* (LFW), *Cross-age LFW* (CA-LFW), *CrossPose LFW* (CP-LFW), *Celebrities in Frontal-Profile in the Wild* (CFP-FP) [35], *AgeDB-30*, *IARPA Janus Benchmark-B* (IJB-B) e *IARPA Janus Benchmark-C* (IJB-C). Os modelos foram divididos em dois grupos com base no número de parâmetros: modelos com 2 a 5 milhões de parâmetros e modelos com menos de 2 milhões de parâmetros. O

EdgeFace com 1,77M parâmetros alcança resultados de State-of-the-art com taxas de precisão de 99,73% no LFW, 92,67% no IJB-B e 94,85% no IJB-C. Ele supera outros modelos eficientes com maior complexidade computacional.

Com base nos trabalhos relacionados, foi observado que existem vários projetos dedicados ao desenvolvimento de algoritmos de reconhecimento de faces. Esses estudos discutem os benefícios do reconhecimento facial, mas não abordam o desenvolvimento de ferramentas gratuitas com interfaces gráficas de usuário que incluam esses algoritmos. Como resultado, o objetivo deste projeto é desenvolver um sistema com uma interface gráfica de usuário que passa ser disponibilizada gratuitamente.

Tabela 1 – Resumo dos trabalhos relacionados

TRABALHO	ANO	MÉTODO	BASE DE IMAGENS	OBJETIVO
(LEE et al., 2020b)	2020	AdaBoost junto a um padrão binário local multibloco e MB-LBP juntamente ao Gabor	E-face e banco de imagens XM2VTS	Desenvolver um algoritmo de controle de acesso baseado no reconhecimento facial à distância.
(BAH; MING, 2020)	2020	Padrão Binário Local	Base de dados própria	Solucionar o problema de baixo contraste, ruídos, pose e etc
(GUNAWAN; HALIMAWAN; SUHARJITO, 2021)	2021	Combinação do bloco Deep Residual Equivariant Mapping e da arquitetura MobileFaceNets	Celebrities in Frontal-Profile e IARPA Janus Benchmark A	Solucionar o problema de redução na precisão dos modelos baseados em deep learning, quando há variação de poses.
(LUO et al., 2021)	2021	Face Augmentation Generative Adversarial Network	IARPA Janus Benchmark A e CASIA-WebFace.	Solucionar o problema da má distribuição de dados, presente em bancos de imagens.
(JUNIOR; THOMAZ., 2021)	2021	Convolutional Block Attention Module	SMFRD, CISIA-Webface, AR e Extend Yela B	Desenvolver um método que solucione o problema do uso de máscaras.
(BAE et al., 2023)	2023	Propõe um conjunto de imagens de rostos sintéticos em larga escala para reconhecimento facial, o DigiFace-1M	DigiFace-1M	O objetivo deste trabalho é contornar os desafios de coletar um dataset de imagens de rostos humanos com alta qualidade, diversidade e representatividade, levando em consideração preocupações éticas.
(GEORGE et al., 2023)	2023	Combina as características de dois tipos de modelos de aprendizado de máquina: CNNs e Transformers. Uma rede de reconhecimento facial que é leve e eficiente, inspirada na arquitetura híbrida do EdgeNeXt.	LFW, CA-LFW, CP-LFW, CFP-FP, AgeDB-30, IJB-B e IJB-C	Baixar os custos computacionais e de armazenamento, como também alcança alta precisão de reconhecimento facial.

4 Metodologia Proposta

Esta seção descreve as etapas da metodologia utilizada no desenvolver da ferramenta com interface gráfica intuitiva que permite a identificação de pessoas por meio do reconhecimento facial. Inicialmente, realizou-se o estudo e compreensão das ferramentas empregadas, visando adquirir o conhecimento necessário sobre as tecnologias e ferramentas que serão empregadas para conduzir os experimentos e desenvolver a ferramenta proposta. As tecnologias e ferramentas estudadas nesta etapa foram: análise e tratamento de dados (Python, Numpy, Matplotlib), inteligência artificial, aprendizagem profunda, redes neurais convolucionais, (Sklearn, Tensorflow, Keras), visão computacional (OpenCV, Skimage), reconhecimento facial, (BallTree, VGG-Faces), ferramentas de desenvolvimento de interface gráfica (PyQt5), e manipulação do banco de dados (MongoDB e Pymongo).

Em seguida, procedeu-se com o levantamento bibliográfico. Essa fase compreendeu uma revisão dos algoritmos de detecção e reconhecimento facial. Em seguida, foram selecionados os algoritmos com melhor desempenho em termos de métricas de avaliação e tempo de processamento. Em seguida, foi selecionada a técnica de reconhecimento facial que utiliza o VGG *faces* e *Ball tree* para integrar a ferramenta, pois ele apresentou bom desempenho, disponibilidade do código, acessibilidade de implementação.

Após a seleção das ferramentas e técnicas a serem implementadas, procedeu-se com a construção do método proposto. O método proposto foi dividido em quatro etapas distintas: A primeira consiste na aquisição das imagens. Em seguida, é realizado o pré-processamento das imagens. Com as imagens prontas para serem usadas, a próxima etapa foi a de extração das características através do descritor VGG Faces. A última etapa consiste no reconhecimento do indivíduo com base nas características extraídas do indivíduo cadastrado. O fluxograma da metodologia é apresentado na Figura 5.

Após a validação dos algoritmos, foi realizada a construção da ferramenta que engloba os algoritmos anteriormente mencionados.

4.1 Aquisição das Imagens

Neste tópico, a solução proposta será validada e avaliada utilizando bancos de dados de imagens publicamente disponíveis e imagens pré-cadastradas para verificar o desempenho. Além disso, serão realizados testes em cenários reais. Durante a avaliação do desempenho dos métodos de pré-processamento, foram utilizados quatro conjuntos de dados, são eles:

Base AT&T (American Telephone and Telegraph) *database of faces* (AT&T, 2002), composta de dez imagens diferentes de quarenta indivíduos distintos. Cada indivíduo possui dez fotos tiradas em um ambiente com um fundo escuro homogêneo e em momentos

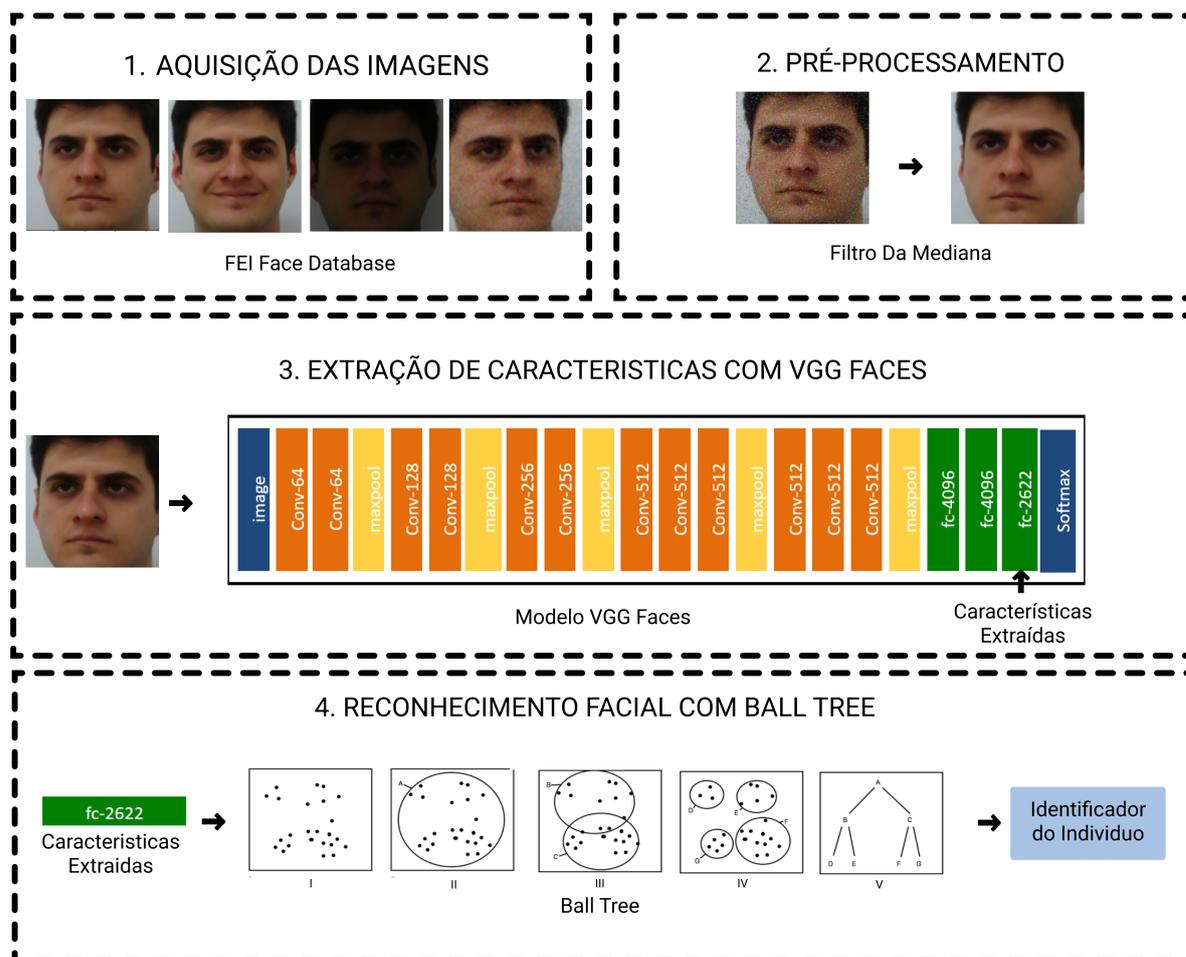


Figura 5 – Metodologia proposta.

Fonte: Montagem a partir dos sites Sefik Ilkin Serengil ([SERENGIL, 2018](#)) e astroML ([C ANDREW J. CONNOLLY, 2012](#)) e base de imagens FEI ([JUNIOR; THOMAZ, 2006](#)).

diferentes, variando a iluminação, expressões faciais como fechamento de olhos, sorrisos e acessórios faciais como óculos.

A segunda base é a FEI (Faculdade de Engenharia Industrial) *Face Database* brasileiro ([JUNIOR; THOMAZ, 2006](#)). Ela é composta por 14 imagens de cada um dos 200 indivíduos distintos, somando um total de 2.800 imagens. Todas as imagens são coloridas e tiradas contra um fundo branco homogêneo em uma posição frontal vertical com rotação de perfil, variando até no máximo de 180 graus.

O conjunto de dados CASIA-WebFace-cropped ([NLPR-CBSR, 2020](#)), é um conjunto de imagens modificadas do banco de dados original CASSIA-WebFace. A sua modificação consiste em extrair e fornecer apenas as imagens das faces dos indivíduos presentes na base de dados original. O conjunto de dados contém 494.414 imagens de rosto de 10.575 identidades reais coletadas da web.

A base de dados UWA (*University of Western Australia*) *Hyperspectral Face Database* ([UZAIR et al., 2023](#)) é composta por imagens de rosto hiperespectral contendo cubos

de imagem hiperespectral de 78 indivíduos obtidas em diferentes sessões. Essa base foi utilizada para simular testes com baixa iluminação.

Para as bases de dados FEI, CASIA-WebFace-cropped e UWA *Hyperspectral*, por serem bancos de dados muito extensos, foi extraída uma amostragem de indivíduos que possibilitasse os testes. Sendo assim a quantidade total de imagens em cada uma das bases foi a seguinte: Base AT&T com 246 imagens, FEI Face Database com 1200 imagens, CASIA-WebFace-cropped com 1200 imagens e UWA *Hyperspectral Face Database* com 468 imagens. Em cada banco de imagens foi utilizada uma proporção de 50% para formar o conjunto de imagens-base destinado ao reconhecimento facial, e 50% para os teste de validação. Na Figura 6 é mostrado exemplos das bases de imagens utilizadas.

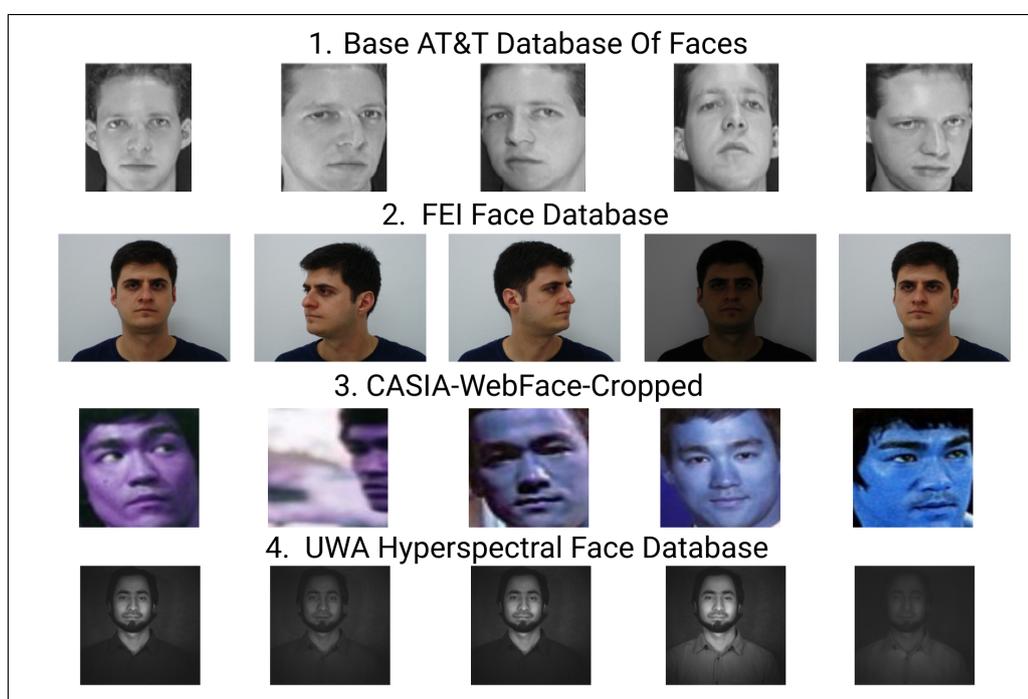


Figura 6 – Exemplos de imagens presentes nas bases de dados.

Fonte: Bases de imagens AT&T (AT&T, 2002), FEI (JUNIOR; THOMAZ, 2006), CASIA-WebFace-Cropped (NLPR-CBSR, 2020), UWA (UZAIR et al., 2023).

E para ampliar a quantidade de tipos de ruídos testados, foram criadas novas bases de imagens adicionando ruídos artificiais às bases anteriormente mencionadas. Os ruídos usados são o ruído gaussiano e o ruído sal e pimenta. O ruído gaussiano consiste em um ruído estatístico que tem uma função de densidade e de probabilidade. Esse ruído se assemelha aos ruídos presentes em fotos com problemas de iluminação ou de alta temperatura durante a aquisição da imagem. O ruído sal e pimenta consiste na distribuição de píxeis corrompidos com valores ou muito altos, ou muito baixos. Esses ruídos são naturalmente gerados por erros durante a transmissão da imagem, ocasionando o rompimento de píxeis.

4.2 Pré-processamento das Imagens

Nesta etapa, com o propósito de determinar a técnica de pré-processamento mais eficiente, foram examinados os efeitos de filtros que permitam a obtenção de imagens faciais em condições que atendam satisfatoriamente às necessidades do processo de extração de características. Para a seleção dos filtros aplicados, foram analisadas os seguintes atributos: minimização do impacto de ruídos (filtro gaussiano e filtro da mediana), realce de características (escala de cinza e filtro linear) e ajustes de contraste (equalização de histograma e transformações logarítmicas de intensidade).

4.3 Extração das Características

Nesse estágio, procedeu-se com a extração de características utilizando o modelo da CNN Vgg *Faces*, que consiste em 22 camadas e 37 unidades de profundidade. Optou-se por utilizar pesos pré-treinados provenientes do conjunto de dados VGG-Faces. Para realizar a extração de características das imagens, foi necessário remover a última camada conhecida como *SoftMax*. Isso resultou na obtenção da representação da imagem, expressa por um vetor bidimensional composto por 4.096 características.

4.4 Reconhecimento

Nesta fase, realiza-se uma comparação entre as características extraídas durante a etapa de extração de características e as faces conhecidas armazenadas em um banco de dados previamente configurado. Especificamente, optou-se pelo método de reconhecimento facial por identificação facial. Durante esse processo, as características faciais do rosto de teste são comparadas com um conjunto de características faciais de rostos previamente armazenados, buscando determinar a correspondência provável.

Para a execução da identificação facial, foi adotado o método Ball Tree, uma árvore de pesquisa eficiente utilizada em consultas que envolvem a distância euclidiana. Na classificação do indivíduo testado, é selecionada a representação com a menor distância em relação à imagem de referência, viabilizando assim a identificação facial com base nessas características.

4.5 Construção da ferramenta

Durante o desenvolvimento foram utilizadas as ferramentas Qt *Designer*, para a construção das interfaces, e *MongoDB Compass*, para o manuseio do banco de dados MongoDB. Após a implementação do algoritmo de reconhecimento facial, foi realizada a integração da

GUI desenvolvida com os algoritmos de visão computacional e aprendizado de máquina, utilizando a biblioteca PyQt5.

5 Resultados e Discussão

O fruto deste projeto se traduz em uma ferramenta de *software* computacional que se destaca por sua flexibilidade, adaptabilidade e interface gráfica, surgindo como uma alternativa robusta para a execução do reconhecimento facial por meio de imagens previamente registradas. Como também a ferramenta desenvolvida por este projeto representa um contraponto às soluções existentes, especialmente sistemas de empresas privadas. A seguir serão apresentados os resultados da etapa de validação das técnicas de pré-processamento. Como também será descrito os requisitos funcionais, e não funcionais. E por fim serão abordadas as funcionalidades das telas do sistema.

5.1 Validação das Técnicas de Pré-processamento

Ao analisar as técnicas de pré-processamento, conduzimos diversos testes utilizando conjuntos de imagens renomados, como AT&T, FEI, CASIA-WebFace-cropped e UWA Hyperspectral. A avaliação foi realizada empregando a métrica de acurácia para garantir uma análise precisa e abrangente. A acurácia representa a divisão do número de acertos pela quantidade de predições realizadas. Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos. A Tabela 2 apresenta, em sua primeira parte, os resultados provenientes das imagens originais, enquanto a segunda parte exibe os resultados após a introdução de ruído gaussiano. Na terceira e quarta parte da Tabela 2, são apresentados os resultados subsequentes à aplicação de ruídos Sal e Pimenta, bem como após a combinação dos dois tipos de ruído mencionados anteriormente. Com o intuito de aprimorar a interpretação das tabelas, destacamos as linhas em que se observam efeitos negativos (indicados pelo símbolo “↓”) e positivos (representados pelo símbolo “↑”). Além disso, enfatizamos em negrito os resultados mais destacados para cada conjunto de dados.

A base CASIA-WebFace foi a que obteve o menor desempenho dentre as avaliadas, nem mesmo a etapa de pré-processamento melhorou os resultados. O principal motivo para esse desempenho de acurácia abaixo de 40%, é relacionado a própria base, pois ela é bem desafiadora e, além disso, algumas imagens foram rotuladas automaticamente, portanto, estão rotuladas incorretamente. Ou seja, essa base de dados necessita de um pré-processamento amostral, não abordado neste trabalho.

Já na base AT&T, foram obtidos os melhores resultados, alcançando um percentual de acerto de 100% nos testes usando equalização de histograma e transformações logarítmicas. O alto desempenho pode ser justificado pela menor complexidade dessa base, pois as imagens foram obtidas em ambientes com iluminação controlada. Esses resultados mostram que realizando apenas o realce das características dos indivíduos é suficiente para uma melhoria nos resultados.

Tabela 2 – Resultados de acurácia obtidos.

Base de dados sem ruído artificiais				
Pré-Processamento	CASIA-WebFace	AT&T	FEI	UWA Hyperspectral
Original	0,38	0,98	0,82	0,99
Escala de Cinza	0,35↓	0,991↑	0,84↑	0,961↓
Gauss.	0,37↓	0,97↓	0,82	1↑
Median Blur	0,37↓	0,95↓	0,81↓	0,98↓
Linear	0,36↓	0,96↓	0,82	0,99
Equali. Histogram	0,32↓	1↑	0,80↓	0,97↓
Transfo. Logarít.	0,28↓	1↑	0,71↓	1↑
Base de dados com ruído Gaussiano				
Pré-Processamento	CASIA-WebFace	AT&T	FEI	UWA Hyperspectral
Original	0,32	0,93	0,79	0,85
Escala de Cinza	0,27↓	0,96↑	0,76↓	0,77↓
Gaussiano	0,33↑	0,94↑	0,77↓	0,79↓
Filtro da mediana	0,32	0,93	0,78↓	0,63↓
Linear	0,34↑	0,92↓	0,77↓	0,87↑
Equali. Histogram	0,29↓	0,93	0,74↓	0,76↓
Transfo. Logarít.	0,18↓	0,98↑	0,71↓	0,80↓
Base de dados com ruídos Sal-e-Pimenta				
Pré-Processamento	CASIA-WebFace	AT&T	FEI	UWA Hyperspectral
Original	0,30	0,90	0,77	0,64
Escala de Cinza	0,30	0,93↑	0,75↓	0,51↓
Gaussiano	0,30	0,90	0,77↑	0,73↑
Filtro da mediana	0,37↑	0,94↑	0,81↑	0,99↑
Linear	0,31↑	0,96↑	0,76↓	0,82↑
Equali. Histogram	0,30	0,93↑	0,74↓	0,97↑
Transfo. Logarít.	0,9↓	0,46↓	0,70↓	0,53↓
Base de dados com ruídos Gaussiano e Sal-e-Pimenta				
Pré-Processamento	CASIA-WebFace	AT&T	FEI	UWA Hyperspectral
Original	0,28	0,83	0,75	0,37
Escala de Cinza	0,27↓	0,84↑	0,70↓	0,34↓
Gaussiano	0,27↓	0,93↑	0,77↑	0,75↑
Filtro da mediana	0,32↑	0,93↑	0,78↑	0,58↑
Linear	0,28	0,85↑	0,75	0,61↑
Equali. Histogram	0,25↓	0,83	0,70↓	0,66↑
Transfo. Logarít.	0,8↓	0,58↓	0,57↓	0,64↑

Na base FEI, foi obtido o melhor resultado quando as imagens foram convertidas para nível de cinza, obtendo um percentual de acerto de 84%. Ao analisar as imagens usadas nos testes, foi possível constatar que a amostra que representa o percentual de erros de predição, é composta por imagens com o rosto em perfil ou com mínima iluminação.

A base UWA Hyperspectral também obteve melhores resultados, com percentual de acerto de 100% usando filtro gaussiano e equalização de histograma. Por ser uma base com apenas características adversativas de iluminação, é possível concluir que os métodos de

pré-processamento que produziram os melhores resultados são eficientes para o tratamento do problema de iluminação.

Pela análise das tabelas é possível concluir que os resultados com adição de ruído foram inferiores aos testes nas imagens sem ruído. Também foi possível concluir que é positivo para o desempenho do sistema de reconhecimento aplicar o filtro da mediana para todas as 4 bases, quando inserimos o ruído Sal e Pimenta, como mostrada na Figura 7.

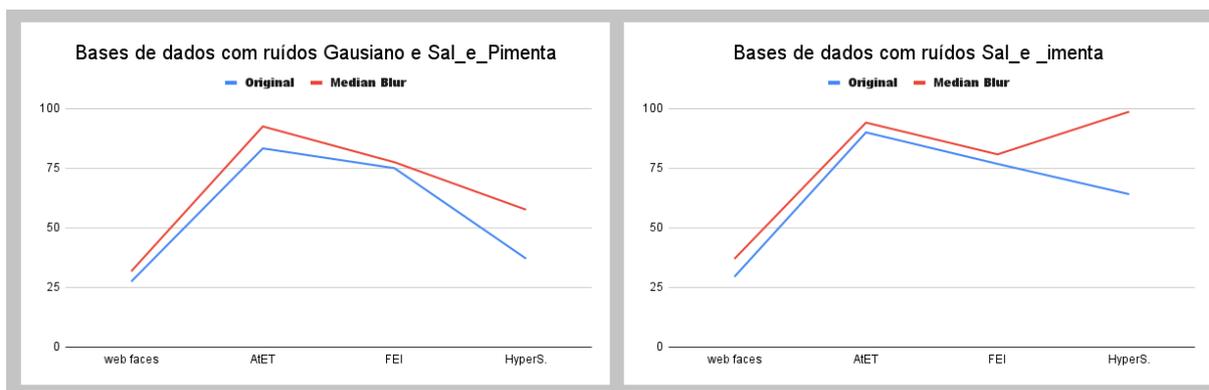


Figura 7 – Resultados do filtro da mediana.

5.2 Requisitos Funcionais e Não Funcionais

Os requisitos descrevem descreve os serviços e restrições do sistema desenvolvido. Os requisitos funcionais englobam as necessidades, características ou funcionalidades esperadas em um processo, as quais podem ser atendidas pelo software. E os requisitos não funcionais representam os desafios e necessidades que o software deve abordar e resolver por meio de funções ou serviços. A seguir serão apresentados os requisitos não funcionais na Tabela 3 e funcionais na Tabela 4.

Tabela 3 – Requisitos Não Funcionais

Identificador	Descrição	Categoria
RNF01	O sistema deve ter uma interface gráfica de usuário intuitiva (GUI).	Usabilidade
RNF02	Por se tratar de um aplicativo desktop, o sistema está disponível sempre que o usuário o solicitar.	Disponibilidade
RNF03	O sistema deverá manter os 3 pilares da segurança da informação, são eles: Confidencialidade, integridade e disponibilidade.	Confiabilidade
RNF04	O sistema deve possuir métodos de autenticação, limitando a manipulação de dados apenas para usuários logados.	Segurança
RNF05	O sistema será desenvolvido para o sistema operacional Windows.	Portabilidade

Tabela 4 – Requisitos Funcionais

Identificador	Descrição	Dependência
RF01: Cadastro de Usuário	O usuário pode se cadastrar como administrador. Os dados a serem coletados são: nome completo, e-mail e senha.	RNF03
RF02: Login	O sistema permitirá o acesso à plataforma aos usuários devidamente autenticados com e-mail e senha.	RNF03, RNF04
RF03: Gerenciamento de indivíduos cadastrados	O sistema deverá permitir ao usuário logado cadastrar, visualizar, alterar e excluir, os dados como nome, email e imagens faciais de indivíduos.	RNF03, RNF04
RF04: Reconhecimento facial de Indivíduos	O sistema deverá permitir ao usuário logado realizar o reconhecimento dos indivíduos cadastrados pelo usuário em questão.	RNF03
RF05: Disponibilidade dos dados de histórico	O sistema deverá disponibilizar ao usuário os dados de histórico, especificando o indivíduo e hora que foi realizada a operação de identificação.	

5.3 Funcionalidades do Sistema

Por fim, abordaremos as funcionalidades das telas do sistema. A exposição das funcionalidades seguirá a seguinte abordagem: a imagem será apresentada, seguida de sua descrição; em seguida, serão detalhadas as responsabilidades de cada campo, destacado por uma caixa vermelha e numeração.

Figura 8: A tela de cadastro do administrador, possibilita o armazenamento dos dados do administrador após preencher todos os campos editáveis e pressionar o botão de cadastrar. Esta tela é composta pelos seguintes elementos: **1:** Campos editáveis; **2:** Botão de cadastrar; **3:** Botão que abre a tela do administrador.

Figura 9: Apresenta a janela de login do administrador, que autentica o administrador e possibilita o acesso ao restante das funcionalidades do sistema. Esta tela é composta pelos seguintes elementos: **4:** Botão de login; **5:** Botão que abre a tela de cadastro do administrador.

Figura 10: Mostra a tela de menu inicial, onde é disponibilizado o histórico das operações de reconhecimento de indivíduo, e os botões das funcionalidades restantes. Esta tela é composta pelos seguintes elementos: **6:** Histórico das operações de reconhecimento de indivíduo; **7:** Nome do administrador logado; **8:** Botão que abre a tela de cadastro do indivíduo; **9:** Botão que abre a tela de reconhecimento facial do indivíduo; **10:** Botão que abre a tela de edição dos dados do indivíduo; **11:** Botão de desconexão do administrador.

Figura 11: Mostra a janela de cadastro dos dados do indivíduo, que possibilita o armazenamento dos dados do indivíduo após preencher todos os campos editáveis (nome e e-mail) e pressionar o botão passa para a próxima etapa de cadastro do indivíduo. Esta tela é composta pelos seguintes elementos: **12:** Botão que passa para a próxima etapa de cadastro do indivíduo; **13:** Botão que volta para o menu inicial.

▲ Cadastro ▲

jeandsgomes@gmail.com ①

Jeanderson Gomes de Sousa

.....

.....

cadastrar ②

ou

Já possui conta? Entrar ③

Figura 8 – Janela de cadastro do administrador.

▲ Login ▲

jeandsgomes@gmail.com

.....

login ④

ou

Cadastrar-se ⑤

Figura 9 – Janela de login do administrador.

Olá, UruarioTeste ⑦

Cadastrar Individuo ⑧

Reconhecimento Facial ⑨

Editar Individuo ⑩

sair ⑪

ID	Nome	Email	Data	Hora
1 1	Jeanderson Go...	jeands@gmail...	29/03/2022	08:44

⑥

Figura 10 – Janela de menu inicial.

Figura 12: Mostra a janela de cadastro dos dados do indivíduo, que possibilita o armazenamento das imagens do indivíduo após realizar a captura de pelo menos 2 fotos. Esta tela é composta pelos seguintes elementos: **14:** Botão de ligar e desligar a câmera; **15:** Botão de captura da última face detectada; **16:** Resultados das capturas; **17:** Botão de cadastro do indivíduo; **18:** Display com imagens capturadas pela câmera legada; **19:** Botão que volta para o menu inicial.

Figura 13: Mostra a janela de reconhecimento de imagem dos indivíduos, que possibilita realizar a operação de identificação do indivíduo. Esta tela é composta pelos seguintes elementos: **20:** Imagem do indivíduo identificado; **21:** Dados do indivíduo identificado; **22:** Histórico de operações de reconhecimento realizadas.

Figura 14: Mostra a janela de edição de indivíduo, que possibilita a busca e a edição dos dados dos indivíduos cadastrados. Esta tela é composta pelos seguintes elementos: **23:** Botão que realiza a busca do indivíduo, utilizando como chave o e-mail informado no

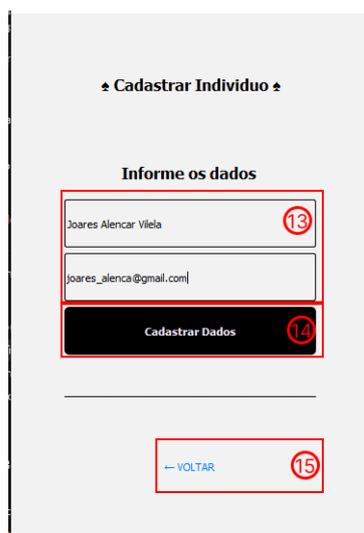


Figura 11 – Janela de cadastro dos dados do indivíduo.

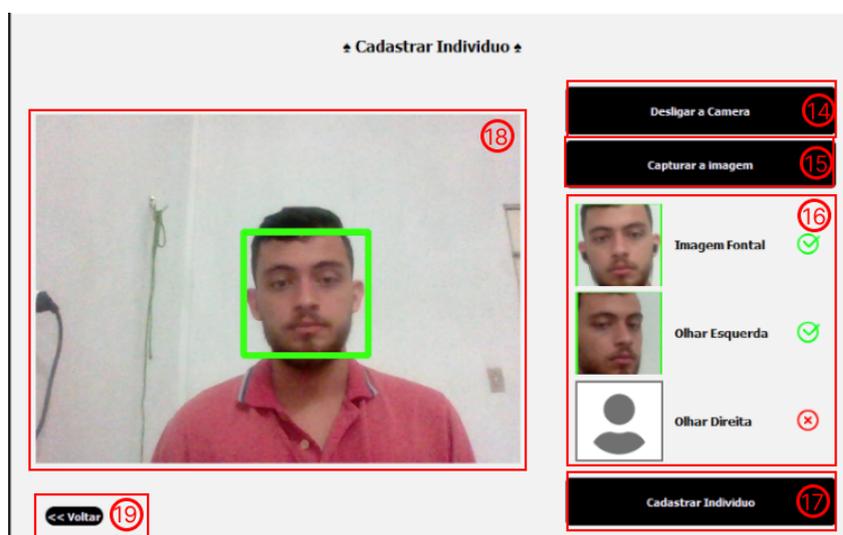


Figura 12 – Realizando a operação de identificação de Indivíduo.

campo editável; **24:** Botão que realiza a atualização dos dados modificados nos campos editáveis; **25:** Botão que realiza a remoção do indivíduo, utilizando como chave o e-mail informado no campo editável; **26:** Tabela com os dados dos indivíduos já cadastrados.

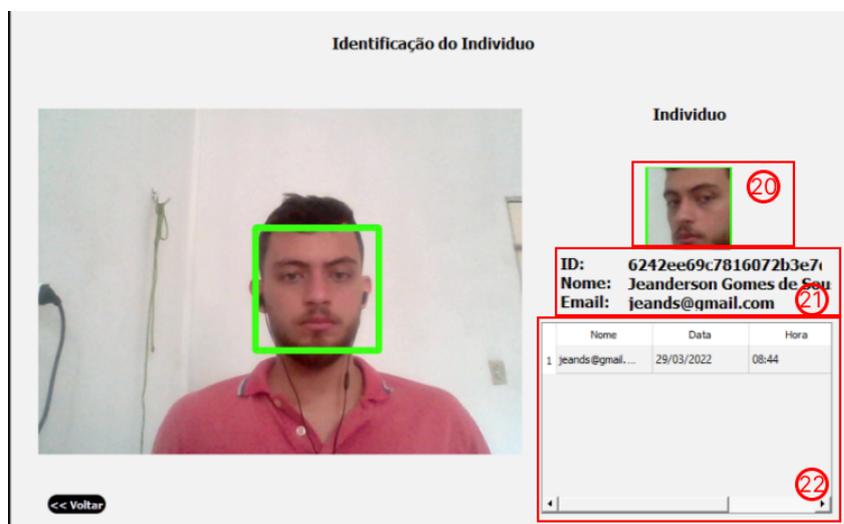


Figura 13 – Realizando a operação de cadastro de Indivíduo.



Figura 14 – Janela de edição de indivíduo.

6 Conclusão

Neste trabalho foi realizada uma análise de técnicas de pré-processamento aplicadas em sistema de reconhecimento facial. Conforme os resultados obtidos, foi possível observar que em casos onde a base possui problema de iluminação, o realce de características por equalização do histograma e transformação logarítmica foram mais eficientes. Também foi possível concluir que o uso do filtro da mediana melhora o desempenho em situações onde as imagens possuem ruídos do tipo Sal-e-Pimenta. É importante destacar que a principal contribuição do trabalho foi a busca das melhores circunstâncias para a utilização dos métodos de pré-processamento.

Após a definição do método de pré-processamento, foi realizada a construção de uma ferramenta que engloba esses algoritmos. A interface já foi desenvolvida e os métodos estudados até agora foram colocados em prática. Durante o desenvolvimento, a linguagem de software escolhida, Python, mostrou-se poderosa o suficiente para atingir o objetivo proposto, e sua grande comunidade facilita o desenvolvimento dos módulos necessários. Assim como o sistema proposto foi construído usando uma variedade de ferramentas, objetos e manipulação de eventos fornecidos pelo PyQt. As técnicas VGG *faces* e *Ball tree* foram utilizadas na extração de características e reconhecimento, respectivamente. Como também ao final do desenvolvimento da ferramenta foi solicitado o registro do *software* desenvolvido.

Ao final desse trabalho foi obtido um sistema de *software* flexível, integrado a um ambiente gráfico, como uma alternativa confiável de identificação facial de pessoas usando imagens pré-cadastradas. Como também o sistema fornece além do cadastro dos dados e imagens do usuário e reconhecimento do mesmo, também registra os logs de identificação do usuário. Este sistema também visa ser um contraponto para as soluções existentes, especialmente para sistemas de empresas privadas.

6.1 Trabalhos futuros

Em futuros trabalhos, recomenda-se a consideração das seguintes melhorias e ampliações: primeiro, avaliar e implementar diferentes abordagens de reconhecimento facial na interface já desenvolvida, visando explorar e aprimorar as capacidades do sistema. Adicionalmente, propõe-se a implementação de uma funcionalidade que previna fraudes de reconhecimento facial, distinguindo entre fotos e rostos reais. Além disso, seria benéfico integrar um indicador de precisão, visível ao usuário, no procedimento de autenticação, permitindo uma análise mais detalhada e transparente da confiabilidade das correspondências faciais. Essas sugestões visam não apenas enriquecer as funcionalidades do sistema, mas também aprimorar sua eficácia e segurança globais.

7 Registros e Publicações

Ao final deste trabalho, superadas todas as etapas anteriores, foi solicitado o registro do sistema junto aos órgãos competentes e por intermédio do Núcleo de Inovação Tecnológica (NINTEC) da UFPI. Como também foram publicados 2 artigos. A seguir são fornecidas as referências das publicações derivadas dos resultados deste trabalho.

GOMES, J. de S.; ARAUJO, F. H. *Análise de técnicas de pré-processamento de imagem para reconhecimento facial baseada em vgg faces e ball tree*. In: SBC. Anais do XIV Encontro Unificado de Computação do Piauí Enucompi ENUCOMPI, 2021. p. 136–143.

GOMES, J. de S.; ARAUJO, F. H. *Desenvolvimento de uma ferramenta de autenticação por reconhecimento facial*. In: SBC. Anais do XII Simpósio de Sistemas de Informação SINFO [S.l.], 2021.2.

GOMES, J. de S.; ARAUJO, F. H.; SILVA R. R. V.; FILHO A. O. de C. *AutenticaNet: Uma ferramenta para autenticação por reconhecimento facial*. Processo N^o: BR512023001021-9, 2023.

Referências

- AHMAD, U. et al. Enhancing the authentication mechanism of social media websites using face detection. In: IEEE. *2019 4th International Conference on Emerging Trends in Engineering, Sciences and Technology (ICEEST)*. [S.l.], 2019. p. 1–5. Citado na página 12.
- AT&T. *The AT&T database of faces*. 2002. <https://www.kaggle.com/kasikrit/att-database-of-faces>. Acesso em: 09/01/2021. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.
- BAE, G. et al. Digiface-1m: 1 million digital face images for face recognition. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*. [S.l.: s.n.], 2023. p. 3526–3535. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- BAH, S. M.; MING, F. An improved face recognition algorithm and its application in attendance management system. *Array*, v. 5, p. 100014, 2020. ISSN 2590-0056. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005619300141>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- BELI, I. L. K.; GUO, C. Enhancing face identification using local binary patterns and k-nearest neighbors. *Journal of Imaging*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 3, n. 3, p. 37, 2017. Citado na página 19.
- C ANDREW J. CONNOLLY, J. T. V. A. G. Z. I. *Ball Tree Example*. 2012. https://www.astroml.org/book_figures/chapter2/fig_balltree_example.html. Acesso em: 10/02/2024. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 25.
- CALONDER, M. et al. Brief: Computing a local binary descriptor very fast. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, IEEE, v. 34, n. 7, p. 1281–1298, 2011. Citado na página 16.
- CHU, N. et al. What is your name?: A facial identification system. *Group*, v. 18, p. 551, 2005. Citado na página 18.
- DOLATSHAH, M.; HADIAN, A.; MINAEI-BIDGOLI, B. Ball*-tree: Efficient spatial indexing for constrained nearest-neighbor search in metric spaces. *arXiv preprint arXiv:1511.00628*, 2015. Citado na página 19.
- DU, G.; SU, F.; CAI, A. Face recognition using surf features. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *MIPPR 2009: Pattern Recognition and Computer Vision*. [S.l.], 2009. v. 7496, p. 749628. Citado na página 16.
- EKMAN, P. Facial expression and emotion. *American psychologist*, American Psychological Association, v. 48, n. 4, p. 384, 1993. Citado na página 11.
- GEORGE, A. et al. Edgeface: Efficient face recognition model for edge devices. *arXiv preprint arXiv:2307.01838*, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- GUNAWAN, K. W.; HALIMAWAN, N.; SUHARJITO. Lightweight end to end pose-robust face recognition system with deep residual equivariant mapping. *Procedia Computer Science*, v. 179, p. 648–655, 2021. ISSN 1877-0509. 5th International

- Conference on Computer Science and Computational Intelligence 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921000594>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- HAJIRASSOULIHA, A. et al. Fpga implementation of 2d cross-correlation for real-time 3d tracking of deformable surfaces. In: IEEE. *2013 28th International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ 2013)*. [S.l.], 2013. p. 352–357. Citado na página 17.
- HAN, H. et al. A comparative study on illumination preprocessing in face recognition. *Pattern Recognition*, v. 46, n. 6, p. 1691–1699, 2013. ISSN 0031-3203. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320312005067>>. Citado na página 14.
- HUANG, Y. et al. Curricularface: adaptive curriculum learning loss for deep face recognition. In: *proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 5901–5910. Citado na página 16.
- HUSSAIN, S. U.; NAPOLÉON, T.; JURIE, F. Face recognition using local quantized patterns. In: *British machine vision conference*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 11–pages. Citado na página 17.
- JAIN, R. *Machine Vision*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1995. Citado na página 15.
- JESUS, E. O.; JR, R. C. A utilização de filtros gaussianos na análise de imagens digitais. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, v. 3, 2015. Citado na página 15.
- JUNIOR, L. L. de O.; THOMAZ, C. E. *FEI Face Database*. 2006. <https://fei.edu.br/~cet/facedatabase.html>. Acesso em: 09/03/2021. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- JUNIOR, L. L. de O.; THOMAZ., C. E. Cropping and attention based approach for masked face recognition. *Applied Intelligence*, v. 51, p. 1–14, 2021. ISSN 1573-7497. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10489-020-02100-9>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- KIM, J.-Y.; KIM, L.-S.; HWANG, S.-H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v. 11, n. 4, p. 475–484, 2001. Citado na página 15.
- LEE, H. et al. Face recognition at a distance for a stand-alone access control system. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 20, n. 3, p. 785, 2020. Citado na página 12.
- LEE, H. et al. Face recognition at a distance for a stand-alone access control system. *Sensors*, v. 20, n. 3, 2020. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/3/785>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- LUO, M. et al. Fa-gan: Face augmentation gan for deformation-invariant face recognition. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, v. 16, p. 2341–2355, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.

- MITRA, S.; SAVVIDES, M.; BROCKWELL, A. Statistical performance evaluation of biometric authentication systems using random effects models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE, v. 29, n. 4, p. 517–530, 2007. Citado na página 11.
- NAPOLÉON, T.; ALFALOU, A. Local binary patterns preprocessing for face identification/verification using the vanderlugt correlator. In: SPIE. *Optical Pattern Recognition XXV*. [S.l.], 2014. v. 9094, p. 30–35. Citado na página 19.
- NAPOLÉON, T.; ALFALOU, A. Pose invariant face recognition: 3d model from single photo. *Optics and Lasers in Engineering*, Elsevier, v. 89, p. 150–161, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- NLPR-CBSR. *CASIA-WebFace cropped*. 2020. <https://www.kaggle.com/unkownhihi/casiawebface-cropped>. Acesso em: 09/03/2021. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- OUERHANI, Y.; ALFALOU, A.; BROSSEAU, C. Road mark recognition using hog-svm and correlation. In: SPIE. *Optics and Photonics for Information Processing XI*. [S.l.], 2017. v. 10395, p. 119–126. Citado na página 16.
- OUERHANI, Y.; JRIDI, M.; ALFALOU, A. Fast face recognition approach using a graphical processing unit “gpu”. In: IEEE. *2010 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques*. [S.l.], 2010. p. 80–84. Citado na página 11.
- PARKHI, O. M.; VEDALDI, A.; ZISSERMAN, A. *Deep face recognition*. [S.l.]: British Machine Vision Association, 2015. 1-12 p. Citado na página 18.
- PASANDI, M. E. M. *Face, Age and Gender Recognition Using Local Descriptors*. Tese (Doutorado) — Université d’Ottawa/University of Ottawa, 2014. Citado na página 19.
- PENATTI, O. A. B.; TORRES, R. da S. Color descriptors for web image retrieval: a comparative study. In: IEEE. *2008 XXI Brazilian symposium on computer graphics and image processing*. [S.l.], 2008. p. 163–170. Citado na página 15.
- PHILLIPS, P. J. et al. The feret database and evaluation procedure for face-recognition algorithms. *Image and vision computing*, Elsevier, v. 16, n. 5, p. 295–306, 1998. Citado na página 11.
- PONTI, M. A.; COSTA, G. B. P. D. Como funciona o deep learning. *arXiv preprint arXiv:1806.07908*, 2018. Citado na página 17.
- REHEM, A.; TRINDADE, F. H. Técnicas de visão computacional para rastreamento de olhar em vídeos. *Publicado em*, v. 3, n. 02, 2009. Citado na página 14.
- SAVVIDES, M.; KUMAR, B. V. Illumination normalization using logarithm transforms for face authentication. In: KITTLER, J.; NIXON, M. S. (Ed.). *Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003. p. 549–556. ISBN 978-3-540-44887-7. Citado na página 15.
- SCHROFF, F.; KALENICHENKO, D.; PHILBIN, J. Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 815–823. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 19.

- SEO, H. J.; MILANFAR, P. Face verification using the lark representation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, IEEE, v. 6, n. 4, p. 1275–1286, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- SERENGIL, S. I. *Deep Face Recognition with Keras*. 2018. <https://sefiks.com/2018/08/06/deep-face-recognition-with-keras/>. Acesso em: 10/02/2024. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 25.
- SMACH, F. et al. An fpga-based accelerator for fourier descriptors computing for color object recognition using svm. *Journal of Real-Time Image Processing*, Springer, v. 2, n. 4, p. 249–258, 2007. Citado na página 17.
- TORRES, R. da S.; FALCAO, A. X. Content-based image retrieval: theory and applications. *RITA*, v. 13, n. 2, p. 161–185, 2006. Citado na página 15.
- UZAIR, M. et al. *UWA Hyperspectral Face Database*. IEEE Dataport, 2023. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.21227/8714-kx37>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- VINAY, A. et al. Two novel detector-descriptor based approaches for face recognition using sift and surf. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 70, p. 185–197, 2015. Citado na página 17.
- VIOLA, P.; JONES, M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: IEEE. *Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. CVPR 2001*. [S.l.], 2001. v. 1, p. I–I. Citado na página 16.
- WANG, Q.; ALFALOU, A.; BROSSEAU, C. New perspectives in face correlation research: a tutorial. *Advances in Optics and Photonics*, Optical Society of America, v. 9, n. 1, p. 1–78, 2017. Citado na página 11.
- WANG, Q. et al. Optical image authentication scheme using dual polarization decoding configuration. *Optics and Lasers in Engineering*, Elsevier, v. 112, p. 151–161, 2019. Citado na página 17.



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA “JOSÉ ALBANO DE MACEDO”

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
- () Dissertação
- (x) Monografia
- () Artigo

Eu, Jeanderson Gomes de Sousa,
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de
02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar,
gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação
Desenvolvimento de um sistema de autenticação por reconhecimento facial
de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título
de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 14 de fevereiro de 2024.

Assinatura manuscrita de Jeanderson Gomes de Sousa.

Assinatura