

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

MARCELO AUGUSTO DE SOUZA ZANETTI

**ALGORITMOS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO
DE IMAGENS E SUAS RESPECTIVAS
IMPLEMENTAÇÕES E COMPARAÇÕES NO
RECONHECIMENTO DE MINÚCIAS**

BAURU
2015

MARCELO AUGUSTO DE SOUZA ZANETTI

**ALGORITMOS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO DE
IMAGENS E SUAS RESPECTIVAS IMPLEMENTAÇÕES E
COMPARAÇÕES NO RECONHECIMENTO DE MINÚCIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação, sob orientação do Prof. Dr. Elvio Gilberto da Silva.

BAURU
2015

Z28a

Zanetti, Marcelo Augusto de Souza

Algoritmos utilizados no processamento de imagens e suas respectivas implementações e comparações no reconhecimento de minúcias / Marcelo Augusto de Souza Zanetti. -- 2015.

54f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Elvio Gilberto da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Algoritmos. 2. Biometria. 3. Processamento de Imagens. 4. Reconhecimento de Padrões. 5. Classificação de Impressões Digitais. I. Silva, Elvio Gilberto da. II. Título.

MARCELO AUGUSTO DE SOUZA ZANETTI

**ALGORITMOS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO DE IMAGENS E
SUAS RESPECTIVAS IMPLEMENTAÇÕES E COMPARAÇÕES NO
RECONHECIMENTO DE MINÚCIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação sob orientação do Prof. Dr. Elvio Gilberto da Silva.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Elvio Gilberto da Silva
Universidade do Sagrado Coração
Orientador

Prof. Me. Henrique Pachioni Martins
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Esp. Alex Setolin Beirigo
Professor Convidado

Bauru, 02 de dezembro de 2015.

Dedico este trabalho à minha querida esposa
Débora Trize pelo apoio incondicional e
permanente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força que me foi dada durante esses anos e principalmente nesta etapa final.

A minha esposa que tanto me ajudou e incentivou em cada uma das etapas da minha formação superior.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Elvio Gilberto da Silva, por me acolher como orientando e acreditar no meu projeto.

Ao colaborador Alex Setolin Beirigo, que desde o início acreditou na minha vontade de fazer e me apoiou nesse projeto até sua conclusão.

A todos os professores do Curso de Ciência da Computação, pelos ensinamentos em aulas e fora delas, e pela sua disponibilidade em auxiliar.

E a minha esposa, Débora, que foi uma grande colaboradora na realização deste trabalho, com seu conhecimento científico.

Obrigada a todos aqueles que, neste instante, traído pela memória, não recordo, mas que somaram para tornar possível a realização deste trabalho.

"Você não sabe o quanto eu caminhei, para chegar até aqui,

Percorri milhas e milhas antes de dormir,

Eu não cochilei,

Os mais belos montes escalei,

Nas noites escuras de frio chorei,

A vida ensina o tempo traz o tom..."

(Toni Garrido)

RESUMO

Sistemas biométricos se encontram, cada vez mais, numa ampla gama de aplicações na ciência e na indústria. Minúcias são as características correspondentes, mais estudados, em reconhecimento de impressões digitais, sendo assim, o objetivo deste trabalho foi a implementação de algoritmos para o reconhecimento de imagens de impressões digitais, envolvendo técnicas gerais do processamento de imagens com o uso da ferramenta MATLAB®. Constantemente, uma variedade de novos métodos de processamento de imagens é apresentada à comunidade. A análise e comparação de diferentes abordagens por meio de uma mesma metodologia são essenciais para a qualificação do projeto de um algoritmo. Porém, é complexo comparar o desempenho e adequabilidade de diferentes algoritmos de uma mesma maneira. A principal razão deve-se à dificuldade para avaliar exaustivamente um software. Muitas áreas necessitam de um conjunto diverso e abrangente de dados sobre imagens e informações associadas. Tais conjuntos podem ser utilizados para desenvolver, testar e avaliar novos softwares.

Palavras-Chave: Algoritmos. Minúcias. Processamento de Imagens. Avaliação de algoritmos. Reconhecimento de Padrões.

ABSTRACT

Biometric systems are increasingly in a wide range of applications in science and industry. Minutiae are the relevant characteristics, more studied, in recognition of fingerprints, so the aim of this work was the implementation of algorithms for fingerprint image recognition, involving general techniques of image processing using MATLAB ® tool. Constantly, a variety of new methods of image processing is presented to the community. The analysis and comparison of different approaches through a same methodology were essential for the qualification the project. However, it is complex to compare the performance and suitability of different algorithms in the same way. The main reason is due to the difficulty to evaluate thoroughly software. Many areas require a comprehensive and diverse set of data about images and associated information. Such sets can be used to develop, test and evaluate new software.

Keywords: Algorithms. Minutiae. Image Processing. Algorithm evaluation. Pattern Recognition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Participação de cada técnica biométrica em negócios no ano de 2003.....	13
Figura 2 - Áreas da computação gráfica.	16
Figura 3 - Leitores de impressões digitais.....	20
Figura 4 - Evolução dos métodos de verificação pessoal.....	21
Figura 5 - Aplicação biométrica em diversos segmentos de mercado.....	22
Figura 6 - Análise manual.	23
Figura 7 - Exemplo de minúcias.	25
Figura 8 - Características da impressão digital.....	26
Figura 9 - Pré-processamento de minúcia.	28
Figura 10 - Extração de minúcia.....	31
Figura 11 - Algoritmos de extração de minúcias.....	31
Figura 12 - Interface gráfica do MATLAB® 2013.	34
Figura 13 - Esquema pré-processamento do algoritmo A.....	35
Figura 14 - Resultado da extração da minúcia do algoritmo A.....	36
Figura 15 - Esquema pré-processamento do algoritmo B.....	37
Figura 16 - Extração de minúcias de impressão digital do algoritmo B.....	37
Figura 17 - Ilustração da sequência de processamento do algoritmo B.....	38
Figura 18 - Processamento do algoritmo C.....	39
Figura 19 - Etapa de corte e remoção de falsas minúcias do algoritmo C.....	39
Figura 20 - Banco de dados de impressões digitais.	40
Figura 21 - Extração de minúcias (bifurcações) do algoritmo A.....	41
Figura 22 - Extração das minúcias (cristas finais e bifurcações) do algoritmo B.....	42
Figura 23 - Extração das minúcias (cristas finais e bifurcações) do algoritmo C.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho do algoritmo A na extração das minúcias.41**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2 - Desempenho do algoritmo B na extração das minúcias 43

Tabela 3 - Desempenho do algoritmo C na extração das minúcias**Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFIS - Automated finger identification system

CAD - Computer aided design

CG – Computação gráfica

ID – Impressão digital

IDs - Impressões digitais

IM - Imagem

IMs – Imagens

ISO - International Organization for Standardization

PDI - Processamento digital de imagens

PI - Processamento de imagens

PIN - Personal identification number

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	COMPUTAÇÃO GRÁFICA	16
2.2	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	17
2.2.1	Origens do processamento digital de imagens e suas aplicações	17
2.2.2	Perspectiva histórica	17
2.2.3	Contexto usual do desenvolvimento de algoritmos de processamento digital de imagens	18
2.3	RECONHECIMENTO DE PADRÕES.....	18
2.4	ALGORITMOS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES.....	19
2.5	SISTEMAS BIOMÉTRICOS.....	20
2.6	CARACTERÍSTICAS IDENTIFICÁVEIS.....	24
2.7	PRÉ- PROCESSAMENTO.....	26
2.7.1	Filtros	27
2.8	MINÚCIAS: ETAPAS DA VERIFICAÇÃO	27
2.8.1	Binarização ou Limiar (threshold)	28
2.8.2	Esqueletização	29
2.8.3	Afinamento (Thinning)	29
2.9	MINÚCIAS: ETAPAS DE EXTRAÇÃO.....	30
2.9.1	Extração de características	30
2.9.2	Extração de minúcias	30
3	TRABALHOS CORRELATOS	32
4	MATERIAL E MÉTODO	33
4.1	EQUIPAMENTO	33
4.2	PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO: MATLAB®.....	33
4.3	ETAPAS DOS TESTES PARA IDENTIFICAÇÃO.....	35

4.3.1	Algoritmo A	35
4.3.2	Algoritmo B	37
4.3.3	Algoritmo C	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A - ALGORITMO A	51
	APÊNDICE B - ALGORITMO B	53
	APÊNDICE C - ALGORITMO C	54

1 INTRODUÇÃO

O ser humano não é confiável, por isso, há tempos se faz necessário o uso de alguns mecanismos para restringir o acesso a determinados lugares, serviços ou informações. Devido a este fato, uma das ideias mais promissoras que surgiu é o uso da Biometria, pois ela é mais difícil de ser burlada do que as outras formas de autenticação existentes. Este é um ponto extremamente importante no nosso mundo atual levando ao desenvolvimento deste trabalho.

A palavra biometria origina-se do grego bios (vida) e metron (medida), e significa o uso de características biológicas em mecanismos de identificação. (ALECRIM, 2005). A biometria é um conjunto de métodos automatizados, com base em características comportamentais (gestos, voz, escrita manual, modo de andar e assinatura) e fisiológicos (ID, face, geometria da mão, íris, veias da retina, voz e orelha). Essas características são identificadores biométricos. (JARDINI, 2007).

O humano é um ser que vive em sociedade, ou seja, não nasce para ficar isolado. No dia-a-dia dependemos uns dos outros em qualquer situação. O problema é que não nascemos programados para nos limitarmos apenas às nossas funções, do mesmo modo que não nascemos para aceitar o mundo do jeito que ele é. No fundo, cada pessoa prioriza seus próprios interesses e algumas não hesitam em prejudicar os outros para alcançar seus objetivos. Assim, há tempos que se faz necessário o uso de mecanismos para restringir o acesso a determinados lugares ou serviços, por exemplo. (BIOMETRICS, 2015).

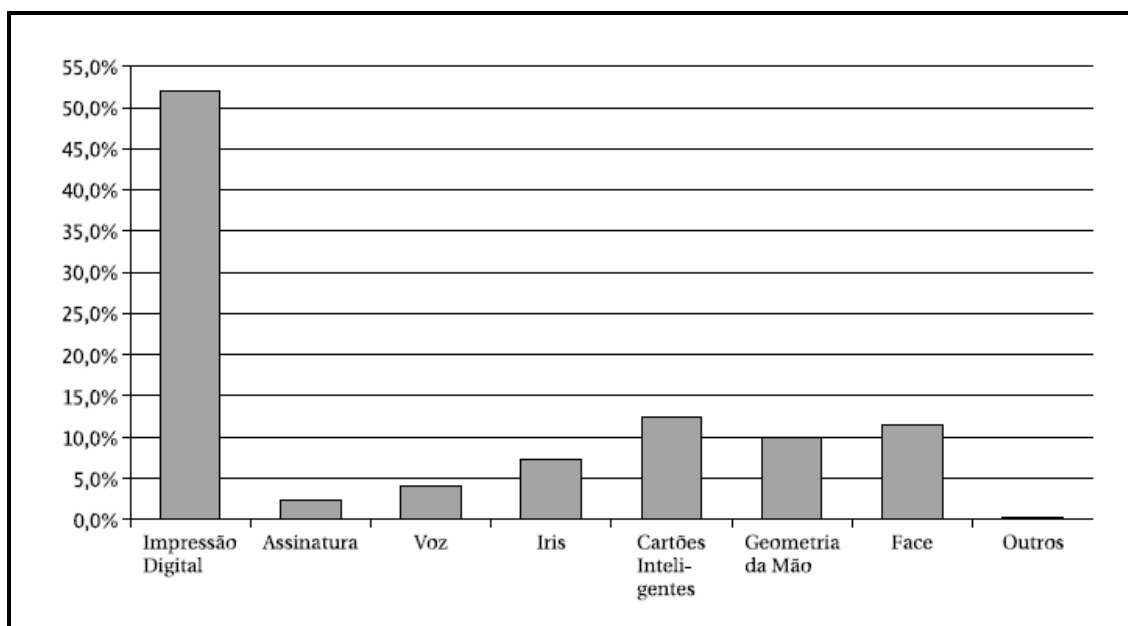
Para que, no entanto, uma característica humana seja utilizada como um identificador biométrico, ela deve satisfazer alguns requisitos como universalidade, unicidade, permanência, aceitabilidade, entre outros. Isso faz com que nenhum identificador biométrico seja considerado ótimo. Entretanto, a ID continua sendo o identificador biométrico mais comumente utilizado. De acordo com Maltoni et al. (2013), isso se deve ao fato de praticamente todo ser humano possuir ID, desta ser distinta até mesmo entre gêmeos idênticos e ainda pelo fato de que, mesmo diante de mudanças temporárias, como cicatrizes e cortes, ela se regenera, voltando para sua forma original.

Na atualidade, constantemente uma variedade de novos métodos de processamento de imagens (PI) é apresentada à comunidade. A análise e a comparação de diferentes abordagens por meio de uma mesma metodologia são essenciais para a qualificação do projeto de um algoritmo. Porém, é complexo comparar o desempenho e adequabilidade de diferentes algoritmos de uma mesma maneira. A principal razão deve-se à complexidade para avaliar

exaustivamente um software. Muitas áreas necessitam de um conjunto diverso e abrangente de dados sobre imagens (IMs) e informações associadas. Tais conjuntos podem ser utilizados para desenvolver, testar e avaliar novos softwares utilizando dados públicos. (SANTOS, 2006).

Existem diversas técnicas de biometria disponíveis atualmente. Algumas delas ainda estão em estudos, outras já se encontram disponíveis para uso comercial. É difícil determinar o número preciso das técnicas biométricas disponíveis, pois as mesmas evoluem constantemente. Pode-se dizer que as principais são (JAIN et al., 1997; MATYAS Jr.; RIHA, 2000; ROSS; JAIN; QIAN, 2003): ID, geometria de mão, íris, padrões de retina, reconhecimento facial, comparação de voz e assinatura. A Figura 1 apresenta a participação que cada técnica teve sobre o montante de US\$ 928 milhões gerados em negócios no ano de 2003 envolvendo biometria. (VAUGHAN-NICHOLS, 2004).

Figura 1 - Participação de cada técnica biométrica em negócios no ano de 2003.



Fonte: Vaughan-Nichols (2004).

Desde a introdução dos primeiros algoritmos de PI, no início da década de 1960, esta linha de pesquisa cresce continuamente e se faz presente em diferentes segmentos, com aplicações variadas. (DUNCAN; AYACHE, 2000).

Um dos principais obstáculos presentes no desenvolvimento de métodos de PI é a falta de conjuntos de dados abrangentes, diversificados, confiáveis, organizados e devidamente documentados para uso como referência nas tarefas de testes. (MÜLLER et al., 2003).

Usualmente, cada desenvolvedor (ou grupo de pesquisa) adquire e organiza seu próprio conjunto de dados para testes.

Com o desenvolvimento da tecnologia na era da comunicação, a sociedade vem se tornando um sistema eletronicamente ligado, daí a necessidade de potencializar sistemas que facilitem a vida das pessoas no cotidiano. Percebe-se nitidamente que as máquinas ocupam lugar considerável no mundo atual, substituindo o trabalho do ser humano. (COSTA, 2001).

Nos últimos anos vem ocorrendo uma grande expansão no mercado de segurança com o uso cada vez maior da biometria. Essa expansão está elevando a demanda por algoritmos cada vez mais eficazes e, ao mesmo tempo, que busquem diminuir os custos e aumentar a sua eficiência no reconhecimento. Atualmente, existem vários códigos de programação sendo utilizados nesta área, cada um deles com um foco diferente do outro, assim, cada qual apresenta desempenho e resultados diferentes.

A identificação e comparação de impressões digitais (IDs) não está restrita somente à área criminal, hoje exerce papel fundamental no reconhecimento de pessoas. Esse método de identificação é garantido, de pequeno custo e efetivo. Vem demonstrando avanços significativos, com a inclusão dos recursos de informática. (COSTA, 2001).

Diante desse contexto, este trabalho identificou e explorou os avanços dos algoritmos obtidos na programação a fim de demonstrar quais deles melhor se aplicaram a determinada situação, sempre focando no melhor reconhecimento dentro do menor tempo possível.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e avaliar algoritmos utilizados no PI e suas respectivas implementações na ferramenta MATLAB® para o uso no reconhecimento de impressão digital (ID).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar e fazer o levantamento das formas de aquisição de IM e/ou ID através de uma câmera fotográfica, escâner ou de um leitor biométrico.
- Identificar e selecionar as bibliotecas gráficas que serão utilizadas para o processamento das IMs adquiridas.
- Realizar um estudo dos algoritmos implementados em MATLAB® com o objetivo de analisar seus resultados e compara-los com outros algoritmos.
- Adquirir conhecimento sobre métodos de implementação de sistemas de reconhecimento de IDs.
- Estudar as técnicas de PI para análise dos algoritmos utilizados.
- Apresentar os resultados obtidos sobre as análises desenvolvidas e realizar considerações sobre elas.
- Analisar quais dos algoritmos estudados tem a melhor resposta no cenário do reconhecimento de ID.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPUTAÇÃO GRÁFICA

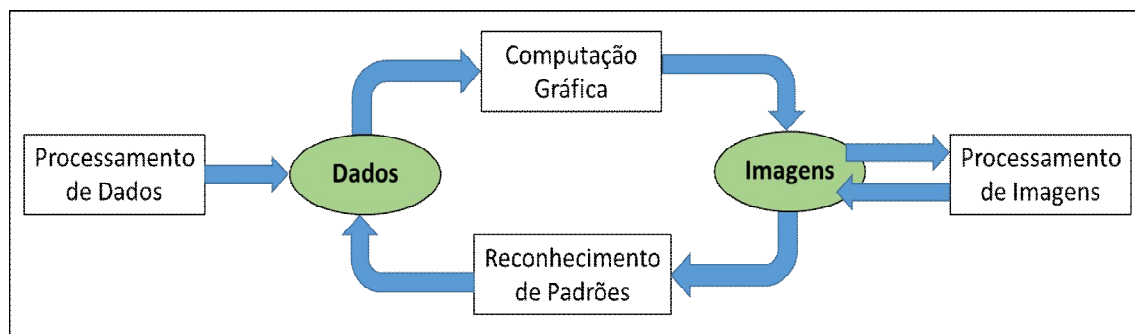
A Computação Gráfica (CG), área em franco desenvolvimento, têm caminhado em busca da geração cada vez mais rápida de imagens mais realísticas. Os algoritmos que permitem a síntese de imagens demandam alto poder computacional, fazendo com que a geração deste tipo de IM, de forma rápida, requeira um alto poder de processamento, ou algoritmos cada vez mais eficientes para minimizar os tempos de processamento. (SANTOS, 1994).

Conforme essa definição, CG visa trabalhar com todo tipo de conceito que englobe imagens, seja ela de duas ou três dimensões. É o meio de interação homem/máquina mais eficaz e recomendada, já que a mesma utiliza conceitos de ilustração para qualquer aplicação. (GONZALEZ; WOODS, 2010).

CG é a disciplina que trata das técnicas e dos métodos computacionais, que convertem dados para dispositivos gráficos e vice-versa. Em uma definição mais informal pode-se definir que: CG é o veículo de comunicação homem/máquina mais adequado à percepção humana. (NASCIMENTO, 2009).

Segundo a definição da ISO (International Organization for Standardization), a CG é "o conjunto de métodos e técnicas de converter dados para um dispositivo gráfico, via computador" (Figura 2). Portanto pode-se deduzir que a atividade central é a síntese de imagens (SANTOS, 1994). Por este motivo, desde o seu início, muitas técnicas foram desenvolvidas para este fim.

Figura 2 - Áreas da computação gráfica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A CG é um campo que está recebendo cada vez mais a atenção da comunidade científica internacional. Da mesma forma, o interesse na utilização comercial de técnicas de computação gráfica também é crescente. Este interesse é devido aos enormes avanços nas áreas de microeletrônica e arquitetura de computadores que permitiram que muitas aplicações antes inviáveis computacionalmente pudessem finalmente ser atendidas. Restrições quanto à resolução espacial e de cores nos monitores e velocidade ou memória disponível nos computadores estão bastante reduzidos com relação ao que eram há alguns anos atrás. (AZEVEDO et al., 2008).

Atualmente a CG já é parte integrante do dia a dia da sociedade como se vê em comerciais de TV, cinema, videogames, etc. Com a disponibilidade de equipamentos de alto desempenho à custo mais baixo, rapidamente surgiram aplicações em campos como publicidade, desenho industrial, visualização de modelos tridimensionais complexos, estudo de iluminação, CAD, animação, efeitos especiais, realidade virtual, visualização médica, editoração, apresentações e simulação de voo, entre tantos outros. Em muitas destas aplicações cada vez mais é necessário gerar imagens mais sofisticadas, mais realísticas e mais rapidamente. (GONZALEZ; WOODS, 2010).

2.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

2.2.1 Origens do processamento digital de imagens e suas aplicações

O processamento digital de imagens (PDI), área da CG, atualmente está presente nas mais diversas áreas, como medicina, agricultura, segurança, geologia, cartografia, astronomia entre outros vários. Mas nem sempre foi possível aplicar as técnicas de PDI em todas essas áreas, isso se tornou possível somente depois do desenvolvimento de computadores potentes que suportariam tais aplicações. (GONZALEZ; WOODS, 1987; MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

2.2.2 Perspectiva histórica

Uma das primeiras aplicações técnicas de PI foi com a utilização do sistema Bartlane em 1920. O sistema foi criado para que a indústria de jornais pudesse enviar fotos por um cabo submarino (Cabo Bartlane) de Londres para a cidade de Nova York, o que reduziu de uma semana para menos de três horas o tempo necessário para transportar uma foto através do

oceano. O sistema codificava as imagens para transmissão, e depois reconstituía a IM no recebimento. (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Após o recebimento a IM era impressa por uma impressora telegráfica, mas ocorriam alguns problemas com o uso desse sistema quanto à melhora da qualidade visual dessas primeiras figuras digitais. Esse método de impressão foi substituído em 1921 por uma técnica de reprodução fotográfica através de fitas perfuras. (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

2.2.3 Contexto usual do desenvolvimento de algoritmos de processamento digital de imagens

Desde a introdução dos primeiros algoritmos de PI, no início da década de 1960, esta linha de pesquisa cresceu continuamente e se fez presente em diferentes tipos de segmentos, com aplicações variadas. (GONZALEZ; WOODS, 1987).

Vários grupos têm trabalhado na interdisciplinaridade de pesquisas da área de PI, em diferentes aspectos, modalidades e especialidades. Desde a pesquisa mais básica, incluindo compressão e armazenamento, até o desenvolvimento de sofisticados algoritmos de visualização multidimensional. (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Um dos principais obstáculos presentes no desenvolvimento de métodos de PI é a falta de conjuntos de dados abrangentes, diversificados, confiáveis, organizados e devidamente documentados para uso como referência nas tarefas de testes. (MÜLLER et al., 2003).

A avaliação desempenha um importante papel no desenvolvimento de qualquer tarefa. Por exemplo, em visão computacional os algoritmos não-supervisionados de segmentação, frequentemente, são prejudicados pela falta de um objetivo explícito. Um dos grandes obstáculos no campo de PI é a falta de um conjunto de IMS de referência e procedimentos para serem seguidos em tarefas de avaliação. De um modo geral, pode-se dizer que a qualidade de uma avaliação depende de três condições: (1) metodologia, (2) instrumentos de avaliação e (3) a forma com que as medidas são obtidas. (NASCIMENTO, 2009; MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; AZEVEDO et al., 2008).

2.3 RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Reconhecimento de padrões é uma das mais novas técnicas biométricas pesquisadas hoje. Apesar de ser um método simples, existem vários desafios a serem encontrados em toda

a concepção e implementação de um dispositivo de reconhecimento de padrões pois eles sofrem interferência de iluminação e dos diferentes algoritmos de PI utilizados. Para atingir um menor erro de digitalização, a IM adquirida deve ser quase pré-processada e os algoritmos devem detectar o padrão em várias condições. Muitas implementações deste método já estão numa fase comercial e não há ainda uma grande precisão para sistemas de baixo custo, os quais podem detectar padrões com requisitos computacionais mínimos. (CRISAN et al., 2010).

2.4 ALGORITMOS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Ao usar uma configuração de hardware correta, a necessidade de um complexo algoritmo é reduzida. Se não houver um forte contraste nas IMs, o padrão pode ser facilmente extraído e os dados relevantes guardados para a utilização futura. No entanto as IMs obtidas podem variar significativamente em termos de clareza do modelo e em alguns casos graves, a IM resultante pode ter problemas de conectividade, e várias regiões podem apresentar dificuldades de leitura ou até mesmo se tornarem impossíveis de se detectar os padrões. Assim o uso de um algoritmo "inteligente" deve ser capaz de compensar estes problemas. (SANTOS, 2006).

Os algoritmos designados à verificação, possibilitam confirmar se duas IDs são equivalentes, ou seja, se as minúcias relacionadas (cristas finais e bifurcadas) são do mesmo tipo e estão na mesma localização. As etapas utilizam recursos contidos no software nomeado como MATLAB®, trata-se de uma ferramenta que integra estudo numérico e cálculo com matrizes. (COSTA, 2001; INGLE; PROAKIS, 2012).

Existem algoritmos de fusão de pontuação, que podem ser divididos em duas categorias principais: algoritmos baseado em classificação e algoritmos baseados em probabilidade. Algoritmos baseado em classificação abordam problemas de fusão como a tarefa de classificação padrão. O classificador é treinado sobre as amostras de formação para minimizar o erro de treinamento, usando o padrão tradicional com algoritmos de reconhecimento. Existem outras técnicas avançadas de reconhecimento de padrão, tais como, aprendizado semi-supervisionado, aprendizado em conjunto, e identificação do centro. (LIANG et al., 2016).

Dois tipos de algoritmos de detecção de pormenores podem ser encontrados na literatura especializada, dependendo de como eles lidam com a imagem da impressão digital. Assim,

erros em ambas as fases trazerem a detecção de falsas minúcias. Os métodos baseados em intensidades cinzentas, extraem diretamente a partir da imagem original em escala de cinza, as minúcias, sem a necessidade de pré-processamento da imagem. Embora o pré-processamento ter sido evitado, esses métodos também produzem falsas minúcias em impressões digitais de baixa qualidade. Por isso, independentemente do método usado para extrair as minúcias, dois tipos de erros podem ser produzidos: ausentes ou falsas minúcias. (PERALTA et al., 2014).

2.5 SISTEMAS BIOMÉTRICOS

Um sistema biométrico é essencialmente um sistema de reconhecimento de padrões que reconhece uma pessoa com base em um vector característico derivando característica fisiológicas ou comportamentais específicas que a pessoa possui. (NEWHAM, 1995).

O reconhecimento de ID, abordado em biometria, tem se destacado no contexto do reconhecimento de padrões tendo como foco o desenvolvimento de sistemas automáticos que visam facilitar o reconhecimento de indivíduos utilizando suas características físicas como meio de autenticação conforme ilustra a Figura 3. (COSTA, 2001).

Figura 3 - Leitores de impressões digitais.



Fonte: Sem autor; Moraes (2006).

Com a evolução da tecnologia na era da informação, a sociedade vem se tornando um sistema eletronicamente conectado representado pela figura 4. Daí a necessidade de desenvolver sistemas que facilitem a vida das pessoas no cotidiano. Percebe-se nitidamente que as máquinas ocupam espaço considerável no mundo atual, substituindo o trabalho do ser humano. A implantação de uma tecnologia que contemple o uso da informática com o uso de

bases de dados de impressões digitais e de seus dados cadastrais, tornará possível uma maior resposta à sociedade, como por exemplo, na resolução de crimes. (FALGUERA, 2008).

Métodos tradicionais de verificação pessoal normalmente fazem uso de uma informação conhecida como uma senha (PIN - Personal identification number) ou utilizam outros recursos como, por exemplo, uma chave ou um cartão, exemplificados na Figura 4 (HONG; JAIN, 1998a; MEYER, 1999). O grande problema é que estes recursos podem ser esquecidos, furtados, perdidos, copiados, armazenados de maneira insegura ou até utilizados por uma pessoa que não tenha autorização (LIU; SILVERMAN, 2001). Desta forma, é justificável que o novo campo de atrações seja a biometria.

Figura 4 - Evolução dos métodos de verificação pessoal.



Fonte: Conterato (2014).

Reconhecimento baseado em IDs é um dos métodos mais importantes que podem ser utilizados para o reconhecimento pessoal porque tem muitas vantagens, porque, ID permanecem inalteradas durante toda vida, não existem dois dedos com características de cristas iguais, e reconhecimento baseado em IDs oferecem soluções práticas para o dia a dia. (KASBAN, 2016).

As aplicações deste segmento de identificação biométrica, ou seja, das IDs, destina-se ao aumento de segurança e agilidade em operações empresariais, governamentais ou institucionais, esquematizada na Figura 5.

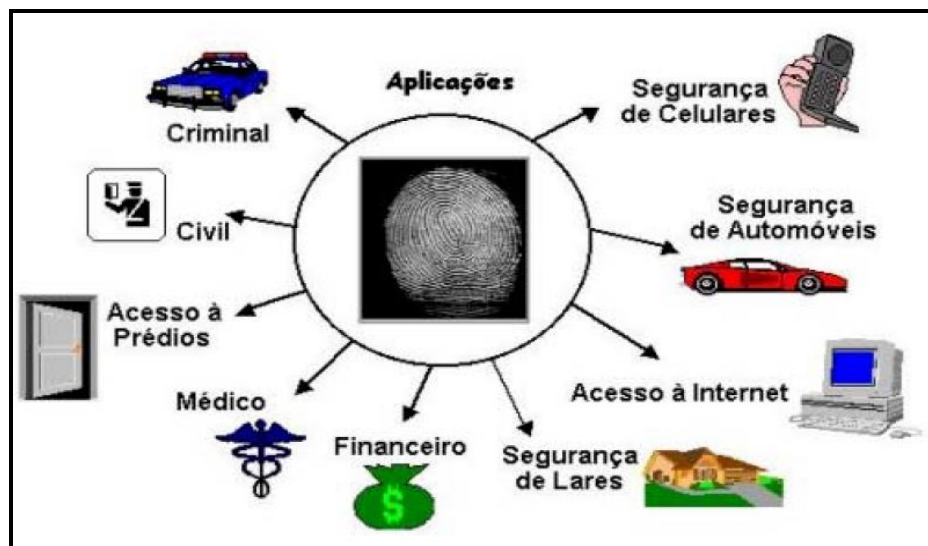
Forças Armadas: As forças armadas utilizam as IDs para identificação criminal. Digitais coletadas por meio de tintas em cartões tem sido enviadas para sites (páginas da

internet) que utilizam o sistema AFIS (automated finger identification system) para processamento. (COSTA, 2001; PAULINO et al., 2013).

Governo e Repartições Públicas: Estão estabelecendo uma larga escala de identificação e sistemas de verificação por digitais, carteira de identidade nacional, passaporte, controle de imigração, carteira de habilitação, seguridade social, porte de armas e outros. (COSTA, 2001).

Transações Eletrônicas: Arquivar dados de uma ID, biometricamente em Smart Cards é aceito como uma medida de segurança para identificação de usuários e também proporciona um outro nível de segurança para transações via internet. (COSTA, 2001).

Figura 5 - Aplicação biométrica em diversos segmentos de mercado.



Fonte: Costa (2001).

Controle de Ponto: Indústrias e empresas, usam o sistema de identificação de digitais para a administração do ponto substituindo o sistema tradicional de controle de ponto por cartões. A capacidade de distinguir e controlar a entrada e saída de pessoas, gera um sistema efetivo de controle do horário, aumentando a produtividade. (COSTA, 2001).

Controle de Acesso e Presença: Sistemas de controle de acesso baseados na verificação de ID permitem um controle muito seguro dos usuários, aumentando o nível de segurança, pois também é utilizada para limitar o acesso a locais. (COSTA, 2001).

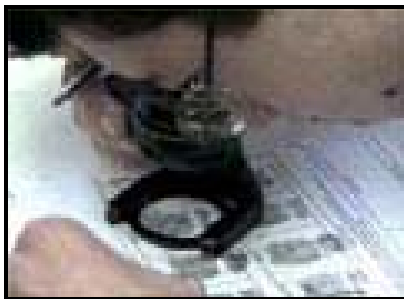
Smart Cards: São cartões inteligentes, utilizados para armazenamento de informações pessoais. Devido à necessidade de inserir níveis de segurança, tem-se investido nesta tecnologia. (COSTA, 2001).

Atualmente as tecnologias biométricas têm sido usadas em diversas aplicações facilitando o cotidiano das pessoas e aumentando a cada dia a demanda dos sistemas computacionais. (HONG; JAIN, 1998b).

O principal enfoque do estudo das tecnologias biométricas, no contexto geral, está voltado para o desenvolvimento de sistemas que permitam o reconhecimento e verificação de padrões desse tipo em campo, sendo de extrema importância o tempo de processamento, segurança e viabilidade das tecnologias biométricas. (HONG; JAIN, 1998a).

A análise manual da digital é uma tarefa tediosa (Figura 6), onde os aspectos para comparação são extremamente pequenos necessitando auxílio de lentes de aumento para obter um melhor exame da marca da ID. (JAIN et al.,1997b; ELECCION, 1973).

Figura 6 - Análise manual.



Fonte: Costa (2001).

Outro ponto a ser considerado é o tamanho do banco de dados, o que pode fazer a análise e comparação manual levar dias em alguns casos. Estes problemas podem ser facilmente superados pela automação do processo de verificação da IDs visando otimizar o processamento. (XIAO; RAAFAT, 1991a).

Técnicas baseadas em reconhecimento de IDs são as mais antigas e menos onerosas. (MILLER, 1994; ELECCION, 1973). Estes fatores contribuem para o desenvolvimento de um sistema de verificação baseado em digitais.

O leitor biométrico transforma os aspectos físicos extraídos em um template, ou seja, em um conjunto de características. (JAIN et al., 1997a). Os primeiros leitores biométricos constituíam-se em placas e prismas de vidro, alimentando câmeras ópticas e com saída de vídeo analógica. Apesar de serem grandes, com tamanho de 20x10 cm, estes leitores são usados até hoje para aplicações onde a qualidade da IM é crítica. A área de captura da IM desses leitores é maior, ou seja, permite a amostragem do dedo rolado, o que é vital para obter-se o máximo possível de área útil na ID.

As IDs geralmente são irregulares devido às condições da pele (marcas de nascimento, marcas de ocupação, cortes, uso de cremes), marcas causadas por dilatação (rolamento do dedo, excesso de tinta), dispositivos de aquisição e atitudes não cooperativas. Esses fatores influenciam significativamente a qualidade das imagens, ou seja, nem sempre a estrutura das cristas é bem definida, portanto não podem ser detectadas. As linhas típicas no padrão da ID são reconhecidas como cristas papilares. O fluxo das cristas forma diferentes padrões geométricos classificados como arcos, presilhas, verticilos, e outras estruturas mais detalhadas como cristas finais e cristas bifurcadas, conhecidas como minúcias ou pontos característicos. (FALGUERA, 2008).

A biometria mais conhecida e divulgada no presente é o reconhecimento de IDs que está produzindo um papel importante na biometria moderna. O método de correspondência é um dos componentes mais importantes no reconhecimento de impressões digitais. (ZHANG, 2016). Técnicas atuais sobre o método de correspondência podem ser classificados em quatro categorias:

- Métodos com base na correspondência das minúcias: em que minúcias com terminações de cristas e bifurcações de cristas, extraídas em duas impressões digitais são combinadas;
- Métodos com base nas cristas: em que as cristas de duas impressões digitais são extraídos e combinados;
- Métodos com base nas texturas: em que as características de textura locais ou globais de duas impressões digitais são extraídos e combinados;
- Métodos com base nas redes neurais artificiais: em que Redes Neurais Artificiais são introduzidos para combinar duas impressões digitais.

Entre estas abordagens, os métodos de correspondência de minúcias são os métodos mais populares para a sua robustez e confiabilidade. (ZHANG, 2016).

2.6 CARACTERÍSTICAS IDENTIFICÁVEIS

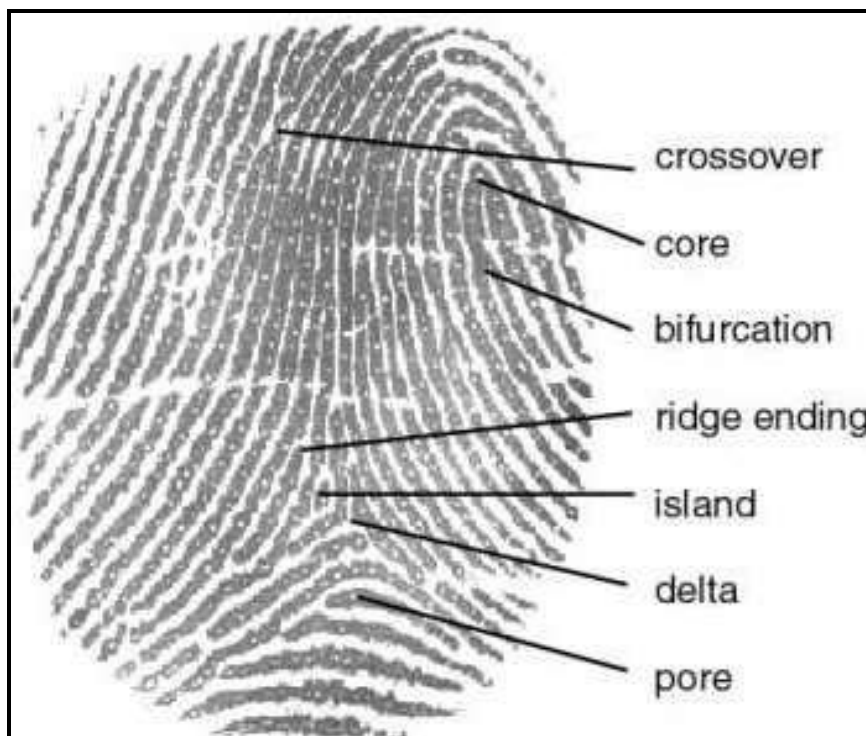
A maioria dos algoritmos desenvolvidos para correspondência de IDs baseiam-se em minúcias. Embora as minúcias transportam uma grande quantidade de informações discriminatórias, em alguns casos, com recursos adicionais, pode ajudar a aumentar a precisão. (PAULINO et al., 2013).

As minúcias (detalhes de Galton) são acidentes que se encontram nas cristas papilares como, por exemplo, linhas que terminam abruptamente ou se bifurcam, e tem a finalidade de estabelecer a unicidade das impressões digitais.

Uma ID é um padrão na superfície da pele. A singularidade de uma ID pode ser determinada com o padrão global de cristas, bem como anomalias de cristas locais. (HE et al., 2007).

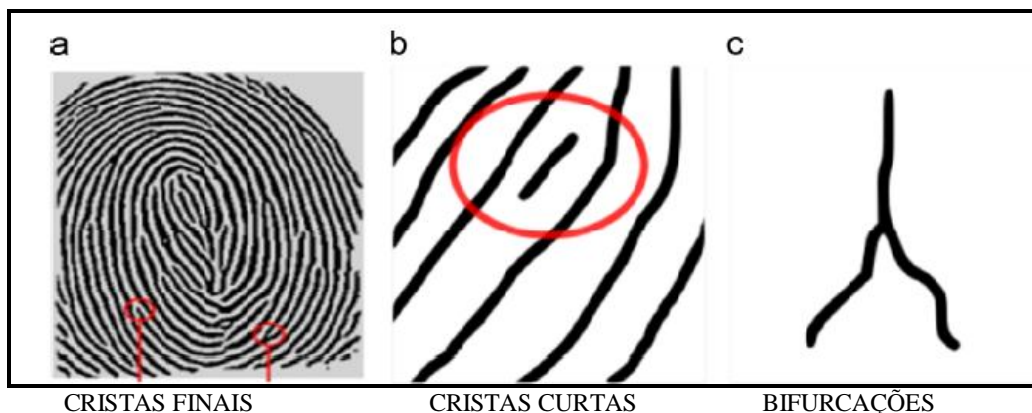
As minúcias são locais descontínuos no padrão da impressão, linhas que terminam abruptamente ou se bifurcam. As minúcias consideradas mais importantes são as cristas finais e bifurcações, pois ocorrem frequentemente nas imagens de impressões digitais. Essas minúcias estabelecem a unicidade das impressões. Existem vários tipos de minúcias, como mostrado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Exemplo de minúcias.



Fonte: Nor (2012).

Figura 8 - Características da impressão digital.



Fonte: Kasban (2016).

Para o processo automático de extração e comparação de características é considerado apenas dois tipos de minúcias, caracterizando a maioria delas: crista de terminações, ou crista final e de bifurcações. Uma crista de terminação é interpretada como um ponto onde a crista termina bruscamente, já as cristas bifurcadas são divisões de uma crista em duas ou mais.

Para certificar uma ID, deve corresponder, no mínimo doze minúcias, as quais devem ser localizadas da mesma forma, local e quantidade em ambas impressões de comparação, não podendo haver minúcias diferentes que se encontram na impressão do banco de dados e não estão presentes na impressão sendo verificada.

2.7 PRÉ- PROCESSAMENTO

O principal objetivo das técnicas de pré-processamento é otimizar e extrair aspectos de uma IM cujo resultado seja uma IM otimizada, ou seja, esta IM deve apresentar menos distorções que a IM original. (SHERLOCK et al., 1992; HUNG, 1993; JAIN et al., 1997a).

Após a realização do processo de aquisição as IMs capturadas podem sofrer imperfeições, ou ainda, não estarem em condições ideais para servir como entrada a um classificador, por esse motivo, existe a necessidade de uma fase de processamento nas imagens, conhecida como pré-processamento, que consiga remover os ruídos encontrados nas imagens, ou seja, eliminar erros provocados na fase anterior (aquisição), e preparar a IM para as fases seguintes (extração de características e identificação). Essa preparação tem como objetivo otimizar e extrair aspectos de uma IM cujo resultado deve apresentar menos resultados que a IM original.

2.7.1 Filtros

As imagens digitais podem sofrer uma sequência de procedimentos conhecidos como filtros. Esses realizam tarefas como destacar os elementos, suavizar ou aumentar o seu contraste, detectando suas bordas e removendo ruídos, entre outras. O filtro da média é muito utilizado na fase primária, quando o foco é a redução de ruídos nas IMs. Esse filtro substitui o nível de cinza de cada pixel pelo valor da média de níveis dos pixels ao redor. A principal atribuição desse filtro é destacar pontos com diferentes intensidades a terem valores similares aos pontos mais próximos.

Depois de eliminados os ruídos através do filtro da média, filtros de contraste (passa-alta) são aplicados. Um exemplo desse tipo de filtro implementado é o filtro direcional. A saída desses filtros resulta em quatro imagens cujas informações devem ser agrupadas novamente para a produção de uma única IM. A aplicação do filtro de contraste é melhorar a discriminação visual entre os elementos da IM analisada

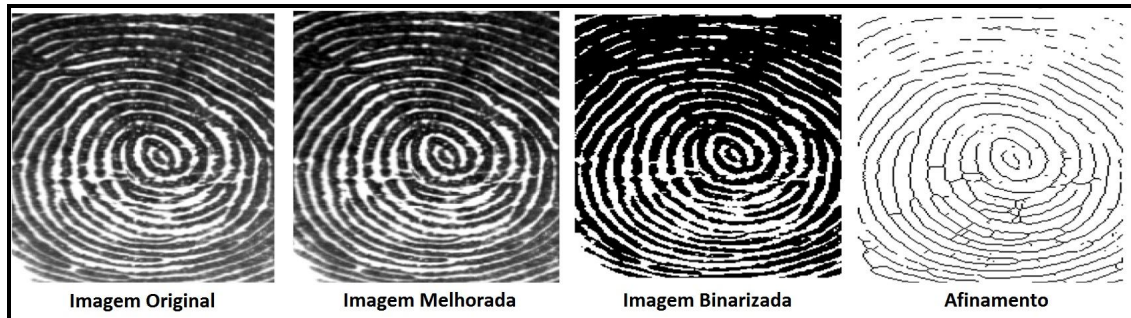
2.8 MINÚCIAS: ETAPAS DA VERIFICAÇÃO

Os pontos de interesse utilizados para verificação são as cristas finais e cristas bifurcadas extraídas das linhas do esqueleto na IM. O conceito de Crossing Number (BAJA, 1984; TAMURA, 1978; RATHA et al., 1995; MEHTRE, 1993) é muito usado para detecção destes pontos.

Na etapa de verificação, uma IM de entrada em tons de cinza deve ser convertida para uma IM binária, uma vez que se tem interesse em distinguir as linhas pretas e as linhas brancas na IM de ID. Esta operação é reportada na literatura como aplicação do limiar ou binarização (threshold). (RATHA et al., 1995; COETZEE; BOTHA, 1993; RAO, 1976).

Os passos dos algoritmos de verificação são a binarização ou limiar (threshold), o afinamento (thinning), o filtro para a limpeza do esqueleto, a extração e a comparação de minúcias (Figura 9) conforme uma descrição detalhada nos itens a seguir.

Figura 9 - Pré-processamento de minúcia.



Fonte: Kasban (2016).

2.8.1 Binarização ou Limiar (threshold)

A binarização é utilizada quando se tem propósito em destacar os contornos e padrões geométricos específicos na IM. O processo prático consiste em modificar as linhas datilares, obtidas originalmente em 256 tons de cinza a dois níveis: preto e branco, porém, este processo não pode destruir as minúcias, fim de linha e bifurcações.

A binarização de uma escala fundamenta-se em designar um valor limiar (threshold) de forma que todos os valores abaixo deste limiar sejam levados para o mesmo valor base. Todos os valores superiores a este limiar serão transformados em um mesmo valor de pico. Partindo de uma IM, do tipo escala de cinza, obtém-se uma IM com apenas dois níveis. O limiar pode ser estabelecido através da interação durante o processo de digitalização, tornando o ajuste o mais aprimorado.

Verificam-se os valores de intensidade dos pixels para decidir se ele receberá o valor 0 (preto) ou 255 (branco). A decisão é feita pela comparação numérica dos pixels com um determinado valor chamado nível de threshold. (INGLE; PROAKIS, 2012).

O nível de threshold utilizado é a média de um bloco considerado, ou seja, se o resultado da média do bloco for maior que o valor do pixel central, este receberá o valor da média obtido. Caso contrário, se o resultado da média for menor que o valor do pixel central, este manterá o seu valor original. Esta operação é denominada de threshold adaptativo (FARINA et al., 1999), pois a binarização foi realizada em blocos. Neste caso o usuário pode definir o tamanho deste bloco para efetuar a operação.

2.8.2 Esqueletização

A geração de um esqueleto digital é frequentemente um dos primeiros passos em sistemas de visão computacional, quando o objetivo é extrair características de um objeto em uma IM. Um esqueleto de um objeto visa representar a forma do objeto em um número menor de pixels no qual todos eles são necessários. Com essa ideia, o esqueleto deve ter todas as informações contidas na IM original: posição, orientação e comprimento dos segmentos. Com o objetivo de reduzir os dados redundantes e preservar a continuidade das cristas de uma impressão, algoritmos para a detecção do esqueleto de uma IM são adotados na maioria de métodos de processamento de IM de ID. Alguns que se baseiam na morfologia do objeto, outros usam o seu contorno e outros tratam o objeto como um polígono.

2.8.3 Afinamento (Thinning)

Thinning também conhecido como afinamento é uma técnica que pode ser usada para remover pontos isolados no fundo da IM e ângulos retos ao longo de bordas dos objetos (HUNG, 1993; MEHTRE, 1993; COETZEE; BOTHA, 1993). O afinamento (Thinning) tem por objetivo eliminar pixels indesejáveis na IM sem alterar sua estrutura. Em específico para ID, é reportado na literatura um algoritmo de afinamento iterativo paralelo (parallel iterative thinning algorithm). (TAMURA, 1978).

Desta forma, a escolha de pares de elementos estruturantes é fundamental. Ao invés de se afinar uma IM com apenas um par de elementos estruturantes, as operações podem ser efetuadas de forma simétrica a partir de uma família de pares de elementos estruturantes. Tomando-se a IM afinada, o próximo passo trata-se da limpeza desta IM obtida.

Após o afinamento, é possível fazer uma limpeza das linhas emagrecidas com o intuito de eliminar as reentrâncias também conhecidas como “pés de galinha” na IM de ID. Caso as alterações na IM não sejam notáveis, sugere-se aplicar este filtro utilizando as máscaras rotacionadas. Desta forma é possível obter uma IM filtrada do esqueleto. (INGLE; PROAKIS, 2012; XIAO; RAAFAT, 1991a).

2.9 MINÚCIAS: ETAPAS DE EXTRAÇÃO

2.9.1 Extração de características

A IM de entrada em grande parte é composta por dados irrelevantes e redundantes, assim aumentando o tempo de processamento da mesma, por isso, a importância na identificação de minúcias específicas (cristas e bifurcações) para identificação de IDs. Assim, a maioria dos algoritmos realiza a extração de minúcias a partir de imagens binarizadas e esqueletizadas.

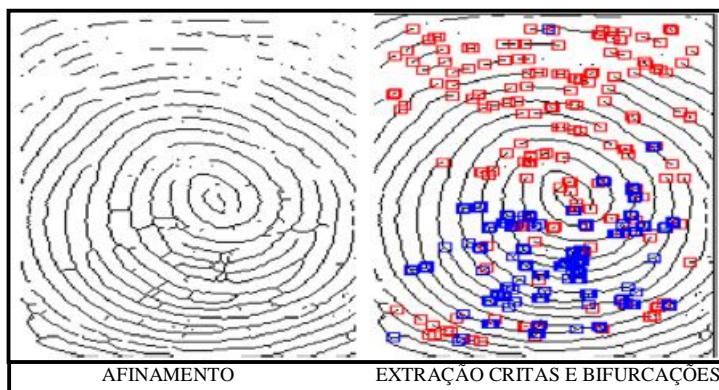
As técnicas de extração de IM têm como objetivo focar a atenção do processo de identificação apenas das características relevantes do padrão. Além disso, essas técnicas também reduzem o tempo despendido pelo computador na fase seguinte (identificação/compreensão). Nessa etapa, é fato de que a diminuição na dimensão da IM levará alguma perda de informação, mas o importante é que essas técnicas consigam eliminar apenas informações que possuam pouca importância no conjunto da IM. O processo de extração está intimamente ligado ao processo de classificação já que, em geral, um bom conjunto de características irá propiciar uma alta taxa da classificação correta. As características que são utilizadas para a identificação de ID são chamadas de minúcias.

Um dos principais problemas na comparação de minúcias são os ruídos encontrados na IM, devido à baixa qualidade da IM, e que podem futuramente ser classificados como minúcias ou minúcias válidas podem não ser detectadas, portanto, detecção de minúcias é um processo crucial em comparação de ID. Os ruídos considerados como minúcias são chamados de falsas minúcias, por isso nesse processo é necessário que as falsas minúcias sejam eliminadas.

2.9.2 Extração de minúcias

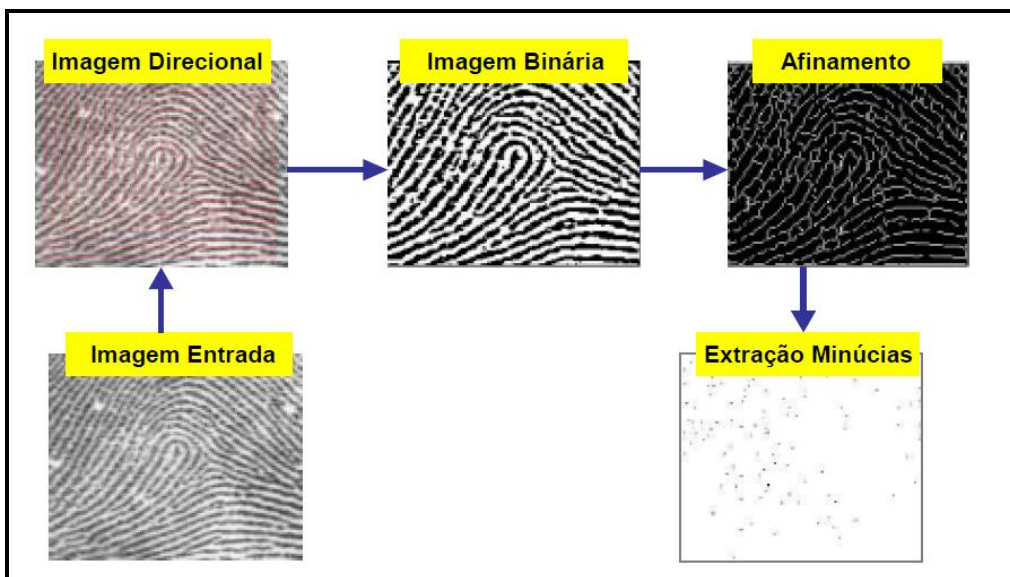
Em uma IM binária onde a espessura de cada linha é de apenas um pixel, as cristas finais ou fins de linhas são caracterizadas por apenas 2 vizinhos em uma vizinhança de 8 pixels enquanto as cristas bifurcadas são caracterizadas por 4 pontos em uma vizinhança de 8 pixels. Estas são as propriedades definidas pelo cálculo do Crossing Number com o intuito de extrair os aspectos usados na verificação (cristas finais e cristas bifurcadas) e desconsiderar os demais pontos encontrados não condizentes com estas propriedades, ilustrados na Figura 10 e 11. (HONG; JAIN, 1998b).

Figura 10 - Extração de minúcia.



Fonte: Kasban (2016).

Figura 11 - Algoritmos de extração de minúcias.



Fonte: Costa (2001).

3 TRABALHOS CORRELATOS

Em uma breve pesquisa foram encontrados alguns projetos similares ao do tema proposto, porém as semelhanças entre os mesmos são na área e no foco que abrange o tema abordado.

Atualmente a área de PI vem sendo bem explorada e conta com uma grande quantidade de trabalhos de pesquisa, principalmente tendo em vista a grande evolução tecnológica, e a cada dia ela vem sendo tratada e estudada com maior amplitude.

Os trabalhos correlatos encontrados foram:

- a) Costa (2001). Dissertação: Silvia Maria Farani Costa - Classificação e reconhecimento de impressões digitais. Foram apresentadas fórmulas para pré-processamento de IDs e conceitos e técnicas para classificar e extrair minúcias.
- b) Hong (1998). Automatic personal identification using fingerprints. É o trabalho mais completo, e seu autor relatou e detalhou todos os passos da construção da aquisição de ID, pré-processamento, mapa de 35 direções, classificação e extração de minúcias, além da comparação de templates. Tem uma base teórica bem fundamentada através de fórmulas que requerem muito conhecimento da área.
- c) Pankanti (2000). Artigo: Sharath Pankanti - Biometrics: promising frontiers for emerging identification market. Comentou todos os métodos de identificação biométrica existentes. Comparou os métodos e exemplificou o funcionamento através de um estudo de caso.
- d) Silva (1999). Trabalho de Conclusão de Curso: Alex Sandro da Silva - Protótipo de Software para Classificação de ID. Foi desenvolvido um protótipo para classificação de ID.

Todos estes trabalhos relataram as pesquisas na área com convicção alcançaram seus resultados, além de trazerem relatos sobre identificação biométrica e identificarem as técnicas que foram utilizadas.

Diante disso, a intenção deste trabalho foi contribuir com as comparações entre as diferentes análises realizadas, comparando seus resultados e identificando qual deles tem melhores resultados.

4 MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho foi desenvolvido em duas fases distintas. A primeira fase foi uma investigação dos aspectos teóricos que foram abordados. Na segunda fase foi realizada a aplicação prática dos conceitos com análise e comparação entre os algoritmos utilizados, com o uso do software MATLAB®.

Ao longo da primeira fase foi efetuada a revisão literária sobre o que é PDI, um breve histórico sobre ele e as diversas técnicas utilizadas na computação atualmente. Conjuntamente, foi realizado um estudo na internet e em outras fontes acerca dos diversos tipos de algoritmos relacionados ao escopo do trabalho, os quais envolveram reconhecimento de padrões, análise de imagens, técnicas e sua aplicação na biometria.

Este trabalho foi fundamentado através do levantamento bibliográfico, constituído principalmente de livros e artigos científicos, bem como na experiência do autor em disciplina específica cursada durante o curso de graduação.

Na segunda fase foi realizada uma busca pelos algoritmos que foram trabalhados, essa busca foi complexa pois a literatura científica não se mostrou clara na explanação dos algoritmos, sendo que a maioria dos autores mostrava apenas a formulação matemática das ideias apresentadas, sem demonstrar de forma mais clara o algoritmo em sua forma funcional.

4.1 EQUIPAMENTO

As aplicações e as análises dos algoritmos foram feitas na plataforma Windows 10 Professional 64 bits, com o uso de um notebook DELL com processador Intel Core i7-4500U de 1.80 GHz, e com memória RAM de 8 GB, além de placa gráfica Geforce GT740M com 2 GB de memória.

4.2 PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO: MATLAB®

A prática envolveu a utilização de ferramenta computacional para a aplicação dos algoritmos estudados. A ferramenta utilizada foi o MATLAB®, versão 2013 A, pois ele é mencionado em diversos artigos científicos (INGLE; PROAKIS, 2012; PAULINO et al., 2013) da área e muito utilizado por algoritmos para análise e reconhecimento de padrões em PI.

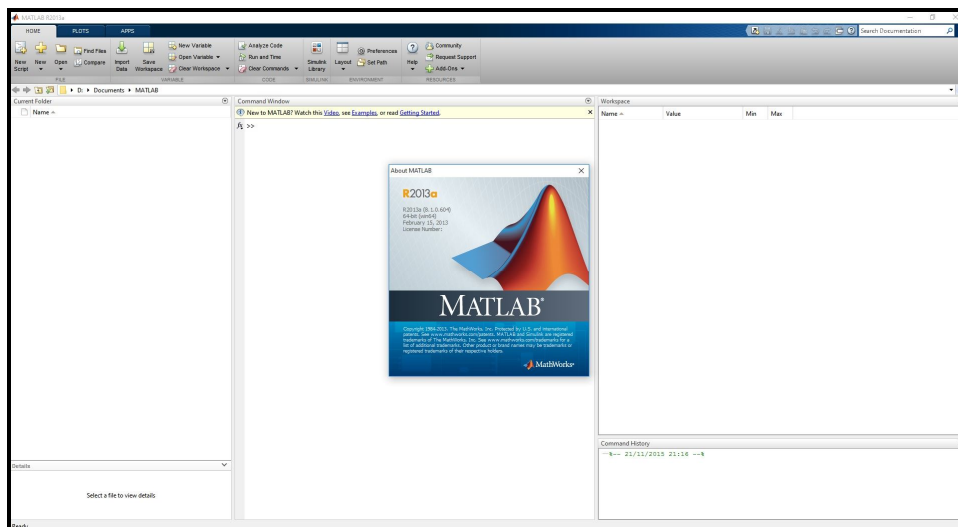
MATLAB[®] é a linguagem de alto nível e um ambiente interativo usado por milhões de engenheiros e cientistas em todo o mundo. Ele permite que você explore e visualize ideias e colaborar através das disciplinas, incluindo o sinal e processamento de IM, comunicações, sistemas de controle e finanças computacionais. (MATLAB, 2013).

Características:

- Linguagem de alto nível para computação numérica, visualização e desenvolvimento de aplicativos;
- Ambiente interativo para exploração iterativa, design e resolução de problemas;
- Funções matemáticas para álgebra linear, estatística, análise de Fourier, filtragem, otimização, integração numérica e resolução de equações diferenciais ordinárias;
- Built-in gráficos para visualização de dados e ferramentas para criar gráficos personalizados;
- Ferramentas de desenvolvimento para melhorar a capacidade de manutenção e qualidade de código e maximizar o desempenho;
- Ferramentas para criação de aplicativos com interfaces gráficas personalizadas;
- Funções de integração MATLAB[®] baseado algoritmos com aplicações externas e linguagens como C, Java, .NET e Microsoft[®] Excel[®]. (MATLAB, 2013).

O método desse trabalho foi desenvolvido em MATLAB[®], onde a interface gráfica é apresentada na Figura 12. O objetivo dessa interface foi facilitar a visualização dos procedimentos usados na análise das impressões digitais.

Figura 12 - Interface gráfica do MATLAB[®] 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com auxílio desse software, a IM de digital escolhida, para análise, foi facilmente carregada para a memória de dados, e com isso, aplicou-se cada um dos procedimentos de forma separada. O programa facilitou também a visualização dos resultados, em cada processo, bem como permitiu alterar diretamente alguns de seus parâmetros, tais como: filtros de pré-processamento e tamanho da janela.

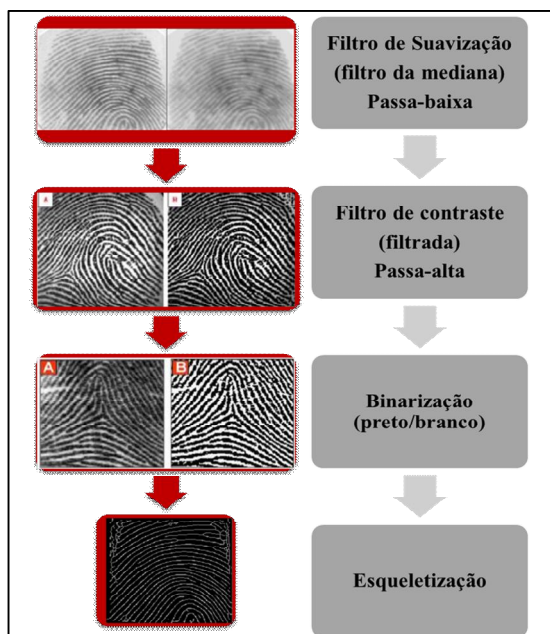
O programa também possibilitou a contagem do tempo através da utilização de duas funções existentes, a TIC e a TOC. A TIC permitia iniciar um contador de tempo em segundos com até 6 casas decimais, e quando era necessário pará-lo foi utilizada a função TOC, a qual inclusive já retornava o valor obtido na janela de comandos do programa. Essas funções foram usadas nos testes com os três algoritmos utilizados.

4.3 ETAPAS DOS TESTES PARA IDENTIFICAÇÃO

4.3.1 Algoritmo A

O algoritmo A foi baseado na descrição do algoritmo implementado por Pedronette (2005), onde o pré-processamento é constituído pela aplicação de uma série de técnicas de processamento de imagens com o objetivo de realçar a IM da digital, aumentando o contraste entre as linhas datilares e o fundo (Figura 13).

Figura 13 - Esquema pré-processamento do algoritmo A.



Fonte: Elaborado pelo autor.

São utilizados no pré-processamento filtros como: filtro de passa-baixa para a eliminação de ruídos na IM original e filtro de passa-alta para realce de contraste para melhor extração das minúcias. (JAIN et al, 1997a).

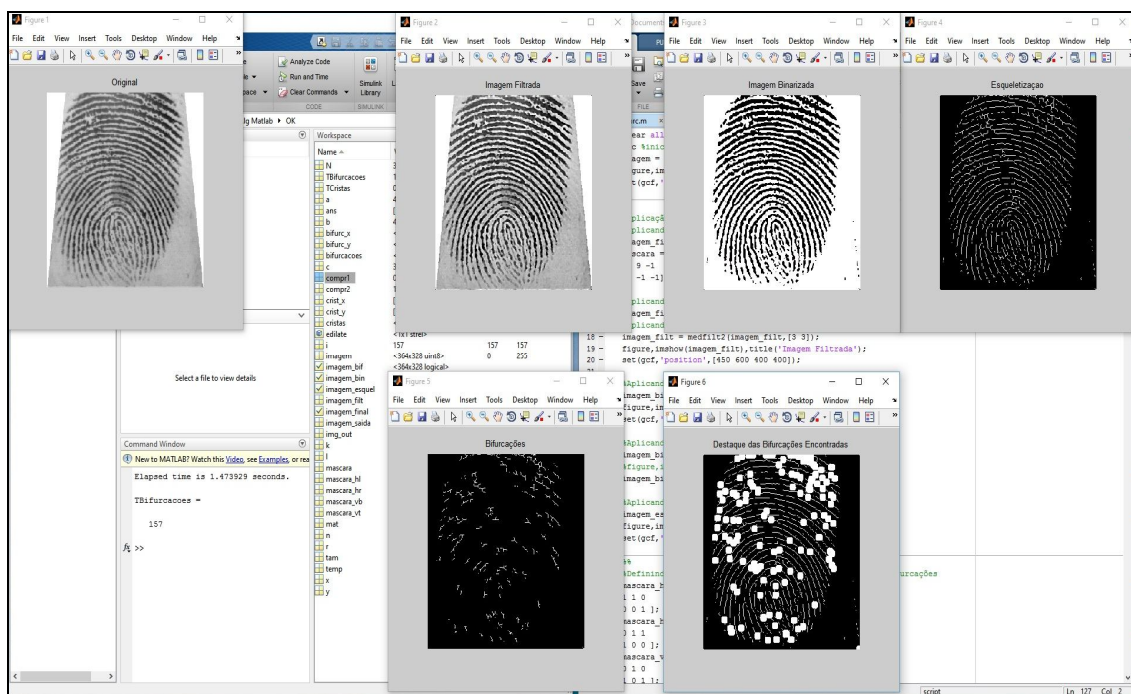
Na binarização, a IM entra em tons de cinza, e sai em preto e branco, para realce das linhas datilares e minúcias. A esqueletização facilita a extração de minúcias realçando formas morfológicas (cristas finais e bifurcações), posição (maior precisão) e orientação.

Métodos baseados em binarização realizam um processo de transformação binária seguido por um afinamento da imagem obtida, produzindo uma nova imagem a partir da qual as minúcias podem ser facilmente extraídas. (PERALTA et al., 2014).

Na Extração das Minúcias ocorre a procura do conjunto de características válidas que representam a digital. Os pontos de interesse utilizados pelo algoritmo para a verificação são as cristas bifurcadas extraídas das linhas do esqueleto na imagem, desconsiderando os demais pontos encontrados não condizentes com estas propriedades.

Após a detecção dos pontos característicos na impressão, ou seja, minúcias, o algoritmo retorna o número de bifurcações e o tempo gasto para extrair as informações da digital (Figura 14). Esse algoritmo não faz a detecção das cristas.

Figura 14 - Resultado da extração da minúcia do algoritmo A.

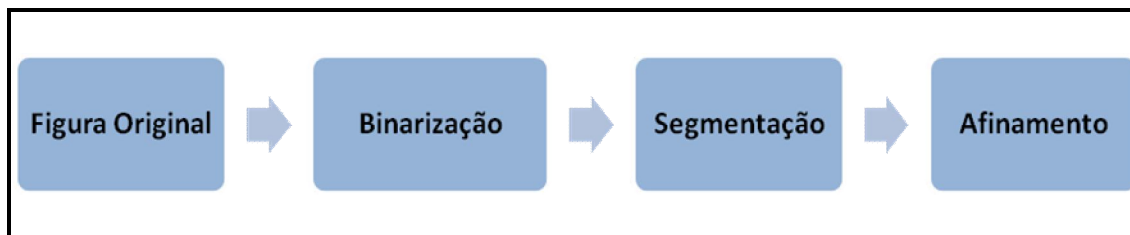


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Algoritmo B

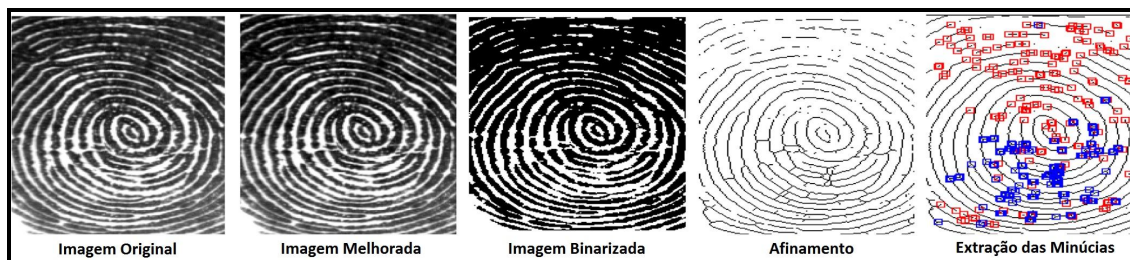
As minúcias são características únicas de impressões digitais que são usadas para identificação positiva de seus detalhes como cristas finais e bifurcações. Neste algoritmo utilizado na segunda análise, o qual foi descrito por Narayanan (2011), foi feita a extração das cristas finais e das bifurcações através do pré-processamento (Figura 15) com segmentação da IM, eliminando suas bordas, o que diminui a quantidade de falsas minúcias, demonstrados no esquema da Figura 16.

Figura 15 - Esquema pré-processamento do algoritmo B.



Fonte: Elaborado pelo autor.

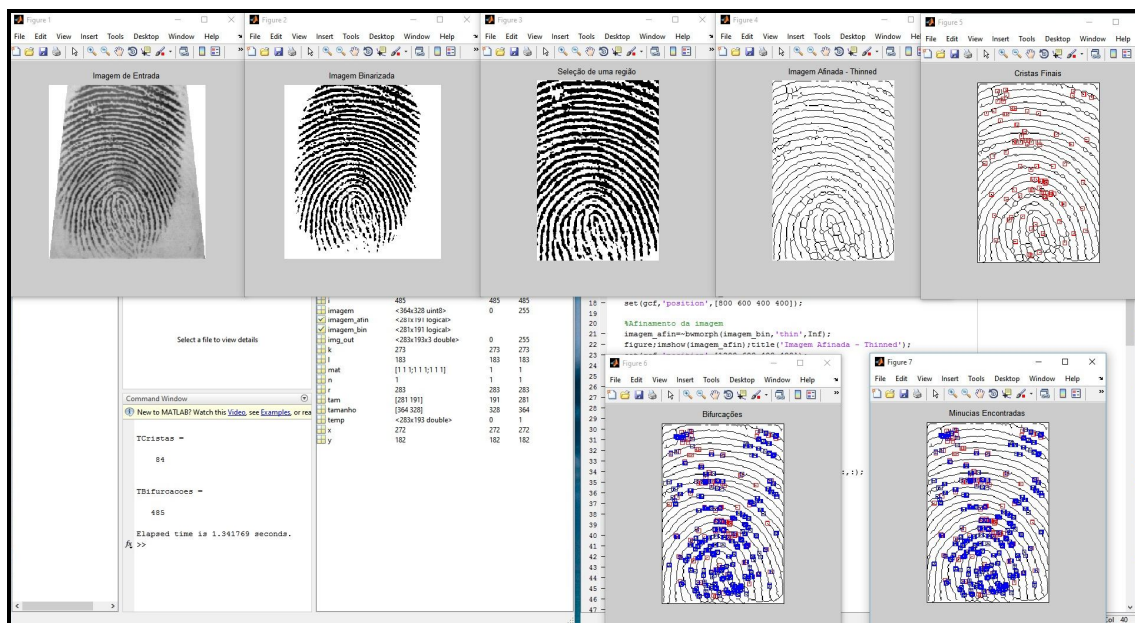
Figura 16 - Extração de minúcias de impressão digital do algoritmo B.



Fonte: Kasban (2016).

O estágio de pós-processamento é crucial para obter um reconhecimento exato das impressões digitais (ZHAO; TANG, 2002). Quanto mais falsas minúcias eliminadas houver, maior será a performance de comparação das impressões digitais (Figura 17). O tempo de comparação das impressões digitais será significativamente diminuído devido à redução de minúcias (ZHAO; TANG, 2002).

Figura 17 - Ilustração da sequência de processamento do algoritmo B.



Fonte: Elaborado pelo autor.

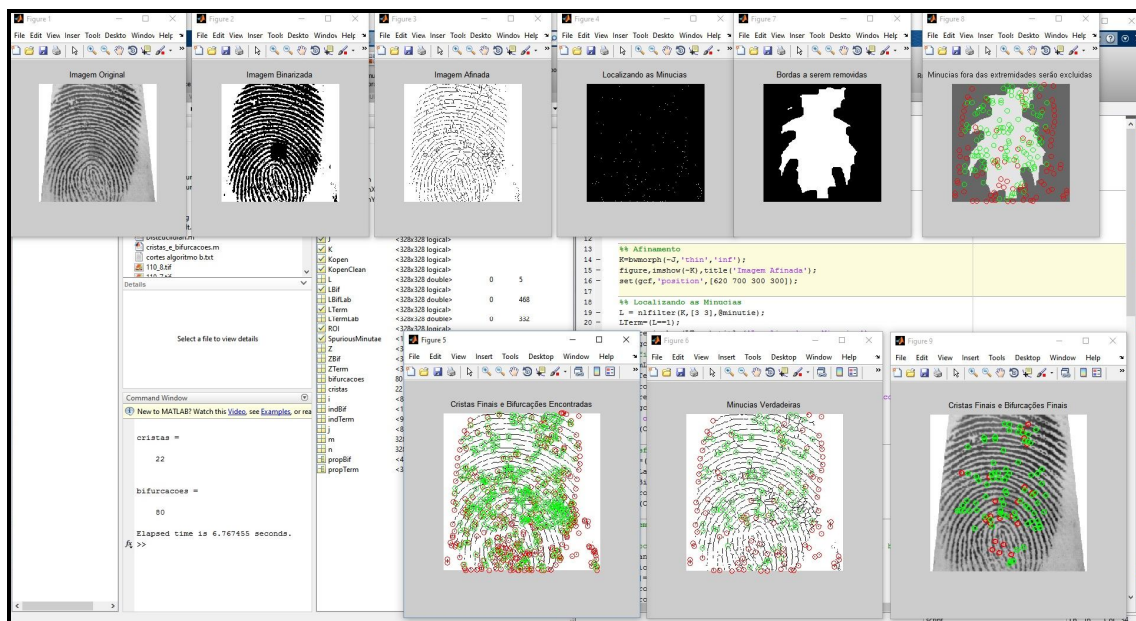
4.3.3 Algoritmo C

O algoritmo C, descrito por Kussener (2007) recebe destaque diferentemente dos algoritmos A e B por realizar como etapa do processo de extração o recorte das bordas da ID, assim eliminando um maior número de falsas minúcias. Além disso, ele faz uma limpeza após a detecção das minúcias excluindo aquelas não verdadeiras, aumentando assim a confiabilidade do número total de minúcias extraídas.

Um passo crítico na identificação automática das IDs é extrair de forma confiável a IM de entrada, assim o desempenho de um algoritmo de extração de minúcias depende muito da qualidade dessas IMs. (KUSSENER, 2007).

A Figura 18 mostra as etapas do processamento efetuado pelo algoritmo C, mostrando a eliminação das bordas da imagem da ID e sua exclusão no processo de detecção. Além disso, é mostrado a identificação e posterior eliminação das falsas minúcias encontradas.

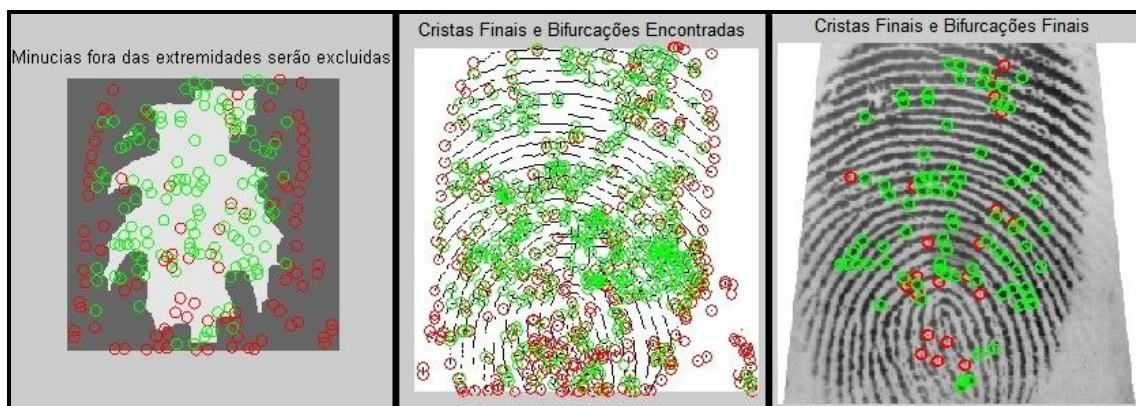
Figura 18 - Processamento do algoritmo C.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 19 exibe em destaque as fases do algoritmo C em que são efetuados a remoção das bordas da imagem eliminando as falsas minúcias reconhecidas como cristas finais. Também é mostrada na figura a identificação das falsas minúcias reconhecidas e a imagem final apenas com as verdadeiras.

Figura 19 - Etapa de corte e remoção de falsas minúcias do algoritmo C.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definido os três algoritmos (A, B, C), eles foram testados em quatro IDs, escolhidas aleatoriamente dentre as imagens representadas na Figura 20 do banco de dados cedido pelo Prof. Esp. Alex Setolin Beirigo.

Figura 20 - Banco de dados de impressões digitais.



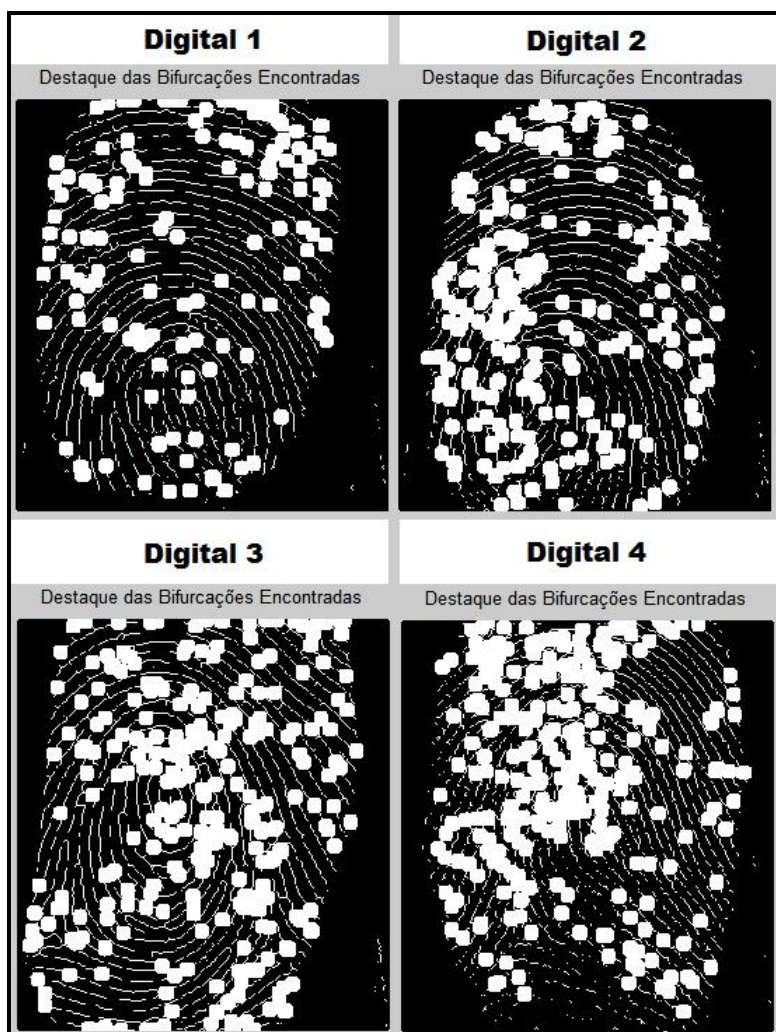
Fonte: Elaborado pelo autor.

As minúcias extraídas por esses métodos foram comparadas em termos de quantidade e tempo de processamento. No algoritmo C também foi contemplado a detecção de falsas minúcias, e sua eliminação na contagem total.

Na primeira análise, efetuada com o algoritmo A e demonstrada pela Figura 21, temos as quatro IDs na fase final de extração da minúcia (bifurcações).

O algoritmo A demonstrou o seguinte desempenho, descrito na Tabela 1. Para cada digital do algoritmo A, foi medido o tempo gasto em segundos, e o tempo médio de processamento do algoritmo A foi de 1,633 segundos.

Figura 21 - Extração de minúcias (bifurcações) do algoritmo A.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Desempenho do algoritmo A na extração das minúcias.

Digital	Cristas finais*	Bifurcações	Qtd total Minúcias	Tempo médio de processamento (segundos)
1	-	157	157	1,465
2	-	239	239	2,176
3	-	331	331	1,447
4	-	195	195	1,446
Média	-	230,5	230,5	1,633

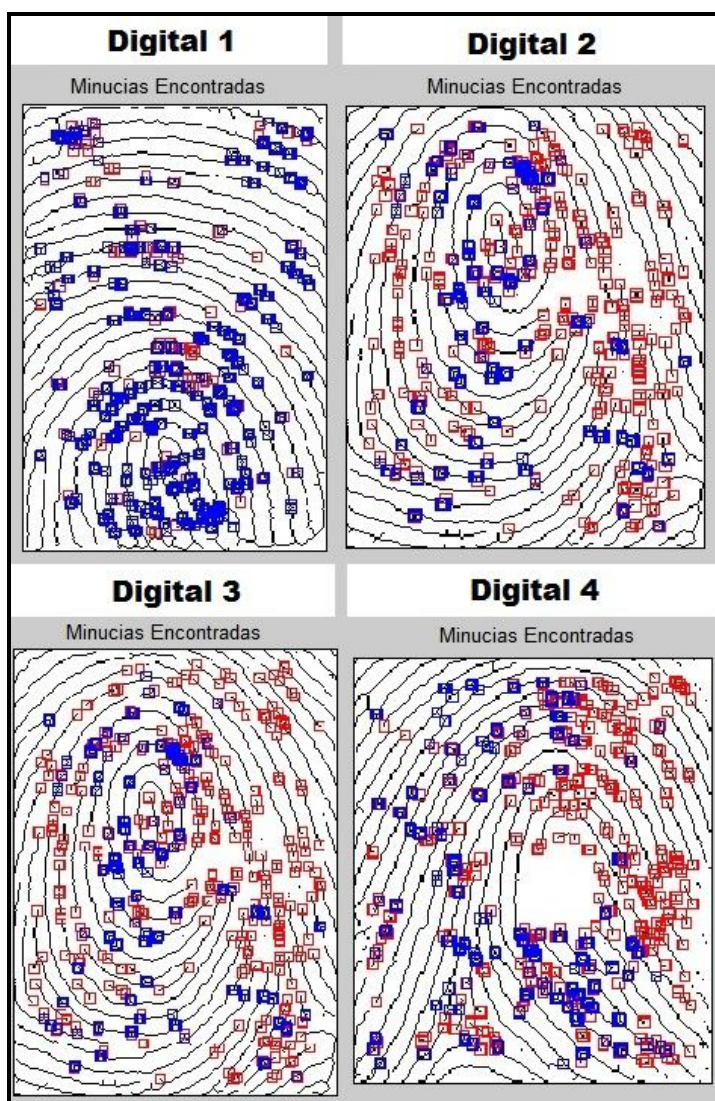
Fonte: Elaborado pelo autor.

*Esse algoritmo não extrai cristas finais, somente bifurcações.

Na segunda análise, o algoritmo B demonstrou o seguinte desempenho, descrito na Tabela 2. Para cada digital do algoritmo B, foi medido o tempo gasto em segundos. O tempo médio de processamento do algoritmo B foi de 2,370 segundos.

Na Figura 22 é mostrado as quatro IDs após a extração das minúcias pelo algoritmo B. Os pontos em vermelho são as cristas finais e os pontos em azul são as bifurcações.

Figura 22 - Extração das minúcias (cristas finais e bifurcações) do algoritmo B.



Fonte: Elaborado pelo autor.

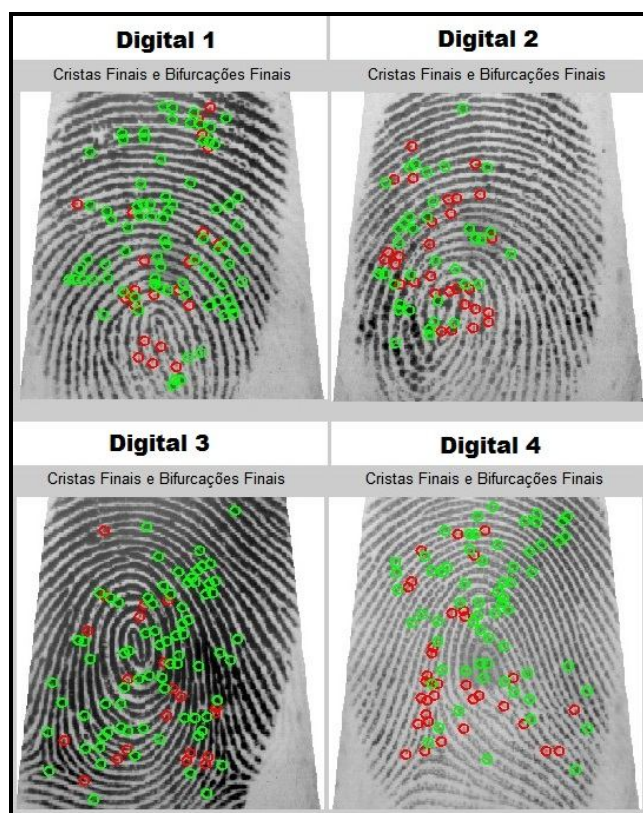
Tabela 2 - Desempenho do algoritmo B na extração das minúcias.

Digital	Cristas finais	Bifurcações	Qtd total Minúcias	Tempo médio de processamento (segundos)
1	192	161	353	2,183
2	335	374	709	3,068
3	298	206	504	2,088
4	293	232	525	2,144
Média	279,5	243,25	522,7	2,370

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na terceira análise, o algoritmo C, para cada digital foi medido o tempo gasto em segundos. O tempo médio de processamento do algoritmo C foi de 7,642 segundos. Segue na Figura 23 as quatro IMs de extração das minúcias onde os pontos vermelhos são as cristas finais e os pontos verdes as bifurcações.

Figura 23 - Extração das minúcias (cristas finais e bifurcações) do algoritmo C.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O algoritmo C demonstrou um média de 90 minúcias para cada digital analisada com média de 7,64 segundos (Tabela 3), em contradição com os resultados do trabalho de Rodrigues (2011), onde a média de minúcias detectada foi de 408, com tempo médio de 12 milissegundos, em ambas as análises procederam a eliminação de falsas minúcias. A média de minúcias encontradas no algoritmo C foi reduzida em comparação à média do trabalho relatado.

Tabela 3 - Desempenho do algoritmo C na extração das minúcias.

Digital	Cristas finais	Bifurcações	Qtd total Minúcias	Tempo médio de processamento (segundos)
1	22	80	102	6,767
2	29	36	65	7,404
3	21	75	96	7,501
4	33	64	97	8,899
Média	26,25	63,75	90,00	7,642

Fonte: Elaborado pelo autor.

Alguns problemas foram encontrados: utilizando-se o método (A e B), detectam-se muitas falsas minúcias, problema decorrente de desconectividade nas linhas datilares em consequência do afinamento. Outro problema é que, nas pontas de cada crista das impressões digitais, sempre eram detectadas minúcias finais de linha, o que não se verifica.

Para desfazer este erro foi modificado o algoritmo e foi feita uma delimitação no algoritmo C. Foi percorrida a imagem, verificando-se onde estão os limites superiores, inferiores e laterais, dessa forma não eram detectadas as pontas de cada crista como finais de linha. Dessa forma evita-se encontrar algumas falsas minúcias, ou seja, deixou de se considerar a ponta das linhas datilares como minúcia do tipo final de linha.

Muitos métodos de pós-processamento chegam a modificar a imagem afinada, removendo pontos indesejáveis. Nesta etapa foi implementado apenas o algoritmo “A” proposto por Pedronette (2005), “B” proposto por Narayanan (2011), e “C” proposto por Kussener (2007), onde eles têm em comum a extração de minúcias.

O melhor desempenho no tempo de processamento dos algoritmos A e B se deve principalmente pela característica de não detectar as falsas minúcias, assim aumentando a incidência de erros de detecção.

O algoritmo C, pós-processamento, fez uma redução de minúcias detectadas. Depois da extração de minúcias na IM de digital 1, pelo algoritmo B, foram encontradas 196 cristas finais e 161 bifurcações totalizando 345 minúcias. Após a limpeza das falsas minúcias, pelo algoritmo C, o número total de minúcias caiu para 102 minúcias, sendo 22 cristas finais e 80 bifurcações na imagem testada.

Analisando os resultados, é possível constatar que há necessidade de otimização de tempo para o algoritmo C, uma vez que todo o processo está levando em média (7,642 segundos) para realizar a extração das minúcias. No caso de dispositivos biométricos comerciais disponíveis no mercado, este tempo varia em termos de milissegundos, ou seja, dependendo da aplicação o sistema faz a extração instantânea.

É conveniente lembrar que para alguns casos a qualidade da imagem não corresponde a um padrão aceitável. Imagens borradas, com junções nas linhas datilares, são as que apresentam mais falsas minúcias sendo necessária a utilização de um algoritmo de pós-processamento.

6 CONCLUSÃO

Durante o processo de análise dos algoritmos, conclui-se que a extração de características das minúcias e a compreensão dos procedimentos são excessivamente complicados e depende muito da qualidade das IMs.

Na avaliação dos algoritmos A, B e C, o método de extração de características proposto pelo algoritmo C apresentou o melhor desempenho quando comparados ao A e ao B em relação ao número de minúcias encontradas. Já no quesito tempo de processamento, o algoritmo A se destacou, entretanto apresentou um alto número de falsas minúcias.

Pode-se constatar que os métodos de reconhecimento de IDs é uma “colcha de retalhos” de várias técnicas de processamento de imagens unidas à conceitos teóricos e práticos, que utiliza as informações estruturais das IDs para classifica-las em classes ou padrões.

Como proposta para trabalhos futuros, podem ser abordados outras perspectivas do tema, como:

- Achar o ângulo e a rotação para conseguir identificar a direção das bifurcações;
- Trabalhar com algoritmos que façam a localização e identificação da posição e rotação da ID capturada pelo leitor digital;
- Buscar algoritmos mais eficazes com menor tempo de processamento e menor identificação de falsas minúcias;
- Realizar estudo aprofundado buscando algoritmos que melhorem o pré-processamento, melhorando a qualidade das imagens a serem processadas.

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, E. Introdução à biometria. **Infowester**, 2005. Disponível em: <<http://www.infowester.com/biometria.php>>. Acesso em: 15 nov. 2015.
- AZEVEDO E.; CONCI A.; LETA F. R. **Computação gráfica: teoria e prática**. Elsevier. 2008.
- BAJA, A. A width independent fast thinning algorithm. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.7, n.4, 1984.
- BIOMETRICS technology introduction. The Biometric Consortium, 2015. Disponível em: <<http://www.biometrics.gov/Documents/biointro.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2015.
- COETZEE, L.; BOTHA, E. C. Fingerprint Recognition in Low Quality Images. **Pattern Recognition**, v.26, n.10, p. 1441-1460, 1993.
- COSTA, S.M.F. **Classificação e verificação de impressões digitais**. 2001. Dissertação (Mestrado em microeletrônica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.
- CRISAN, S.; TARNOVAN, I. G.; CRISAN, T. E. Radiation optimization and image processing algorithms in the identification of hand vein patterns. **Computer Standards & Interfaces**, v. 32, p. 130–140, 2010.
- DUNCAN, J. S.; AYACHE, N. Medical image analysis: Progress over two decades and the challenges ahead. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 22, n. 1, p. 85–105, 2000.
- ELECCION, M. Pattern Recognition – Automatic Fingerprint Identification. **IEEE Spectrum**, p. 36-45, 1973.
- FALGUERA, F. P. S. **Fusão de Métodos Baseados em Minúcias e em Cristas para Reconhecimento de Impressões Digitais**. 2008. Dissertação (Mestrado em ciências da computação) – Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 2008.
- FARINA, A.; KOVÁCS-VAJNA, Z. M.; LEONE, A. Fingerprint minutiae extraction from skeletonized binary images. **Pattern Recognition**, v.32, p.877-889, 1999.
Fingerprint Recognition. Usa, Springer, 2003.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. Addison Wesley. Publishing Company, 1987.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- HONG, L.; JAIN, A K. Integrating Faces and Fingerprints for Personal Identification. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.20, n.12, p. 1295-1307, 1998a.

- HONG, L.; JAIN, A. K. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.20, n.8, p. 777-789, 1998b.
- HOUGH TRANSFORM. **IEEE Transactions on Information Forensics and Security**, v.8, n.1, p.31-45, jan. 2013.
- HUNG, D. D. C. Enhancement and Feature Purification of Fingerprint Images. **Pattern Recognition**, v. 26, n.11, p. 1661-1671, 1993.
- INGLE, V.K.; PROAKIS, J.G. **Digital signal processing using MATLAB**. Canada: Cengage learning, 2012.
- JAIN, A. K.; HONG, L.; BOLLE, R. On – Line Fingerprint Verification. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, vol.19, n.4, p. 302-313, 1997b.
- JAIN, A. K.; HONG, L.; PANKANTI, S.; BOLLE, R. An Identity-Authentication System using Fingerprints. **Proceedings of the IEEE**, vol. 85, n.9, p.1365-1388, set, 1997a.
- JARDINI, E. A. MFIS: **Algoritmos de reconhecimento e indexação em base de dados de impressões digitais em espaço métrico**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Elétrica, 2007.
- KASBAN, H. Fingerprints verification based on their spectrum. **Neurocomputing**, v.171, p.910–920, 2016.
- KUSSENER, F. 2007. THE MATHWORKS APPLICATION ENGINEER. Disponível em <<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/16728-fingerprint-application/content/FingerPrint/html/fingerprint.html>> Acesso em 19 nov. 2015.
- LIANG, Y.; DING, X.; LIU, C.; XUE, J. Combining multiple biometric traits with an order-preserving score fusion algorithm. **Neurocomputing**, v.171, p.252–261, 2016.
- LIU, S.; SILVERMAN, M. A practical guide to biometric security technology. **IEEE Computer Society IT Pro – Security**, p. 27 – 32, jan. 2001.
- MALTONI, D.; MAIO, D.; JAIN, A. K.; PRABHAKAR, S. **Handbook of Fingerprint Recognition**. London: Springer Science. 2013.
- MARQUES FILHO, O; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.
- MATLAB ® – DESCRIÇÃO DO PRODUTO. Disponível em<<http://www.mathworks.com/products/matlab/?BB=1>>. Acesso em: 15 nov. 2015.
- MATYAS Jr.; RIHA, Z. **Biometric authentication systems**. Universitas Masarykiana, 2000.
- MEHTRE, B. M. Fingerprint Image Analysis for Automatic Identification. **Machine Vision and Applications**, v.6, n.2, p. 124-139, 1993.

- MEYER, H. Abstracts of Articles and Recent Literature. **Computers and Security**, v.18, p.149-154, 1999.
- MILLER, B. Vital Signs of Identity. **IEEE Spectrum**, v. 31, n.2, p. 22-30, 1994.
- MÜLLER, H. et al. A framework for benchmarking in cbir. **Multimedia Tools Appl.** ACM, USA, v.21, n., p. 55–73, 2003.
- NARAYANAN, S. A. 2011. FINGERPRINT MINUTIAE EXTRACTION. Disponível em <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31926-fingerprint-minutiae-extraction?s_tid=srchtitle> Acesso em 17 nov. 2015.
- NASCIMENTO, E. R. **Computação Gráfica e Processamento de Imagens**. UNEMAT. 2009
- NEWHAM, E. The Biometric Report. **New York: SJB Services**, 1995.
- PAULINO, A. A.; FENG, J.; JAIN, A. K. Latent Fingerprint Matching Using Descriptor-Based. **IEEE transactions on information forensics and security**, v.8, n.1, p.31- 45, jan. 2013
- PEDRONETTE, D. C. G.; MILANO, FADEL JUNIOR, D. **Reconhecimento de Impressões Digitais**. 2005. Trabalho de conclusão de curso (Ciências da Computação). Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação Unesp Rio Claro, 2005.
- PERALTA, D.; GALAR, M; TRIGUERO, I.; MIGUEL-HURTADO, O.; BENITEZ, J. M.; HERRERA, F. Minutiae filtering to improve both efficacy and efficiency of fingerprint matching algorithms. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v.32, p.37–53, 2014.
- JAIN, A.; HONG, L. PANKANTI, S. Biometrics: Promising frontiers for emerging identification market, p.2-16, 2000.
- RAO, K. Feature Extraction for Fingerprint Classification. **Pattern Recognition**, v 8, p. 181-192, 1976.
- RATHA, N. K.; CHEN, S.; JAIN, A. K. Adaptive Flow Orientation – Based Feature Extraction in Fingerprint Images. **Pattern Recognition**, v. 28, n.11, p.1657-1672, 1995.
- RODRIGUES, R. M.; COSTA FILHO, C. F. F.; COSTA, M. G. F. Verificação de impressões digitais usando o modelo de vetor característico baseado em grafos planares. X SBAI – **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**, v.10, p.989-994, 2011.
- ROSS, A.; JAIN, A.; QIAN, Z. Information fusion in biometrics. **Lecture Notes in computer Science**, v.24, n.13, p. 2115-2125, 2003.
- SANTOS, E.T. **Avaliação do algoritmo de “Ray tracing” em multicomputadores**. 1994. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

SANTOS, M. **Ambiente para avaliação de algoritmos de processamento de imagens médicas.** 2006. Tese (Doutorado em engenharia elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SILVA, A. S. **Protótipo de software para classificação de Impressão digital.** 1998. Trabalho de conclusão de curso (Ciências da Computação). Universidade Regional De Blumenau, 1998.

SHERLOCK, B. G.; MONRO, D. M.; MILLARD, K. Algorithm for Enhancing Fingerprint Images. **Electronics Letters**, v.28, n.18, 1992.

TAMURA, H. A Comparison of Line Thinning Algorithms from Digital Geometry Viewpoint. **Proc. of 4th Int. Jt. Conf. On Pattern Recognition**, Kyoto Japan, 1978.

VAUGHAN-NICHOLS, S. J. Voice authentication speaks to the marketplace. **IEEE Computer**, mar, 2004.

XIAO, Q.; RAAFAT, H. Combining statistical and structural information for fingerprint image processing: classification and identification. **Pattern Recognition: Architectures, Algorithms and Applications**, Word Scientific, Singapore, 1991a.

XIAO, Q.; RAAFAT, H. Fingerprint Image Post Processing a Combined Statistical and Structural Approach. **Pattern Recognition**, v.24, n.10, p. 985-992, 1991b.

ZHANG, Q.; YIN, L.; YANG, G. Unmatched minutiae: Useful information to boost fingerprint recognition. **Neurocomputing**, v.171, p.1401–1413. 2016.

ZHAO, F.; TANG, X. Duality-based Postprocessing for Fingerprint Minutiae Extraction. **Proc. of International Conference on Information Security**, p.36 -42, 2002.

APÊNDICE A - ALGORITMO A

```

EDITOR      PUBLISH      VIEW
Left/Right  Top/Bottom  Bar Position  None  Left/Right  Top/Bottom  Expand  Collapse  Expand  Collapse  Highlight current line
Single      Custom      AlphaBelize  Show line numbers
TILES      DOCUMENT BAR  SPLIT DOCUMENT  CODE FOLDING  DISPLAY
Enable datatips while editing

Algoritmo_A.m
1 - clear all, close all, clc
2 - tic %inicia a contagem do tempo
3 - imagem = imread('imprdig_4.tif');
4 - figure, imshow(imagem), title('Original');
5 - set(gcf, 'position', [0 600 400 400]);
6
7
8 %%
9 %Aplicação de Filtros para a Eliminação de Ruídos
10 %Aplicando do Filtro da Mediana
11 imagem_filt = medfiltz(imagem, [3 3]);
12 mascara = [-1 -1 -1
13            -1 9 -1
14            -1 -1 -1];
15
16 %Aplicando o Filtro Passa-Alta
17 imagem_filt = imfilter(imagem_filt, mascara, 'conv');
18 %Aplicando o Filtro da Mediana
19 imagem_filt = medfiltz(imagem_filt, [3 3]);
20 figure, imshow(imagem_filt), title('Imagem Filtrada');
21 set(gcf, 'position', [450 600 400 400]);
22
23 %Aplicando a Binarização
24 imagem_bin = im2bw(imagem_filt, 0.5);
25 figure, imshow(imagem_bin), title('Imagem Binarizada');
26 set(gcf, 'position', [900 600 400 400]);
27
28 %Aplicando o Negativo
29 imagem_bin = not(imagem_bin);
30 figure, imshow(imagem_bin), title('Imagem Negativo');
31 imagem_bin = bwmorph(imagem_bin, 'spur');
32
33 %Aplicando a Esqueletização
34 imagem_esquel = bwmorph(imagem_bin, 'skel', Inf);
35 figure, imshow(imagem_esquel), title('Esqueletização');
36 set(gcf, 'position', [1100 600 400 400]);
37
38 %%
39 %Definindo as mascaras dos Elementos Estruturantes para Bifurcações
40 mascara_hr = [ 0 0 1
41              0 0 1];
42 mascara_hl = [ 1 0 0
43              0 1 1];
44 mascara_vc = [ 1 0 0
45              0 1 0];
46 mascara_vb = [ 0 1 0
47              1 0 1];
48 mascara_vt = [ 1 0 1
49              0 1 0];
50 mascara_bt = [ 0 1 0];
51
52 %---Aplicando Elementos Estruturantes para Bifurcações---
53 imagem_saida = imerode(imagem_esquel, mascara_hr);
54 figure, imshow(img_out), title('Teste elemento Horizontal Right');
55 imagem_saida = imagem_saida + imerode(imagem_esquel, mascara_hl);
56 figure, imshow(img_out), title('Teste elemento Horizontal Left');
57 imagem_saida = imagem_saida + imerode(imagem_esquel, mascara_vc);
58 figure, imshow(img_out), title('Teste elemento Vertical Top');
59 imagem_saida = imagem_saida + imerode(imagem_esquel, mascara_vb);
60 figure, imshow(img_out), title('Teste elemento Vertical Bottom');
61
62 %---Destacando as Bifurcações encontradas---
63 %aplica dilate do tipo disco com parametro 7 (4 é o padrão)
64 edilate = strel('disk', 7);
65 imagem_saida = imdilate(imagem_saida, edilate);
66 set(gcf, 'position', [0 0 400 400]);
67
68 %%
69 imagem_bif = and (imagem_esquel, imagem_saida);
70 figure, imshow(imagem_bif), title('Bifurcações');
71 imagem_final = or (imagem_esquel, imagem_saida);
72 set(gcf, 'position', [500 0 400 400]);
73 %exibe a imagem final
74 figure, imshow(imagem_final), title('Destaque das Bifurcações Encontradas');
75 set(gcf, 'position', [900 0 400 400]);
76 toc %termina a contagem do tempo
77
78 %% Extrairndo as Minúscias
79 tam=size(imagem_esquel);
80 N=3;
81 n=(N-1)/2;
82 r=tam(1)+2*n;
83 c=tam(2)+2*n;
84 double temp(x,c); temp=zeros(x,c);
85 bifuracoes=zeros(x,c);
86 cristas=zeros(x,c);
87 temp((n+1):(end-n), (n+1):(end-n))=imagem_esquel(:,:);
88 img_out=zeros(x,3);
89 img_out(:, :, 1) = temp .* 255;
90 img_out(:, :, 2) = temp .* 255;
91 img_out(:, :, 3) = temp .* 255;
92
93 for x=(n+1+10):(tam(1)+n-10)
94     for y=(n+1+10):(tam(2)+n-10)
95         a=1;
96         for k=x-n:x+n
97             b=1;
98             for l=y-n:y+n
99                 mat(a,b)=temp(k,l);
100                 b=b+1;
101             end
102             a=a+1;
103         end
104         if mat(2,2)==0

```

```

EDITOR PUBLISH VIEW
Single Left/Right Top/Bottom Custom Bar Position Alphabetize None Left/Right Top/Bottom Expand Collapse Expand All Collapse All Highlight current line Show line numbers Enable datatips while editing
TILES DOCUMENT BAR SPLIT DOCUMENT CODE FOLDING DISPLAY

Algoritmo_A.m x
79 - N=3;
80 - n=(N-1)/2;
81 - x=tam(1)+2*n;
82 - c=tam(2)+2*n;
83 - double temp(x,c);temp=zeros(x,c);
84 - bifurcacoes=zeros(x,c);
85 - cristas=zeros(x,c);
86 - temp((n+1):(end-n),(n+1):(end-n))=imagem_esquel(:,:);
87 - img_out=zeros(x,c,3);
88 - img_out(:,1,1) = temp .* 255;
89 - img_out(:,1,2) = temp .* 255;
90 - img_out(:,1,3) = temp .* 255;
91
92 - for x=(n+1+10):(tam(1)+n-10)
93 -     for y=(n+1+10):(tam(2)+n-10)
94 -         a=1;
95 -         for k=x-n:x+n
96 -             b=1;
97 -             for l=y-n:y+n
98 -                 mat(a,b)=temp(k,l);
99 -                 b=b+1;
100 -            end
101 -            a=a+1;
102 -        end;
103 -        if(mat(2,2)==0)
104 -            cristas(x,y)=sum(sum(-mat));
105 -            bifurcacoes(x,y)=sum(sum(-mat));
106 -        end;
107 -    end;
108 - end;
109
110 - %% Encontrando as Bifurcações
111 - [bifx bify]=find(bifurcacoes==4);
112 - tamanho=length(bifx);
113
114 - TotalBifurcacoes=0;
115 - for i=1:tamanho
116 -     img_out((bifx(i)-3):(bifx(i)+3),(bify(i)-3):(bify(i)+3),1:2)=0;
117 -     img_out((bifx(i)-3):(bifx(i)+3),(bify(i)+3):(bify(i)-3),1:2)=0;
118 -     img_out((bifx(i)-3),(bify(i)-3):(bify(i)+3),1:2)=0;
119 -     img_out((bifx(i)+3),(bify(i)-3):(bify(i)+3),1:2)=0;
120
121 -     img_out((bifx(i)-3):(bifx(i)+3),(bify(i)-3),3)=255;
122 -     img_out((bifx(i)-3):(bifx(i)+3),(bify(i)+3),3)=255;
123 -     img_out((bifx(i)-3),(bify(i)-3):(bify(i)+3),3)=255;
124 -     img_out((bifx(i)+3),(bify(i)-3):(bify(i)+3),3)=255;
125 -     TotalBifurcacoes=TotalBifurcacoes+1;
126 - end
127 - TotalBifurcacoes
128 - %figure;imshow(img_out);title('Bifurcações');
129
130 - figure;imshow(img_out);title('Minúcias Encontradas');
131 - set(gcf,'position',[1300 0 400 400]);
script Ln 108 Col 5

```


APÊNDICE B - ALGORITMO B

```

Editor - D:\Documents\MATLAB\Algoritmo B.m

EDITOR PUBLISH VIEW
Single Left/Right Bar Position None Left/Right Top/Bottom Expand Collapse Expand All Collapse All Highlight current line Show line numbers Enable datatips while editing
TILES DOCUMENT BAR SPLIT DOCUMENT CODE FOLDING DISPLAY

Algoritmo B.m x
1 clear all,close all,clc
2 tic %inicia a contagem do tempo
3
4 %Lendo a Imagem de Entrada
5 imagem=imread('imprdig_4.tif');
6 tamanho=size(imagem);
7 figure;imshow(imagem);title('Imagem de Entrada');
8 set(gcf,'position',[0 600 400 400]);
9
10 imagem_bin=im2bw(imagem);
11 figure;imshow(imagem_bin);title('Imagem Binarizada');
12 set(gcf,'position',[400 600 400 400]);
13 %% Binarização
14 %imagem_bin=imagem(:,:,1)>180;
15 %figure;imshow(imagem_bin);title('Imagem Binarizada');
16 %set(gcf,'position',[310 700 300 300]);
17
18 %Aplicando o Negativo
19 %imagem_bin = not(imagem_bin);
20 %figure;imshow(imagem_bin), title('Imagem Negativo');
21
22 %Seleção de uma região menor da imagem (
23 %imagem_bin = imagem_bin([250,20:300]);
24 imagem_bin = imagem_bin(50:300,40:250);
25 figure;imshow(imagem_bin);title('Seleção de uma região');
26 set(gcf,'position',[800 600 400 400]);
27
28 %% Afinamento da imagem
29 imagem_afin=bwmorph(imagem_bin,'thin',Inf);
30 figure;imshow(imagem_afin);title('Imagem Afinada - Thinned');
31 set(gcf,'position',[1200 600 400 400]);
32
33 %% Extraindo as Minúscias
34 tam=size(imagem_afin);
35 N=3;
36 n=(N-1)/2;
37 r=tam(1)+2*n;
38 c=tam(2)+2*n;
39 double temp(r,c);temp=zeros(r,c);
40 bifurcacoes=zeros(r,c);
41 cristas=zeros(r,c);
42 temp((n+1):(end-n),(n+1):(end-n))=imagem_afin(:,:,);
43 img_out=zeros(r,c,3);
44 img_out(:,:,1) = temp .* 255;
45 img_out(:,:,2) = temp .* 255;
46 img_out(:,:,3) = temp .* 255;
47
48 for x=(n+1+10):(tam(1)+n-10)
49     for y=(n+1+10):(tam(2)+n-10)
50         a=1;
51         for k=x-n:x+n
52             b=1;
53             for l=y-n:y+n
54                 mat(a,b)=temp(k,l);
55                 b=b+1;
56             end
57             a=a+1;
58         end
59         if(mat(2,2)==0)
60             cristas(x,y)=sum(sum(-mat));
61             bifurcacoes(x,y)=sum(sum(-mat));
62         end
63     end
64 end
65
66 %% Encontrando as Cristas Finais
67 [crist_x crist_y]=find(cristas==2);
68 compr=length(crist_x);
69
70 TCristas=0;
71 for i=1:compr1
72     img_out((crist_x(i)-3):(crist_x(i)+3),(crist_y(i)-3):(crist_y(i)+3),2:3)=0;
73     img_out((crist_x(i)-3):(crist_x(i)+3),(crist_y(i)+3):(crist_y(i)+3),2:3)=0;
74     img_out((crist_x(i)-3),(crist_y(i)-3):(crist_y(i)+3),2:3)=0;
75     img_out((crist_x(i)+3),(crist_y(i)-3):(crist_y(i)+3),2:3)=0;
76
77     img_out((crist_x(i)-3):(crist_x(i)+3),(crist_y(i)-3),1)=255;
78     img_out((crist_x(i)-3):(crist_x(i)+3),(crist_y(i)+3),1)=255;
79     img_out((crist_x(i)-3),(crist_y(i)-3):(crist_y(i)+3),1)=255;
80     img_out((crist_x(i)+3),(crist_y(i)-3):(crist_y(i)+3),1)=255;
81     TCristas=TCristas+1;
82 end
83
84 TCristas
85 figure;imshow(img_out);title('Cristas Finais');
86 set(gcf,'position',[0 0 400 400]);
87
88 %% Encontrando as Bifurcações
89 [bifur_x bifur_y]=find(bifurcacoes==4);
90 compr2=length(bifur_x);
91
92 TBifurcacoes=0;
93 for i=1:compr2
94     img_out((bifur_x(i)-3):(bifur_x(i)+3),(bifur_y(i)-3),1:2)=0;
95     img_out((bifur_x(i)-3):(bifur_x(i)+3),(bifur_y(i)+3),1:2)=0;
96     img_out((bifur_x(i)-3),(bifur_y(i)-3):(bifur_y(i)+3),1:2)=0;
97     img_out((bifur_x(i)+3),(bifur_y(i)-3):(bifur_y(i)+3),1:2)=0;
98
99     img_out((bifur_x(i)-3):(bifur_x(i)+3),(bifur_y(i)-3),3)=255;
100     img_out((bifur_x(i)-3):(bifur_x(i)+3),(bifur_y(i)+3),3)=255;
101     img_out((bifur_x(i)-3),(bifur_y(i)-3):(bifur_y(i)+3),3)=255;
102     img_out((bifur_x(i)+3),(bifur_y(i)-3):(bifur_y(i)+3),3)=255;
103     TBifurcacoes=TBifurcacoes+1;
104 end
105
106 TBifurcacoes
107 figure;imshow(img_out);title('Bifurcações');
108 set(gcf,'position',[500 0 400 400]);
109
110 figure;imshow(img_out);title('Minúscias Encontradas');
111 set(gcf,'position',[900 0 400 400]);
112 toc %para a contagem do tempo
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
23
```

APÊNDICE C – ALGORITMO C

```

Editor
EDITOR PUBLISH VIEW
Single Top/Bottom Left/Right None Left/Right Top/Bottom Expand Collapse Expand Collapse All Highlight current line Show line numbers Enable datatips while editing
TILES DOCUMENT BAR SPLIT DOCUMENT CODE FOLDING DISPLAY
Algoritmo_C.m
D:\Documents\MATLAB\Algoritmo_C.m
1 %
2 clear all, close all, clc
3 tic %inicia a contagem do tempo
4 Imagem=imread('Impedig_4.jpg');
5 figure, imshow(Imagem), title('Imagem Original');
6 set(gcf, 'position', [0 700 300 300]);
7
8 % Binarização
9 A=Imagem(:,:,1)>160;
10 figure, imshow(A), title('Imagem Binarizada');
11 set(gcf, 'position', [310 700 300 300]);
12
13 % Refinamento
14 B=imopen(A, 'thin', 'inf');
15 figure, imshow(B), title('Imagem Refinada');
16 set(gcf, 'position', [620 700 300 300]);
17
18 % Localizando as Minúcias
19 Find = nlfilter(B, [3 3], @minutiae);
20 FindTerm=(Find==1);
21 figure, imshow(FindTerm), title('Localizando as Minúcias');
22 set(gcf, 'position', [190 700 300 300]);
23 % Definindo as Cristas Finais
24 FindTermLab=bwlabel(FindTerm);
25 Term=regionprops(FindTermLab, 'Centroid');
26 CentroTerm=round(cat(1, Term(:).Centroid));
27 figure, imshow(B), title('Cristas Finais e Bifurcações Encontradas');
28 set(gcf, 'position', [0 0 400 400]);
29 hold on
30 plot(CentroTerm(:,1), CentroTerm(:,2), 'ro')
31
32 % Definindo as Bifurcações
33 FindBif=(Find==3);
34 FindBifLab=bwlabel(FindBif);
35 propBif=regionprops(FindBifLab, 'Centroid', 'Image');
36 CentroBif=round(cat(1, propBif(:).Centroid));
37 plot(CentroBif(:,1), CentroBif(:,2), 'go')
38
39 % Removendo as falsas Minúcias
40 D=6;
41
42 Distance=DistEuclidian(CentroBif, CentroTerm);
43 FalsasMinúcias=Distance<D;
44 [i,j]=find(FalsasMinúcias);
45 CentroTerm(i,:)=[];
46
47 Distance=DistEuclidian(CentroBif);
48 FalsasMinúcias=Distance<D;
49 [i,j]=find(FalsasMinúcias);
50 CentroBif(i,:)=[];
51
52 Distance=DistEuclidian(CentroTerm);
53 FalsasMinúcias=Distance<D;
54
55 FalsasMinúcias=Distance<D;
56 [i,j]=find(FalsasMinúcias);
57 CentroTerm(i,:)=[];
58
59 figure, imshow(B), title('Minúcias Verdadeiras');
60 set(gcf, 'position', [630 0 400 400]);
61 hold on
62 plot(CentroTerm(:,1), CentroTerm(:,2), 'ro')
63 plot(CentroBif(:,1), CentroBif(:,2), 'go')
64 hold off
65
66 % Definindo as Minúcias nas bordas
67 C=imclose(B, strel('square', 7));
68 CClean=imfill(C, 'holes');
69 CClean=bwresopen(CClean, B);
70 CClean([1 end], :)=0;
71 ROI=imerode(CClean, strel('disk', 10));
72 figure, imshow(ROI), title('Bordas a serem removidas');
73 set(gcf, 'position', [1230 700 300 300]);
74 hold on
75 figure, imshow(ROI), title('Minúcias fora das extremidades serão excluídas');
76 set(gcf, 'position', [1550 700 300 300]);
77 alpha(0.5)
78 hold on
79 plot(CentroTerm(:,1), CentroTerm(:,2), 'ro')
80 plot(CentroBif(:,1), CentroBif(:,2), 'go')
81 hold off
82
83 % Remoção das Minúcias das extremidades
84 [m,n]=size(Imagem(:,:,1));
85 Term=subind([m,n], CentroTerm(:,1), CentroTerm(:,2));
86 temp=zeros(m,n);
87 temp(Term)=1;
88 tempTerm=temp.*ROI;
89 [CentroidTermX, CentroidTermY]=find(tempTerm);
90
91 Bif=subind([m,n], CentroBif(:,1), CentroBif(:,2));
92 temp=zeros(m,n);
93 temp(Bif)=1;
94 tempBif=temp.*ROI;
95 [CentroidBifX, CentroidBifY]=find(tempBif);
96
97 figure, imshow(Imagem), title('Cristas Finais e Bifurcações Finais');
98 set(gcf, 'position', [1250 0 400 400]);
99 hold on
100 plot(CentroidTermX, CentroidTermY, 'ro', 'linewidth', 2)
101 plot(CentroidBifX, CentroidBifY, 'go', 'linewidth', 2)
102
103 cristas=size(CentroidTermY, 1);
104 cristas
105 bifurcacoes=size(CentroidBifY, 1);
106 bifurcacoes
107 toc; %finaliza a contagem do tempo

```

```

Editor - D:\Documents\MATLAB\DistEuclidian.m
EDITOR PUBLISH VIEW
Single Top/Bottom Left/Right None Left/Right Top/Bottom Expand Collapse Expand Collapse All DISPLAY
TILES DOCUMENT BAR SPLIT DOCUMENT CODE FOLDING DISPLAY
DistEuclidian.m
1 function D=DistEuclidian(a,b)
2
3 h = waitbar(0, 'Calculo da Distancia');
4 switch nargin
5 case 1
6 [m1,n1]=size(a);
7 m2=n1;
8 D=zeros(m1,m2);
9 for i=1:m1
10 waitbar(i/m1)
11 for j=1:m2
12 if i==j
13 D(i,j)=NaN;
14 else
15 D(i,j)=sqrt((a(i,1)-a(j,1))^2+(a(i,2)-a(j,2))^2);
16 end
17 end
18 end
19 case 2
20 [m1,n1]=size(a);
21 [m2,n2]=size(b);
22 D=zeros(m1,m2);
23 for i=1:m1
24 waitbar(i/m1)
25 for j=1:m2
26 D(i,j)=sqrt((a(i,1)-b(j,1))^2+(a(i,2)-b(j,2))^2);
27 end
28 end
29 otherwise
30 error('input arguments')
31 end
32 close(h)

```