

4.3 – Desempenho do Cálculo da Orientação de Campo

A Seção 3.3 do Capítulo 3 deste trabalho mostra dois métodos para o cálculo da orientação de campo. O primeiro método realiza esse cálculo sem utilizar a propriedade da comutação. O segundo método que foi desenvolvido neste trabalho é o aperfeiçoamento do primeiro método, ou seja, ele utiliza a propriedade da comutação para reaproveitar o cálculo da somatória já realizada anteriormente e com isso consegue-se diminuir o tempo necessário para realizar o cálculo da orientação de campo. A Tabela 4.1 mostra o tempo gasto por cada método na realização desse cálculo. Nessa tabela t_{SC} representa o tempo gasto no cálculo da orientação de campo sem utilizar a propriedade da comutação e t_{CC} indica o tempo gasto nesse cálculo utilizando-se a propriedade da comutação.

Tabela 4.1 – Tempo gasto no cálculo da orientação de campo com e sem a utilização da propriedade da comutação.

Tamanho da imagem	t_{SC} (seg.)	t_{CC} (seg.)	$\frac{t_{CC}}{t_{SC}} \times 100 \%$
32 × 32	0,3910	0,0780	19,94
64 × 64	1,4380	0,2340	16,27
128 × 128	5,6550	0,9060	16,02
256 × 256	22,5310	3,6710	16,29
512 × 512	90,4100	10,7340	11,87
1024 × 1024	367,4220	35,9220	9,77

O gráfico da Figura 4.3 mostra o comportamento dos tempos t_{SC} e t_{CC} em função de N , onde N representa o número de linhas ou de colunas de uma imagem $N \times N$ pixels.

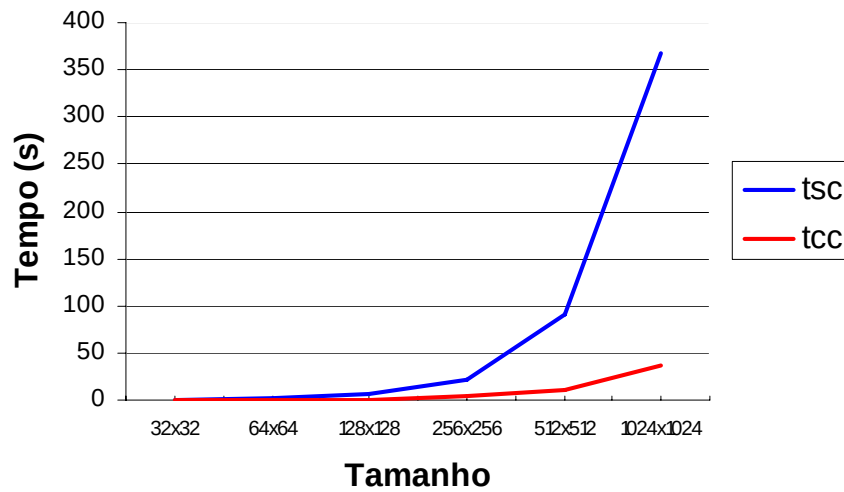


Figura 4.3 – Gráfico do tempo gasto no cálculo da orientação de campo para imagens de tamanho $N \times N$ pixels.

Era esperado na Figura 4.3, que o tempo deveria ter a mesma variação que o tamanho da imagem, ou seja, se esse tamanho dobrasse o tempo gasto para realizar as somatórias também deveria dobrar, mas isso não ocorreu, como pode ser observado nessa figura ou na Tabela 4.1. Pode-se verificar na Figura 4.3, que a relação entre o tempo e o tamanho da imagem é exponencial ao invés de ser linear (como era esperado). Esse crescimento exponencial do tempo foi porque para realizar as somatórias necessárias para o cálculo da orientação de campo para cada pixel da imagem da impressão digital, são utilizados recursos computacionais tais como alocação de memória, tempo de processamento, fila de execução, alocação de memória virtual no disco rígido no caso de falta de memória RAM, entre outros que influenciam no desempenho desse cálculo. Certos cálculos matemáticos realizados no cálculo da orientação de campo, como funções trigonométricas, exponenciação, multiplicação e divisão requerem mais recursos computacionais do que operações, como por exemplo, a adição. São por esses motivos que o tempo não possui um comportamento linear.

Na Tabela 4.1, a quarta coluna indica, em porcentagem, a relação entre o tempo t_{CC} e o tempo t_{SC} . Nessa tabela, o pior resultado obtido do cálculo da orientação de campo utilizando a propriedade da comutação é para a imagem 32×32 pixels, mas mesmo assim t_{CC} é 19,97% maior do que t_{SC} , isso representa uma melhora no tempo de processamento de aproximadamente 80%. Para as outras imagens, o desempenho melhora em torno de 84% a 90%.

4.4 – Resultados Obtidos do Cálculo do Nível de Consistência

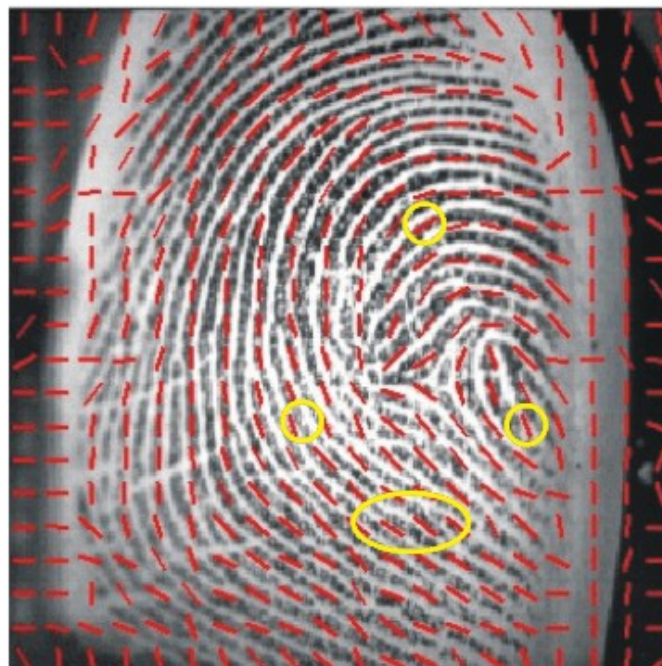
O nível de consistência foi mostrado na Seção 3.4 do Capítulo 3 deste trabalho. Esse nível determina se as direções encontradas no cálculo da orientação de campo das saliências são satisfatórias. Caso essas direções não sejam satisfatórias, elas são re-estimadas.

Neste trabalho, no cálculo do nível de consistência utilizou-se a vizinhança D com tamanho igual a 5×5 .

A Figura 4.4 mostra um exemplo de re-estimação da orientação de campo. Nessa figura as letras (a) e (b) ilustram as representações da orientação de campo original e re-estimada, respectivamente. Na Figura 4.4(b) os círculos amarelos mostram, algumas regiões que tiveram o valor de suas direções re-estimados. O algoritmo para a determinação de campo desenvolvido por Rao [17] utilizado neste trabalho possui um resultado muito bom, por isso que são poucas as regiões que tiveram que ser re-estimadas.



(a)



(b)

Figura 4.4 – Exemplo de re-estimação da orientação de campo. (a) orientação de campo original; (b) orientação de campo re-estimada.

4.5 – Resultados Obtidos na Determinação da Área de Interesse da Imagem

O algoritmo de determinação da área de interesse de uma imagem de impressão digital foi descrito na Seção 3.5 do Capítulo 3 deste trabalho. Essa área utiliza o nível de consistência (*CL*) do pixel de coordenada (x, y) para especificar se esse pixel pertence a imagem ou pertence ao fundo. Caso ele pertença a imagem, o valor de nível de cinza desse pixel não é alterado. Caso contrário, é atribuído a esse pixel o valor referente a cor branca (nesta dissertação foi utilizado o valor de 255, pois trata-se de uma imagem de 256 níveis de cinza). A Figura 4.5 ilustra a determinação da área de interesse de uma impressão digital.

Pode-se observar na Figura 4.5 que o algoritmo de determinação da área da imagem da impressão digital realmente determina essa área, mas deixa resíduos presentes nessa imagem internamente e externamente a essa área, como pode ser visualizado pelos círculos amarelos nessa figura.

O algoritmo desenvolvido neste trabalho para a remoção dos resíduos presentes na imagem de impressão digital e para prevenir que o algoritmo não elimine áreas de interesses nessa imagem é a verificação dos comprimentos horizontais (na direção de y da imagem) das áreas determinadas como área de interesse. Em relação aos resíduos, esse algoritmo verifica se o comprimento da área é menor do que uma certa quantidade (nesta dissertação foi utilizado 10 % da largura da imagem), se isso ocorrer a região da imagem é considerada como resíduo e deve ser retirada dela, caso contrário esses pixels permanecem a imagem. Para a prevenção da eliminação de alguma região na área de interesse o algoritmo também verifica o comprimento de um grupo de pixels que foi classificado como pixels dessa área. O resultado do algoritmo de remoção dos resíduos e prevenção da eliminação da área de interesse é

mostrado na Figura 4.5(c). Nesta figura pode-se observar que a imagem ficou mais limpa e sem buracos.

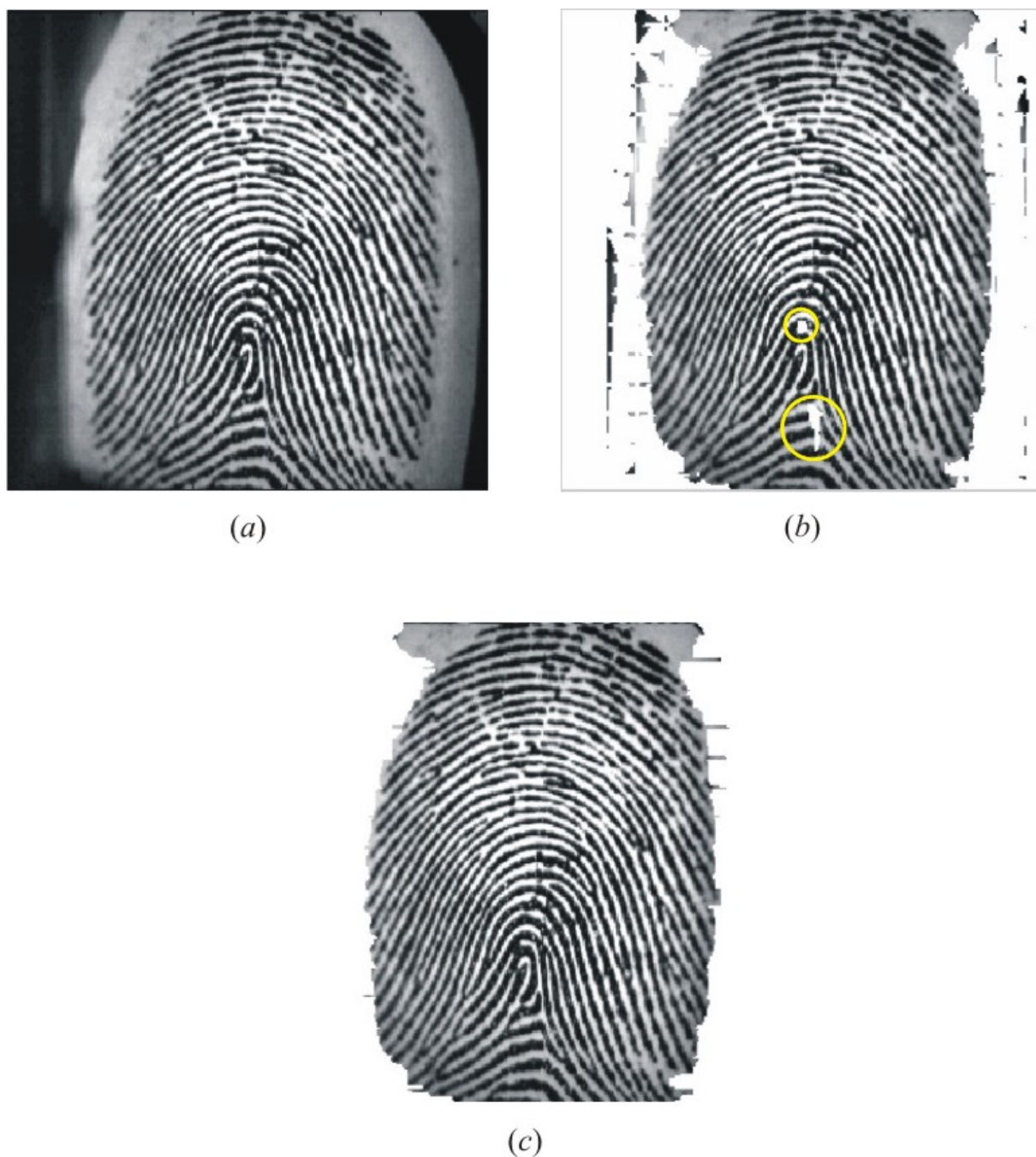


Figura 4.5 – Determinação da área de interesse. (a) imagem original; (b) área de interesse com resíduos; (c) área de interesse melhorada pela solução implementada neste trabalho.

4.6 – Resultados Obtidos da Extração de Saliências

A detecção de saliências é uma parte muito importante no reconhecimento de impressões digitais, pois a partir delas é que são determinados os pontos de reconhecimento (as minúcias). A Seção 3.6 do Capítulo 3 deste trabalho mostra dois métodos para a detecção de saliências. Ambos utilizam a convolução da imagem de impressão digital com duas máscaras h_t e h_b , a diferença entre esses dois métodos é que no segundo método, desenvolvido nesta dissertação, as posições dos elementos das máscaras são determinadas utilizando-se o algoritmo DDA resultando em uma melhor estimativa das coordenadas dos elementos dessas máscaras do que o primeiro método.

A Figura 4.6 mostra os resultados obtidos da imagem original utilizando o primeiro método (método que não utiliza o algoritmo DDA para a determinação das posições dos elementos das máscaras de convolução). O resultado da convolução da imagem com as duas máscaras h_t e h_b , são duas novas imagens, mostradas nas Figuras 4.6(b) e (c), respectivamente. Cada pixel (que localiza-se dentro da região de interesse) das imagens resultantes da convolução, é comparado com um certo limiar $T_{saliência}$ (neste trabalho utilizou-se $T_{saliência} = 0,01$). Nessa comparação, se o pixel é maior do que $T_{saliência}$, é atribuído a ele o nível de cinza preto (valor igual a zero), pois trata-se de um pixel pertencente a saliência. Caso contrário é atribuído ao pixel o nível de cinza branco (valor igual a 1), pois é um pixel pertencente a um vale. Esse processo de atribuir o valor branco ou preto ao pixel é chamado de *binarização*. As Figuras 4.6 (b) e (c) são imagens binarizadas resultantes das convoluções com as máscaras h_t e h_b , respectivamente. A Figura 4.6(d) ilustra o resultado final da detecção de saliências. Nessa figura, se um pixel de coordenada (x, y) foi classificado como saliência em ambas as imagens resultantes da convoluções com as máscaras h_t e h_b , então ele continua sendo considerado como um pixel de saliência. Caso contrário, ele é um pixel de vale.

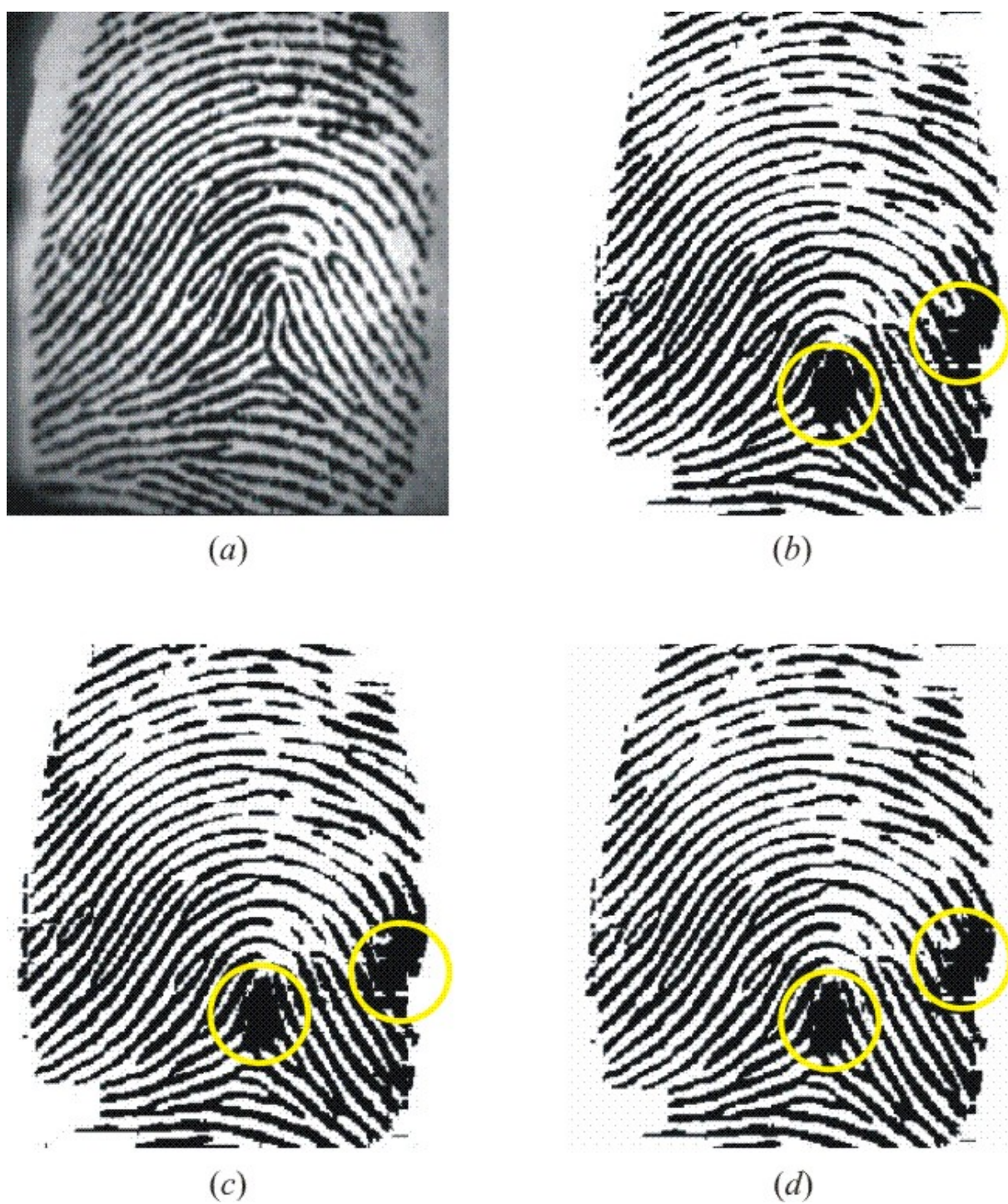


Figura 4.6 – Resultado da detecção de saliências das máscaras de convolução geradas sem a utilização do algoritmo DDA. (a) imagem original; (b) e (c) saliências detectadas pelas máscaras h_t e h_b , respectivamente; (d) resultado final da detecção de saliências.

As imagens da Figura 4.7 são geradas utilizando-se o segundo método (desenvolvido nesta dissertação), ou seja, as posições dos elementos das máscaras são determinadas utilizando-se o algoritmo DDA. A Figura 4.7(a) utiliza a mesma imagem original da Figura 4.6(a).

Pode-se observar nas Figuras 4.7 (b), (c) e (d) que ao utilizar o algoritmo DDA nas máscaras não ocorre um “borramento”, como mostrado pelos círculos amarelos nas Figuras 4.6 (b), (c) e (d), e existe um número muito menor de fusões entre as saliências. Esse borramento ocasiona a perda de todas as saliências e minúcias na região onde ele aparece e nessa mesma região ocorre o aparecimento de minúcias espúrias. Para observar melhor esse fato, considere as Figuras 4.6(d) e 4.7(d), que são os resultados finais da extração das saliências. A Figura 4.6(d) mostra, principalmente no centro da imagem, uma fusão muito grande das saliências entre si, e isso dificulta ou pode inviabilizar o algoritmo de reconhecimento de impressões digitais. Na Figura 4.7(d), as fusões entre as saliências que aparecem na Figura 4.6(d) são eliminadas.



Figura 4.7 – Resultado da extração de saliências das máscaras de convolução geradas com a utilização do algoritmo DDA. (a) imagem original; (b) e (c) saliências extraídas de h_t e h_b , respectivamente; (d) resultado final da extração de saliências.

4.7 – Afinamento das Saliências

Após a extração das saliências aplica-se o algoritmo de afinamento (ou esqueletização) para torná-las com espessura igual a um pixel. Mas, mesmo após esse afinamento, algumas linhas das saliências podem ficar com espessuras maiores do que 1 pixel, como mostrado na Figura 4.8(a). Essas linhas com espessura diferente de um pixel dificultam o reconhecimento, pois detectam falsas minúcias. Como proposto na Seção 3.7 do Capítulo 3 deste trabalho é necessário a comparação da vizinhança de cada pixel das saliências. Nessa comparação, algum pixel que possui uma das configurações da vizinhança da Figura 3.21 do Capítulo 3 desta dissertação deve ser apagado. Para exemplificar isso, a Figura 4.8(b) mostra o resultado do algoritmo de correção do afinamento de saliências desenvolvido neste trabalho aplicado a Figura 4.8(a).

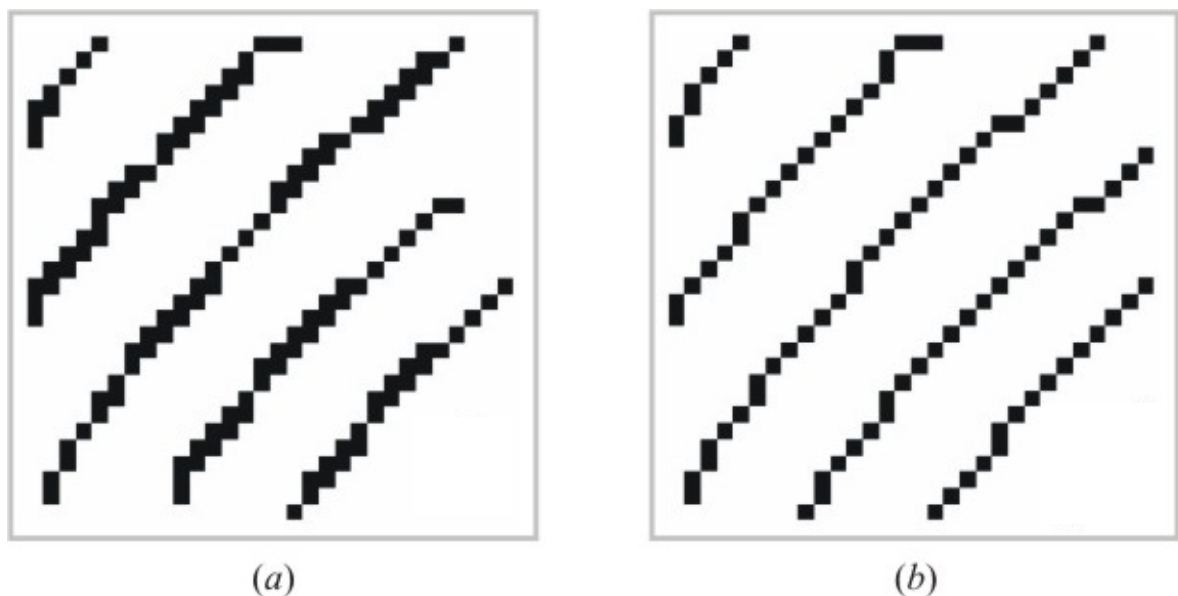


Figura 4.8 – Correção do afinamento das saliências. (a) imagem resultante do algoritmo de afinamento; (b) correção do afinamento da imagem da letra (a).

A Figura 4.9(a) mostra uma imagem de impressão digital onde as saliências já foram extraídas. Aplicando o algoritmo de afinamento nessa imagem, o resultado é ilustrado na Figura 4.9(b). Um problema que ocorre na binarização da imagem de uma impressão digital é o aparecimento de pequenos pontos brancos (destacados pelos círculos verdes na Figura 4.9(a)) nas linhas das saliências. Esses pontos resultam em deformações nas saliências quando elas são afinadas (destacadas pelos círculos verdes na Figura 4.9(b)) e indicam falsas minúcias.

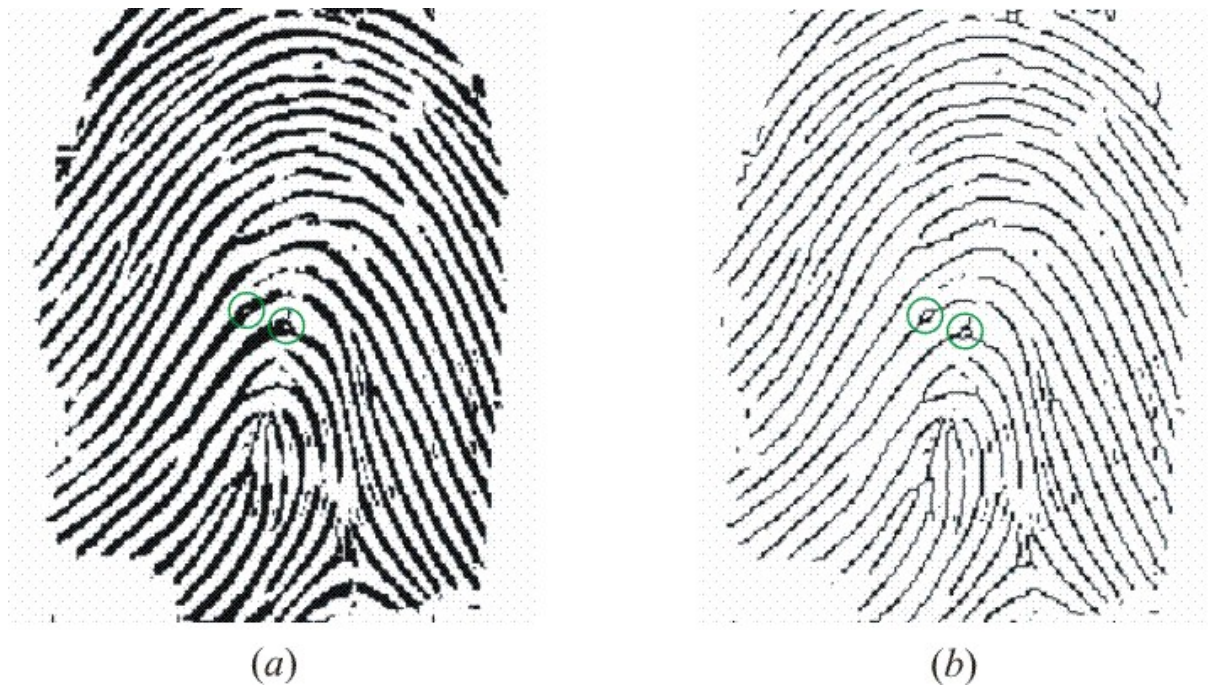


Figura 4.9 – Resultado do algoritmo de afinamento aplicado a imagem da letra (a); (b) imagem resultante do afinamento.

4.8 – Correção das Falhas Presentes nas Saliências

Em imagens de impressão digital é comum o aparecimento de falhas nessas imagens. Essas falhas podem surgir na aquisição dessas imagens devido principalmente a doenças de pele ou no processamento da imagem na binarização dela e no afinamento das saliências.

A Figura 4.10(a) mostra o resultado do afinamento de uma imagem de impressão digital. Pode-se observar nessa figura algumas falhas nas saliências, como por exemplo, a falha destacada pelo círculo vermelho.

A Figura 4.10(b) mostra o resultado obtido após aplicar a técnica de correção de falhas proposta neste trabalho na Seção 3.9 do Capítulo 3 desta dissertação na imagem da Figura 4.10(a).

A técnica de correção de falhas nas saliências, desenvolvida nesta dissertação, consegue, além de corrigir as saliências, reduzir o número de minúcias em uma imagem de impressão digital. Por exemplo, na Figura 4.10(a), o círculo vermelho mostra uma saliência com uma falha que adicionaria duas minúcias espúrias na imagem de impressão digital, mas como a saliência é corrigida, isso não acontece.

A Figura 4.11(b) mostra outro resultado da aplicação do algoritmo de correção de falhas presentes nas saliências aplicado a imagem da Figura 4.11(a).

A vantagem de reduzir o número de minúcias espúrias em uma imagem de impressão digital é diminuir o número de pontos (minúcias) para realizar os testes de comparação entre duas imagens. A diminuição desse número de pontos, além de diminuir o tempo computacional para a comparação, tende a melhorar a taxa de reconhecimento, pois algumas

técnicas de reconhecimento comparam a distribuição espacial desses pontos nessas duas imagens.

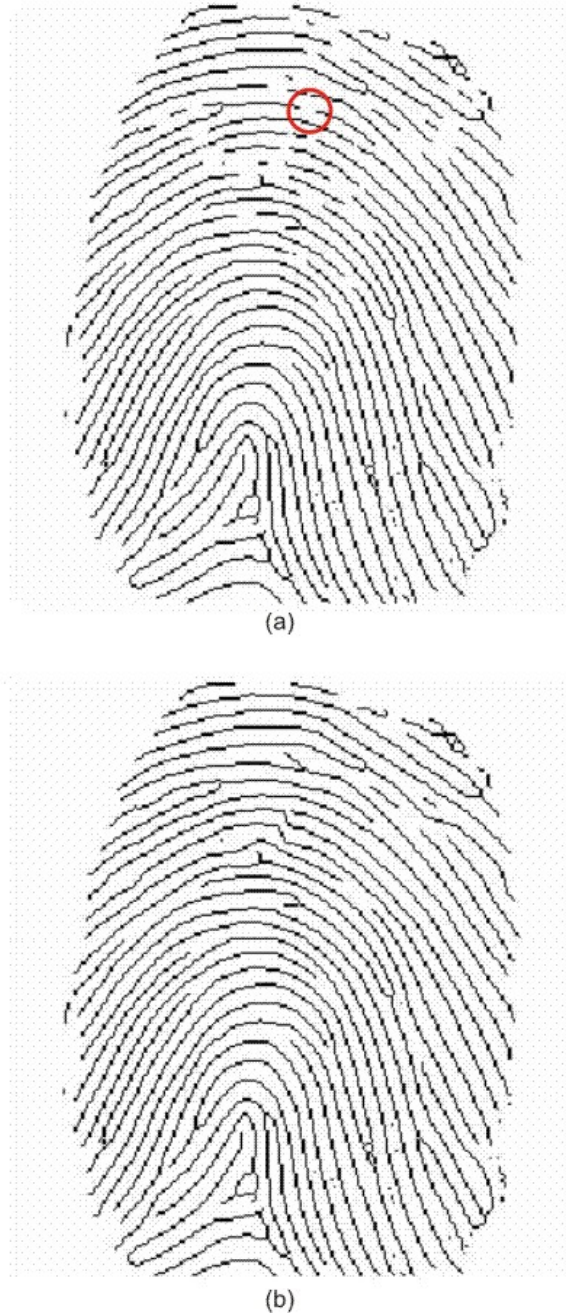


Figura 4.10 – Exemplo de correção das falhas nas saliências. (a) imagem binarizada de uma impressão digital. (b) imagem resultante após a correção das falhas na imagem da letra (a).



Figura 4.11 – Exemplo de correção das falhas nas saliências. (a) imagem binarizada de uma impressão digital. (b) imagem resultante após a correção das falhas na imagem da letra (a).

4.9 – Resultados Obtidos do Cálculo da Distância Média entre as Saliências

Como mostrado na Seção 3.11 do Capítulo 3 deste trabalho, a imagem de uma impressão digital é dividida em blocos de tamanho $w \times w$. Para cada bloco calcula-se a distância média entre as linhas das saliências e depois a média das distâncias de cada bloco, obtendo-se assim a distância média entre as saliências.

No cálculo da distância média entre as saliências, foram utilizadas seis imagens de três impressões digitais diferentes, ou seja, cada impressão digital possui seis imagens transladadas e rotacionadas. As Figuras 4.12 a 4.14 mostram essas imagens. Todas as imagens utilizadas nesse cálculo, foram obtidas do mesmo scanner de impressão digital, pois para um scanner diferente ou com uma resolução diferente, não seria possível comparar os resultados obtidos.

A Tabela 4.2 mostra os resultados obtidos do cálculo da distância média de três imagens de impressão digital diferentes, onde $d_1, d_2, \dots, d_6$, são as distâncias médias de cada um das seis imagens de cada impressão digital que foram utilizadas nesse cálculo. Os valores das distâncias médias entre as saliências são expressos em pixels.

Tabela 4.2 – Distâncias médias entre as saliências para três impressões digitais diferentes.

<i>Distâncias Média</i>	<i>Impressão digital 1</i> (pixels)	<i>Impressão digital 2</i> (pixels)	<i>Impressão digital 3</i> (pixels)
d_1	7,6875	6,4235	8,4053
d_2	7,7408	6,3820	8,3917
d_3	7,9808	6,4398	8,3946
d_4	7,9897	6,8784	8,3916
d_5	7,7353	6,7267	8,5373
d_6	7,9962	6,9720	8,4432

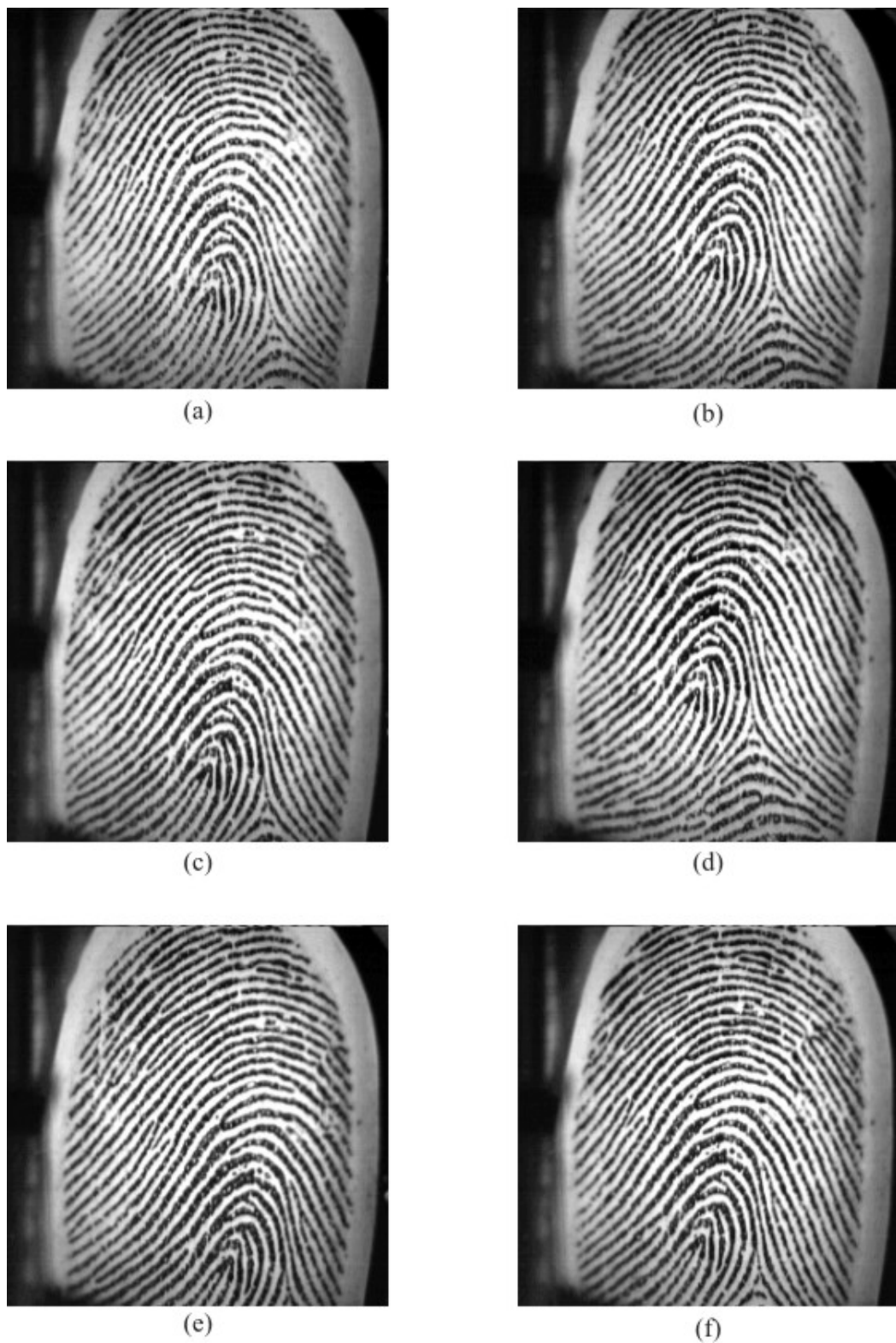


Figura 4.12 – Imagens da impressão digital 1 utilizadas para cálculo da distância: (a) d_1 ; (b) d_2 ; (c) d_3 ; (d) d_4 ; (e) d_5 ; (f) d_6 .

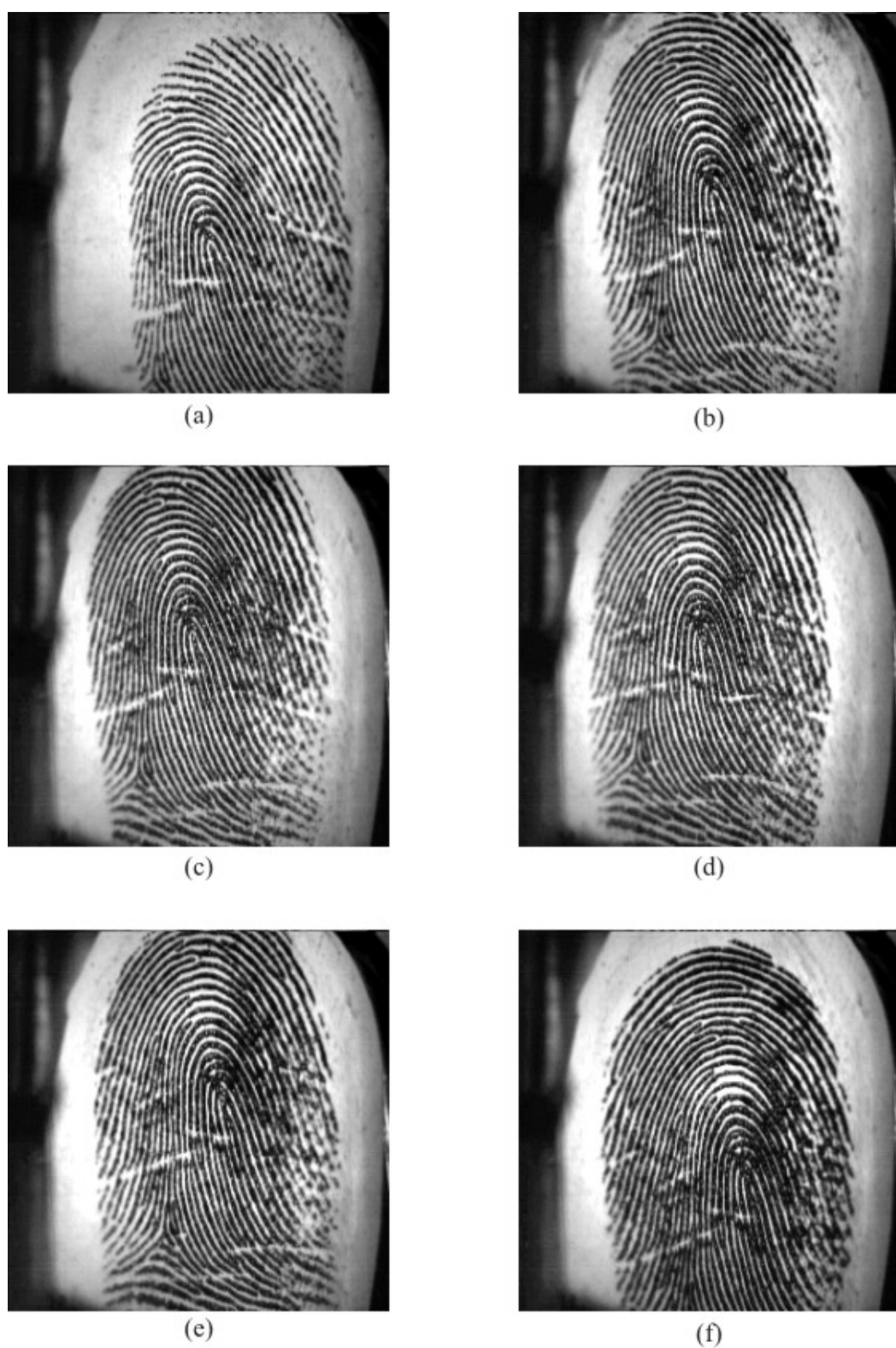


Figura 4.13 – Imagens da impressão digital 2 utilizadas para cálculo da distância: (a) d_1 ; (b) d_2 ; (c) d_3 ; (d) d_4 ; (e) d_5 ; (f) d_6 .

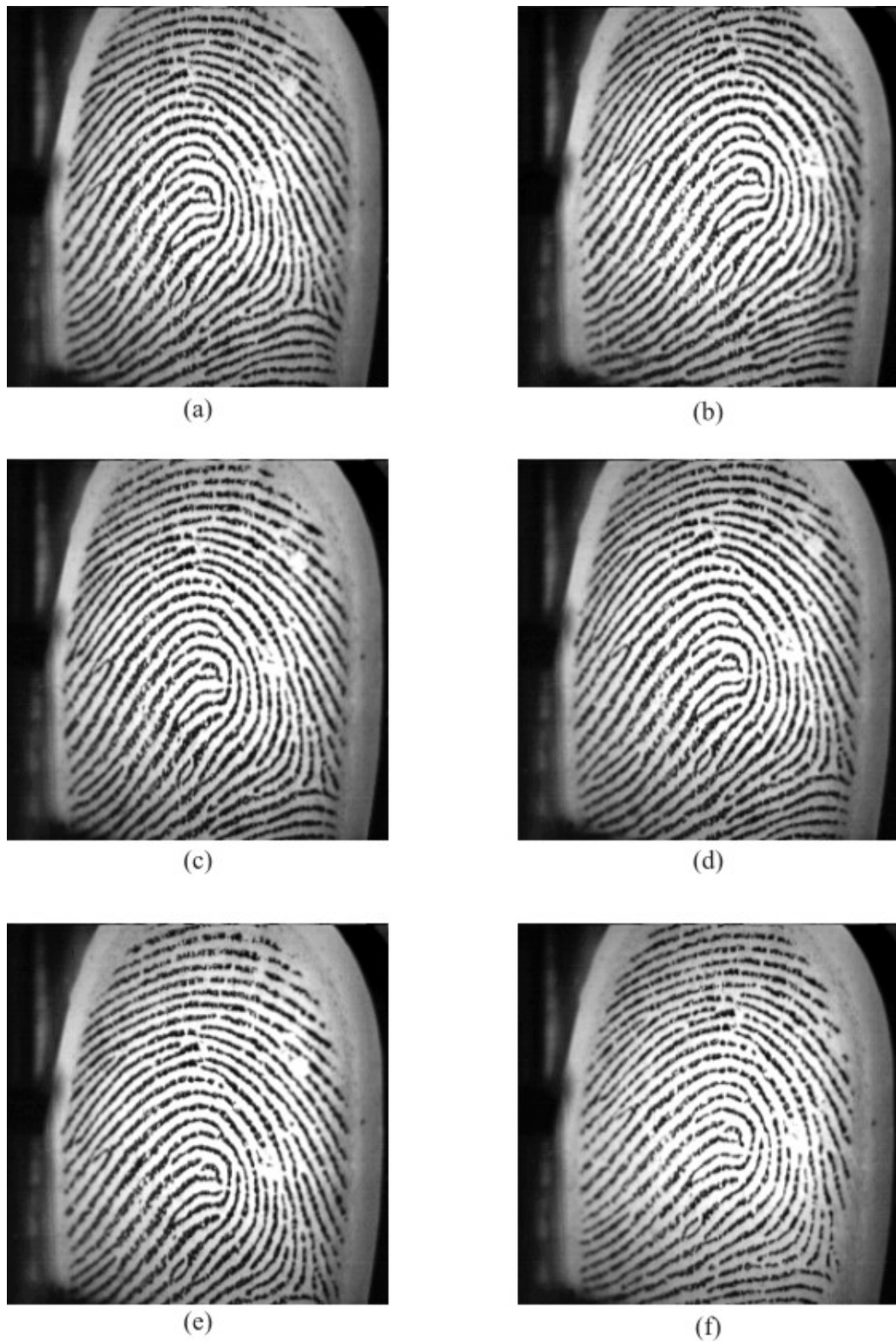


Figura 4.14 – Imagens da impressão digital 3 utilizadas para cálculo da distância: (a) d_1 ; (b) d_2 ; (c) d_3 ; (d) d_4 ; (e) d_5 ; (f) d_6 .

Pode-se observar na Tabela 4.2 que a distância média entre as saliências para cada uma das seis imagens de uma impressão digital não é um valor exato. Isso acontece porque na aquisição das imagens de impressão digital ocorreram deformações quando pressiona-se o dedo no scanner. Essas deformações são devido a variação na posição e na pressão do dedo em cada aquisição. Por exemplo, essas deformações podem resultar em linhas mais próximas em uma região onde houver mais pressão. Outra razão que o valor da distância média entre as saliências não é exato é devido a falha na imagem da impressão digital. A Figura 4.15 mostra uma falha (destacada por um círculo amarelo) em uma imagem de impressão digital em níveis de cinza. Devido a essas falhas, o primeiro passo do algoritmo do cálculo de distância média em uma imagem é filtrar-la com uma máscara 7×7 de um filtro passa-baixa, pois depois da filtragem, os pixels na região com falha ficarão com seus níveis de cinza mais próximos do valor de nível de cinza médio da região.

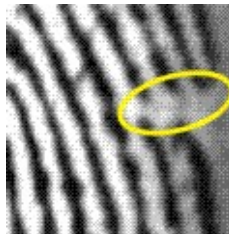


Figura 4.15 – Falha em uma região de uma imagem de impressão digital em níveis de cinza.

A distância média entre as saliências e o conjunto de sinais unidimensionais (que representam as saliências associadas a cada minúcia) são utilizados no algoritmo de reconhecimento de impressão digital desenvolvido por Jain e outros [1] para alinhar duas imagens de impressão digital.

4.10 – Resultados Obtidos na Detecção de Minúcias

Os pixels classificados como minúcias são os pontos utilizados no reconhecimento de uma impressão digital. O algoritmo para determinação desses pontos foi descrito na Seção 3.8 do Capítulo 3 deste trabalho.

A Figura 4.16 mostra os problemas que ocorrem no algoritmo de detecção de minúcias caso não sejam eliminados os pixels na correção realizada neste trabalho do algoritmo de afinamento. Se o algoritmo de detecção de minúcia é aplicado a imagem da Figura 4.16(a) o resultado são todas as falsas minúcias destacadas pelos quadrados vermelhos mostrados na Figura 4.16(b).

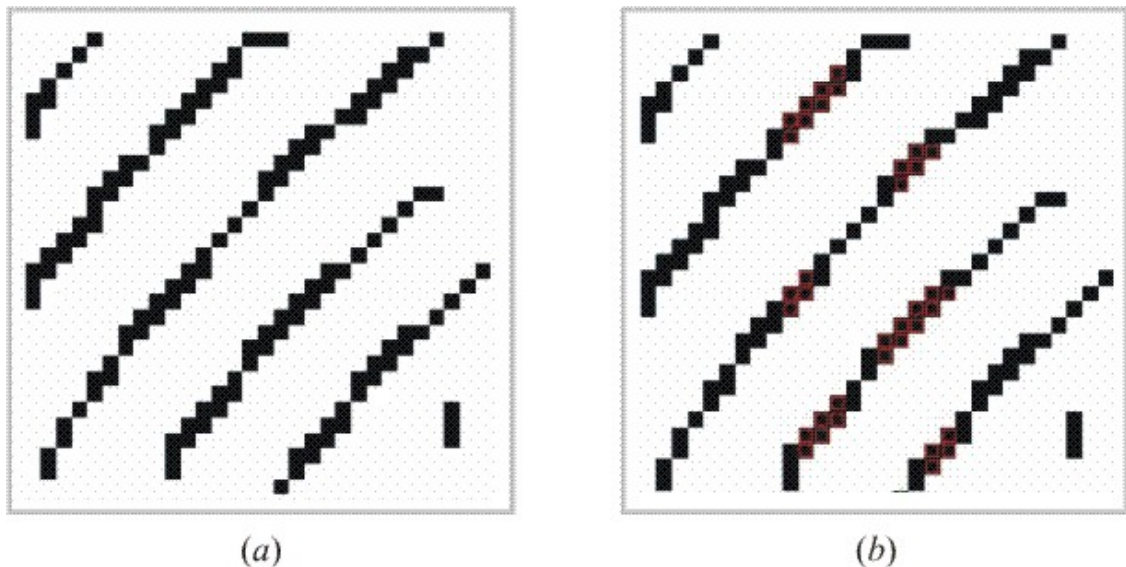


Figura 4.16 – Detecção de falsas minúcias. (a) resultado do algoritmo de afinamento; (b) resultado do algoritmo de detecção de minúcias aplicado na Figura 4.16(a).

A Figura 4.17 é um exemplo do algoritmo desenvolvido neste trabalho de detecção de minúcias em uma imagem de impressão digital. As Figuras 4.17(a) e 4.17(b) mostram a imagem binarizada de uma impressão digital e a imagem resultante do afinamento, respectivamente. A Figura 4.17(c) é o resultado do algoritmo de detecção de minúcias aplicado após o algoritmo de remoção de falhas em saliências. Pode-se verificar que o número de minúcias do tipo terminação na Figura 4.17(c) é menor do que o da Figura 4.17(b) e essa diminuição contribui para um melhor resultado do algoritmo de reconhecimento de imagens de impressão digital que utiliza as minúcias para comparação entre as imagens.

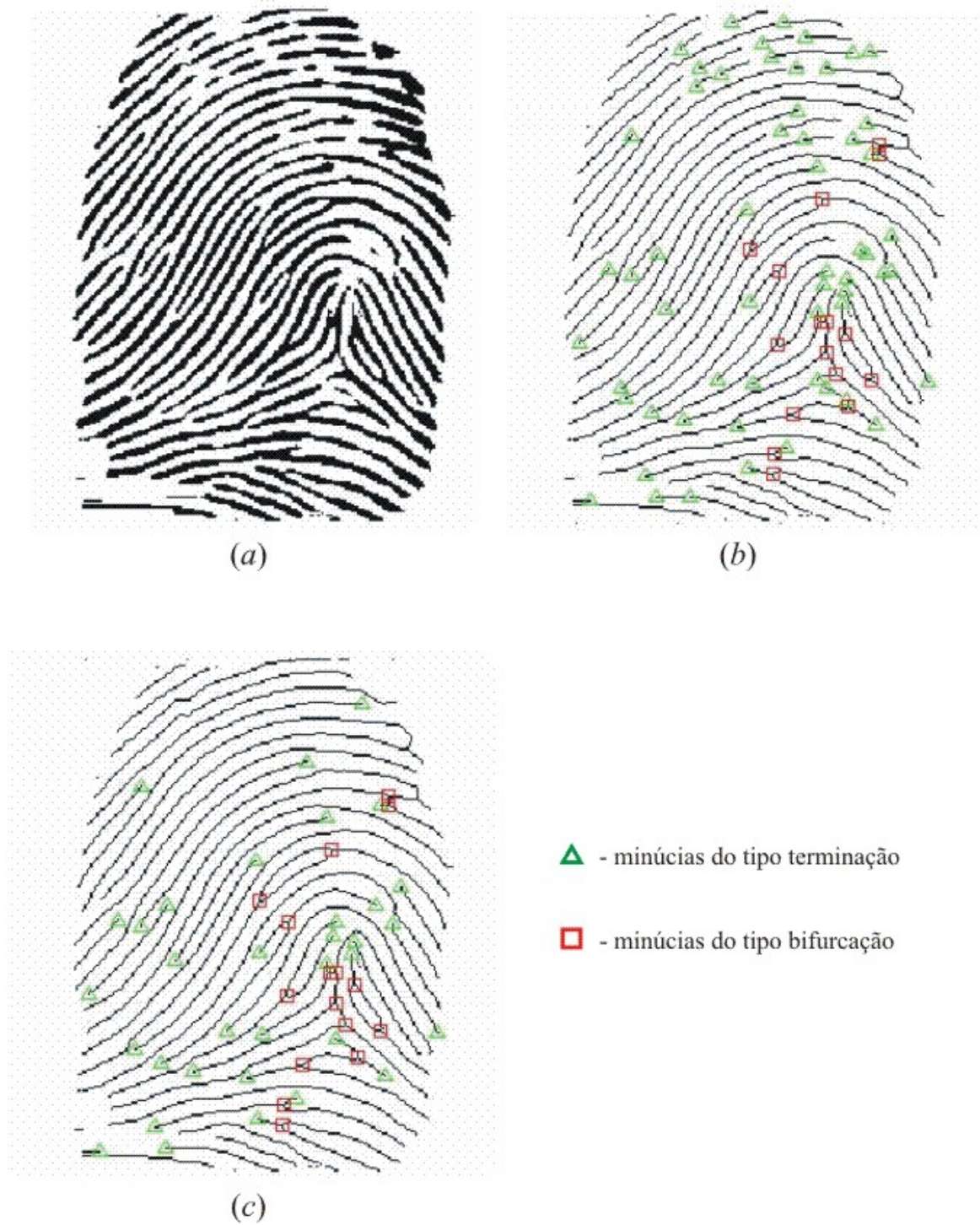


Figura 4.17 – Exemplo de detecção de minúcias. (a) imagem binarizada; (b) e (c) resultados da detecção de minúcias sem e com a remoção das falhas nas saliências, respectivamente.

Um problema que diminui o índice de reconhecimento de impressões digitais é o aparecimento de minúcias espúrias, como mostrado na Figura 4.18. Esta figura é uma ampliação da região central da Figura 4.17(b), com a finalidade de visualizar o aparecimento dessas minúcias. Nessa figura, existem quatro minúcias espúrias onde deveria existir somente uma. Neste caso, o motivo do aparecimento dessas minúcias é devido ao ponto branco que apareceu nas saliências depois que a imagem foi binarizada. Um modo de eliminar as minúcias espúrias é filtrar as minúcias, observando a configuração das saliências que as originam. Na Figura 4.18, os triângulos verdes indicam as minúcias do tipo terminação e os quadrados vermelhos as minúcias do tipo bifurcação.

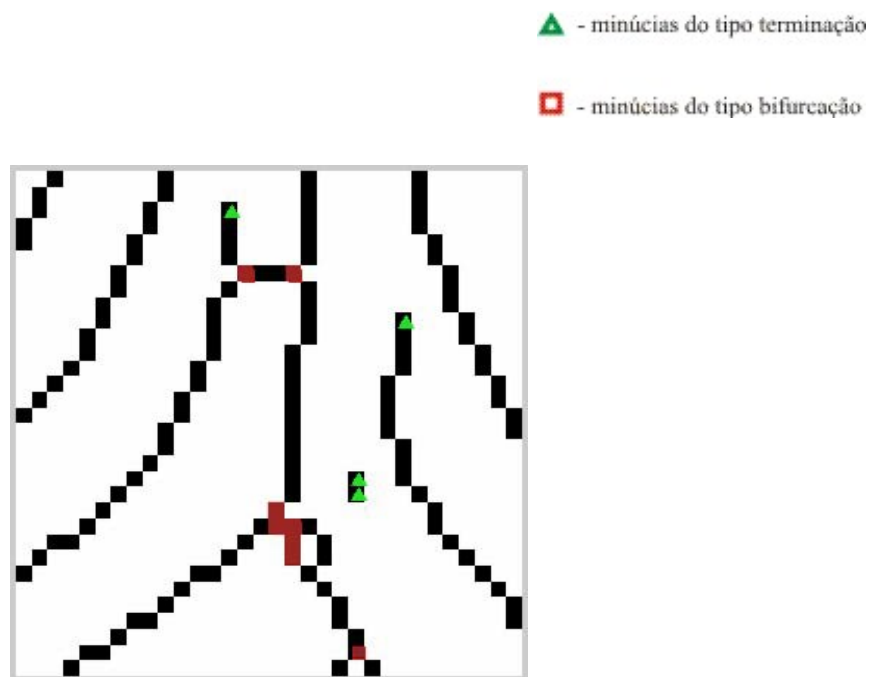


Figura 4.18 – Minúcias espúrias detectada na região central da Figura 4.13(b).

4.11 – Conclusões

Este capítulo mostrou os resultados obtidos na extração das seguintes características de imagens de impressão digital: cálculo da orientação de campo, desempenho desse cálculo com e sem a utilização da propriedade da comutação; cálculo do nível de consistência das direções encontradas no cálculo da orientação de campo; determinação da área de interesse nessa imagem; detecção, afinamento e correção das falhas presentes nas saliências; cálculo da distância média entre as saliências e detecção das minúcias nessas saliências.

Pode-se observar nos resultados obtidos neste capítulo que a orientação de campo foi bem precisa em relação as inclinações das saliências de uma impressão digital. Outro resultado importante encontrado neste capítulo, foi a otimização do cálculo da orientação de campo quando foi utilizada a propriedade da comutação, com uma redução no tempo de processamento em torno de 90% em relação ao algoritmo desenvolvido por Jain e outros [1] que não usa essa propriedade.

Nos testes realizados neste capítulo, como o algoritmo do cálculo da orientação de campo utilizado neste trabalho apresentou bons resultados, ou seja, as orientações de campo possuem as mesma inclinações das saliências. Devido a esses bons resultados poucas regiões das imagens de impressão digital tiveram que serem re-estimadas suas orientações de campo.

Nos resultados obtidos neste capítulo a área de interesse, ou seja, a região da imagem que contém os pixels pertencentes a impressão digital a ser reconhecida, também apresentaram bons resultados ocorrendo poucas discontinuidades nessa região. Para melhorar esses resultados, é proposto nesta dissertação como uma das sugestões para futuros trabalhos

a análise das regiões em torno do pixel classificado como pixel pertencente a essa região, ao invés de somente analisar o seu comprimento.

Neste capítulo os resultados obtidos na extração das saliências utilizando-se o algoritmo desenvolvido nesta dissertação foram melhores do que os resultados quando foi utilizado o algoritmo proposto por Jain e outros [1]. Essa melhoria foi em relação à diminuição do borramento entre as saliências, ocasionando posteriormente uma diminuição na detecção de minúcias espúrias.

Os resultados obtidos neste capítulo do algoritmo de afinamento apresentaram falsas minúcias quando apareceram pontos brancos (“buracos”) no resultado da extração das saliências ou quando as saliências ficaram com a aparência de um “borrão”.

Nos testes realizados neste capítulo utilizando o algoritmo de correção de falhas desenvolvido neste trabalho, os resultados obtidos foram a correção de boa parte das falhas presentes nas saliências e com isso a diminuição na quantidade de minúcias espúrias. Devido a essa diminuição, os resultados do algoritmo de reconhecimento de impressão digital poderão ser melhores.

Pode-se observar nos resultados obtidos neste capítulo que os valores da distância média entre os saliências de uma imagem de impressão digital tiveram uma pequena variação devido a deformação no momento da aquisição dessa imagem.

Nos resultados obtidos neste capítulo na detecção das minúcias da imagem de impressão digital ocorreram o aparecimento de minúcias espúrias devido aos processos de binarização e de afinamento. Mesmo com a correção das falhas presentes nas saliências ainda é necessário que seja implementado um algoritmo para filtrar as minúcias.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 – Conclusões

As impressões digitais são as linhas presentes nos dedos de cada ser humano e essas são únicas para cada um, ou seja, não existem duas pessoas que possuem a mesma forma com que as linhas da impressão se dispõem em seus dedos. Por esse motivo é que a impressão digital vem sendo utilizada para a identificação de pessoas para várias finalidades, como por exemplo, o controle de ponto dos funcionários de uma empresa, a identificação de um criminoso e o acesso de pessoas a áreas restritas de extrema segurança.

Este trabalho propõe melhoramentos no algoritmo de extração de características de imagens de impressão digital desenvolvido por Jain e outros [1]. O objetivo desta dissertação é melhorar o tempo de processamento no cálculo da orientação de campo, obter uma melhor qualidade das imagens resultantes no processo de binarização e diminuir o número de minúcias espúrias nessas imagens.

Este trabalho mostrou os resultados obtidos na extração das seguintes características de imagens de impressão digital: cálculo da orientação de campo, o desempenho desse cálculo com e sem a utilização da propriedade da comutação; cálculo do nível de consistência das direções encontradas no cálculo da orientação de campo, determinação da área de interesse

nessa imagem; detecção, afinamento e correção das falhas presentes nas saliências; cálculo da distância média entre as saliências e a detecção das minúcias nessas saliências.

Pode-se observar nos resultados obtidos nesta dissertação que a orientação de campo foi bem precisa em relação às inclinações das saliências de uma impressão digital. Outro resultado importante encontrado neste trabalho foi a otimização do cálculo da orientação de campo quando foi utilizada a propriedade da comutação, com uma redução no tempo de processamento em torno 90% em relação ao algoritmo desenvolvido por Jain e outros [1] que não usa essa propriedade.

Nos testes realizados neste trabalho, como o algoritmo do cálculo da orientação de campo apresentou bons resultados, ou seja, as orientações de campo possuem a mesma inclinações das saliências. Devido a esses bons resultados poucas regiões das imagens de impressão digital tiveram que re-estimar suas orientações de campo.

Nos resultados obtidos nesta dissertação a área de interesse, ou seja, a região da imagem que contém os pixels pertencentes a impressão digital a ser reconhecida, também apresentaram bons resultados ocorrendo poucas discontinuidades nessa região. Para melhorar esses resultados, é proposto neste trabalho como uma das sugestões para trabalhos futuros a análise das regiões em torno do pixel classificado como pixel pertencente a essa região, ao invés de somente analisar o seu comprimento.

Neste trabalho os resultados obtidos na extração das saliências utilizando-se o algoritmo DDA foram melhores do que os resultados quando foi utilizado o algoritmo proposto por Jain e outros [1]. Essa melhoria foi em relação à diminuição do borrimento entre as saliências, ocasionando uma diminuição na detecção de minúcias espúrias, posteriormente.

Os resultados obtidos nesta dissertação do algoritmo de afinamento apresentaram falsas minúcias quando apareceram pontos brancos (“buracos”) no resultado da extração das saliências ou quando as saliências ficaram com a aparência de um “borrão”.

Nos testes realizados utilizando o algoritmo de correção de falhas desenvolvido neste trabalho, os resultados obtidos foram a correção de boa parte das falhas presentes nas saliências e com isso a diminuição na quantidade de minúcias espúrias. Devido a essa diminuição os resultados do algoritmo de reconhecimento de impressão digital poderão ser melhores.

Pode-se observar nos resultados obtidos nesta dissertação que os valores da distância média entre as saliências de uma imagem de impressão digital tiveram uma pequena variação devido à deformação no momento da aquisição.

Nos resultados obtidos neste trabalho na detecção das minúcias da imagem de impressão digital ocorreram o aparecimento de minúcias espúrias devido aos processos de binarização e de afinamento. Mesmo com a correção das falhas presentes nas saliências ainda é necessário que seja implementado um algoritmo para filtrar essas minúcias espúrias.

5.2 – Contribuições Deste Trabalho

Neste trabalho foi implementado melhoramentos no algoritmo de extração de características de imagens de impressão digital desenvolvido por Jain e outros [1]. As contribuições desta dissertação são:

- Otimização do cálculo da orientação de campo utilizando a propriedade da comutação, e redução no tempo de processamento em torno de 90% em relação ao algoritmo desenvolvido por Jain e outros [1] que não usa essa propriedade nesse cálculo;
- Utilização do algoritmo DDA na geração das coordenadas dos elementos que compõem as máscaras de convolução h_t e h_b , com a finalidade de obter melhores imagens resultantes do processo de binarização. Devido a essas imagens pode-se obter uma quantidade menor de minúcias espúrias que as encontradas no algoritmo desenvolvido por Jain e outros [1];
- Desenvolvimento de um algoritmo de eliminação de resíduos presentes na região de interesse da imagem de impressão digital;
- Implementação de um algoritmo de correção de falhas em saliências de uma imagem de impressão digital que utiliza somente os valores dos pixels do resultado dessa imagem no algoritmo do afinamento, baseado somente na vizinhança de cada pixel e na continuidade das saliências da imagem;
- Desenvolvimento de um algoritmo de determinação dos pixels de uma saliência utilizando a vizinhança de oito de cada pixel dessa saliência;
- Implementação de um algoritmo de conversão das saliências associadas a cada minúcia em sinais unidimensionais. Estes sinais são obtidos a partir de duas

transformações geométricas, a translação e a rotação. Esse algoritmo utiliza a interpolação linear para a diminuição do erro causado na conversão; e

- Para cada minúcia do tipo bifurcação uma saliência é associada, mas para minúcias desse tipo existem três possíveis saliências. Foi desenvolvimento de um algoritmo para determinar para cada minúcia do tipo bifurcação a saliência que será associada a ela.

5.3 – Sugestões Para Trabalhos Futuros

As sugestões para trabalhos futuros em reconhecimento de impressões digitais são:

- Desenvolvimento de um outro método de afinamento de imagens de impressão digital utilizando as direções de cada saliência e os valores dos pixels da imagem em nível de cinza da impressão digital. Esse método deve dividir a saliência em vários trechos e para cada trecho da saliência é determinado seu respectivo ponto médio. Depois de determinado todos os pontos médios de cada trecho de uma saliência, esses pontos serão ligados dois a dois por segmentos de reta, resultando em uma saliência afinada. Aplicando-se esse método a todas as saliências, o resultando é o esqueleto de uma imagem de impressão digital;
- Preenchimento das saliências danificadas (no processo de aquisição e/ou doenças de pele) de uma impressão digital utilizando orientação de campo e analisando a possibilidade de ligação entre elas (continuidade entre essas saliências). Esse

preenchimento deverá ser realizado na imagem de impressão digital antes da binarização;

- Desenvolvimento de um algoritmo automático para determinação do limiar utilizado na técnica proposta por Jain e outros [1] de extração de saliências, pois esse limiar depende das características da imagem, como brilho e contraste;
- Verificar no domínio da frequência, os espectros das imagens original, binarizada e esqueletizada, com o objetivo de encontrar uma relação entre elas. E a partir dessa relação, desenvolver uma técnica de binarização ou afinamento nesse domínio.
- Desenvolvimento de um algoritmo para melhorar a imagem da área de interesse, ou seja, para diminuir a quantidade de resíduos pela verificação dos pixels vizinhos aos pixels classificados como pertencentes a essa área;
- A partir da extração das características de uma imagem de impressão digital, desenvolver um algoritmo que gera um código alfanumérico único para essa imagem. Esse código deve ser gerado pelo tipo de impressão digital, orientação de campo de uma determinada área dessa imagem, etc.. Com o desenvolvimento desse algoritmo, o tempo da etapa de identificação deverá diminuir, pois esse código será pré-processado e armazenado no banco de dados; e

- Desenvolvimento de um algoritmo para remoção dos pontos brancos (“buracos”) presentes nas saliências, pois esses pontos geram minúcias espúrias que dificultam ou inviabilizam o reconhecimento da impressão digital.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Jain, A. K., Hong, L., Pankanti, S. e Bolle R. An Identity-Authentication System Using Fingerprint. Proceedings of the IEEE, no. 9, pp.1365-1388, 1997.
- [2] Verma, M. R., Majumdar, A. K., Chatterjee, B. Edge Detection in Fingerprints. Pattern Recognition Society, Pattern Recognition, vol. 20, pp. 513-523, 1987.
- [3] Sherlock, B. G., Monro, D. M., Millard, K. Fingerprint Enhancement by Directional Fourier Filtering. Proc. Vis. Image Signal Process, IEEE, vol. 141, no. 2, pp. 87-94, 1994.
- [4] Xiao, Q., Raafat, H. Fingerprint Imagem Processing: A Combined Statistical and Structural Approach. Pattern Recognition Society, Pattern Recognition, vol. 24, no. 10, pp. 985-992, 1991.
- [5] O’Gorman, L., Nickerson, J. An Approach to Fingerprint Filter Design. Pattern Recognition Society, Pattern Recognition, vol. 22, no. 1, pp. 29-38, 1989.
- [6] Hung, D. C. Enhancement and Feature Purification of Fingerprint Images. Pattern Recognition, vol. 26, no. 11, pp. 1661-1671, 1993.

- [7] Onnia, V., Tico, M. Adaptive Binarization Method for Fingerprint Images. Acoustics, Speech and Signal Processing 2002. Proceedings (ICASSP '02). IEEE International Conference on Volume 4, pp. 3692-3695, 2002.

- [8] Homem, M. R. P., Costa, L. F., Mascarenhas, N. D. Skeletonization of Two-Dimensional Shapes via Fast Numerical Calculation of Vector Fields. Proceedings of the XVII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, IEEE, pp. 106 – 112, 2004.

- [9] Tong, X., Tang, X. L., Huang, J., Li, X. Fingerprint Minutiae Matching Based on Complex Minutiae Vector. Proceedings of Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE, pp. 26-29, 2004.

- [10] Hao, Y., Tan, T., Wang, Y. An Effective Algorithm for Fingerprint Matching. Proceedings of IEEE TENCON'02. IEEE, pp. 519-522, 2002.

- [11] Munir, M. U., Javed, M. Y. Fingerprint Matching using Ridge Patterns. Information and Communication Technologies, IEEE, pp. 116-120, 2005.

- [12] Lindoso, A., Entrena, L., Ongil, C. L., Liu, J. Correlation-Based Fingerprint Matching using FPGAs. Field-Programmable Technology, Proceedings IEEE, pp. 87-94, 2005.

- [13] Ko, T. Fingerprint Enhancement by Spectral Analysis Techniques. Proceedings of the 31st Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, IEEE, pp. 133-139 , 2002.

- [14] Lee, C. J., Wang, S.,Wu, K. Fingerprint Recognition using Principal Gabor Basis Function. Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video e Speech Processing, IEEE, pp. 393-396, 2001.

- [15] Gonzalez, R., Woods, R. Processamento em Imagens Digital. Editora Edgard Blücher, 2000.

- [16] Jain, A. K. Fundamentals of Digital Image Processing. Ed. Prentice Hall, 1989.

- [17] Rao, A. R. A Taxonomy for Texture Description and Identification. Ed. Spring-Verlag, 1990.

- [18] Hearn, D. W., Baker, M. P. Computer Graphics C Versions. Ed. Prentice Hall, 1996.