

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Júlio de Mesquita Filho

Pós-Graduação em Ciência da Computação

**IDENTIFICAÇÃO BIOMÉTRICA DE
PESSOAS VIA CARACTERÍSTICAS
DOS SEIOS PARANASAIS OBTIDAS
DE TOMOGRAFIAS
COMPUTADORIZADAS**

Luis Antonio de Souza Júnior

**Bauru
2016**

Luis Antonio de Souza Júnior

IDENTIFICAÇÃO BIOMÉTRICA DE
PESSOAS VIA CARACTERÍSTICAS
DOS SEIOS PARANASAIS OBTIDAS
DE TOMOGRAFIAS
COMPUTADORIZADAS

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Área de Concentração em Computação Aplicada, linha de Processamento de Imagens e Visão Computacional, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Aparecido Nilceu Marana

Co-Orientadora: Profa. Dra. Silke Anna Theresa Weber

Bauru
2016

Souza Júnior, Luis Antonio de.

Identificação biométrica de pessoas via características dos seios paranasais obtidas de tomografias computadorizadas / Luis Antonio de Souza Júnior. -- São José do Rio Preto, 2016

114 f. : il., tabs.

Orientador: Aparecido Nilceu Marana

Coorientador: Silke Anna Theresa Weber

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Computação - Matemática. 2. Processamento de imagens - Técnicas digitais. 3. Reconhecimento de padrões. 4. Pessoas - Identificação. 5. Seios paranasais - Tomografia. I. Marana, Aparecido Nilceu. II. Weber, Silke Anna Theresa. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. IV. Título.

CDU – 518.72:76

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Luis Antonio de Souza Júnior

**IDENTIFICAÇÃO BIOMÉTRICA DE PESSOAS VIA CARACTERÍSTICAS
DOS SEIOS PARANASAIS OBTIDAS DE TOMOGRAFIAS
COMPUTADORIZADAS**

Área de Concentração: Computação Aplicada

Linha de Pesquisa: Processamento de Imagens e Visão Computacional

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Aparecido Nilceu Marana
Faculdade de Ciências
UNESP - Bauru (Presidente)

Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques
EACH - USP
(Membro Externo)

Profa. Dra. Roberta Spolon
Faculdade de Ciências
UNESP - Bauru
(Membro Interno)

Aprovado em 05 de agosto de 2016.

Agradecimentos

Agradeço inicialmente aos professores Aparecido Nilceu Marana e Silke Anna Theresa Weber pela orientação, pelo apoio durante o trabalho e pela dedicação constante. Agradeço também a Unesp e a CAPES, esta pelo financiamento, e aquela, pela oportunidade concedida.

Dedico este trabalho inicialmente a meu país. Brasil, te amo imensamente e dedico todo esforço e contribuição deste trabalho a ti.

Dedico também este trabalho ao meu amigo Lucas Alexandre Ramos, que considero um irmão, e a minha família: a meus avós Márcia e Benedito, minha mãe Josoaine e minhas tias Janaína, Jisele e Juliete, sem vocês, nada disso seria possível.

Resumo

A identificação biométrica de pessoas na área forense está em constante estudo para facilitar e melhorar as maneiras de identificação mediante a avaliação de diversas estruturas que podem ser utilizadas como características biométricas. Os seios paranasais, cavidades ósseas presentes no crânio, apresentam alta individualidade e permanência, podendo ser utilizados em sistemas biométricos forenses. As maneiras de representação digital dos seios paranasais são modalidades de exames médicos, conhecidos como raios-X e tomografia computadorizada. As imagens de raios-X como ferramentas para obtenção de características dos seios paranasais apresentam alta aplicação nos trabalhos correlatos, entretanto, nesta modalidade de imagem, algumas desvantagens, como a baixa qualidade de resolução dificultam a identificação dos seios paranasais. Com a tomografia computadorizada, uma nova avaliação pode ser realizada para a obtenção das características dos seios paranasais, visto que esta modalidade de exame gera uma sequência de imagens com qualidade superior, tornando a segmentação e extração de características dos seios paranasais mais simples, intuitiva e precisa, facilitando seu uso em sistemas de reconhecimento biométrico. O objetivo desta dissertação foi desenvolver um novo método de identificação humana utilizando estruturas dos seios paranasais, obtidas de imagens de tomografia computadorizada, como características biométricas. Este método propõe avanços significativos principalmente nas etapas de segmentação e extração de características, uma vez que a segmentação das estruturas dos seios paranasais é realizada de forma automática. As características propostas como descritores são baseadas nas regiões e nas formas das estruturas dos seios paranasais. Resultados experimentais obtidos sobre uma base de dados contendo 310 imagens de tomografia computadorizada mostraram que o método automático proposto nesta dissertação obteve taxa de segmentação medida pelo Coeficiente KAPPA igual a **88,52%** na segmentação dos seios frontais e **79,30%** na segmentação dos seios maxilares. Com relação à identificação de pessoas, o método proposto obteve, no melhor caso, **8,99%** de taxa de erro igual (*EER*). Assim, nesta dissertação de mestrado concluiu-se que: os seios da face podem ser utilizados com êxito para a identificação forense de pessoas, em particular os seios frontais; que os descritores de forma para os seios frontais são mais efetivos do que os descritores de região para a identificação de pessoas, enquanto que para os seios maxilares, os descritores de forma não apresentam alto valor de discriminação entre os indivíduos e; que é possível automatizar o processo de segmentação dos seios frontais e maxilares utilizando-se imagens de tomografia computadorizada.

Palavras chave: Biometria, Seios Paranasais, Tomografia Computadorizada, Identificação Forense.

Abstract

Biometric identification of people in the forensic field is constantly being studied to facilitate and improve the identification methods through the evaluation of several structures that can be used as biometric features. The paranasal sinuses, bone cavities present in the skull, have high individuality and permanence and can be used in forensic biometric systems. The X-rays and Computed Tomography are modalities of medical examinations used for the digital representation of the paranasal sinuses. X-rays images as a tool to obtain characteristics of the paranasal sinuses are highly applicable in the related works, however, in this imaging modality, some disadvantages, such as low quality resolution, make these structures harder to acquire. With computed tomography representation, a new evaluation can be performed to obtain the paranasal sinuses features, knowing that this exam modality generates an image sequence with higher quality, making the paranasal sinuses segmentation and feature extraction simpler, intuitive and precise, facilitating its use in biometric recognition systems. The objective of this master's dissertation was the development of a new human identification method that uses paranasal sinuses structures as biometric features, obtained from computed tomography images. This method proposes significant advances, specially on the segmentation and features extraction stages, once the segmentation of the paranasal sinuses structures is performed automatically. The characteristics proposed for the feature descriptors are based on the region and shape of the paranasal structures. The experimental results obtained from a database composed by 310 computed tomography images presented that the automatic method proposed in this dissertation showed **88.52%** of frontal sinuses segmentation and **79.30%** of correct maxillary sinuses segmentation using the KAPPA coefficient. Relative to the persons identification, the proposed method presented in the best case **8.99%** of EER. Therefore, in this master's dissertation, it was concluded that: the face sinuses, and in particular the frontal sinuses, can be used with success for the forensic human identification; for the human identification based on the frontal sinuses the shape descriptors are more efficient than the region descriptors, while that for the human identification based on maxillary sinuses, the shape descriptors do not presented high discrimination performance and; it is possible to automate the frontal and maxillary sinuses segmentation process using computed tomography images.

Keywords: Biometrics, Paranasal Sinuses, Computed Tomography, Forensics Identification.

Conteúdo

1	Introdução	15
1.1	Introdução a Biometria Forense	15
1.2	Motivação	16
1.3	Objetivo	17
1.4	Estrutura da Dissertação	17
2	Seios Paranasais e TC	18
2.1	Seios Paranasais	18
2.2	Aquisição de Imagens dos Seios Paranasais	20
2.2.1	Radiografia (Raios-X)	21
2.2.2	Tomografia Computadorizada	22
2.3	Tomografia Computadorizada Tradicional	25
2.3.1	Processamento das Imagens de Tomografia Computadrizada Tradicional	26
2.4	Considerações Finais	28
3	Revisão da Literatura Sobre Identificação Humana Utilizando os Seios Paranasais	30
3.1	Trabalhos Baseados em Imagens de Raios-X	30
3.1.1	Método Manual de Reconhecimento de Pessoas Baseado em Largura e Distâncias dos Seios Frontais	30
3.1.2	Método Baseado em Seios Frontais e Septo Nasal	32
3.1.3	Método Manual Baseado na Análise de Fourier Elíptica dos Seios Frontais	33
3.1.4	Método Semiautomático Baseado na Transformada Imagem-Floresta e em Contexto da Forma dos Seios Frontais	34
3.1.5	Identificação Humana via Análise Morfológica Quantitativa e Qualitativa dos Seios Frontais	35
3.1.6	Avaliação da Independência Estatística dos Traços dos Seios Frontais	36
3.1.7	Avaliação da Variabilidade dos Seios Frontais e dos Seios Maxilares	37
3.1.8	Avaliação da Unicidade e a Permanência dos Traços dos Seios Frontais para a Identificação Humana	38
3.1.9	Determinação de Gênero Baseada em Seios Frontais	39
3.2	Trabalho Baseado em Images de Tomografia Computadorizada	40
3.2.1	Método Manual Baseado em Seios Frontais e Medidas do Crânio Utilizando Tomografia Computadorizada Espiral	40
3.3	Considerações Finais	42
3.4	Tabela Resumo dos Trabalhos Correlatos	43

4	Método Proposto	44
4.1	Segmentação Automática dos Seios Frontais	44
4.1.1	Seios Frontais com Obstrução	53
4.2	Segmentação Automática dos Seios Maxilares	55
4.3	Extração de Características	64
4.3.1	Descritores de Região	64
4.3.2	Descritores de Forma	64
4.4	Casamento (<i>Matching</i>)	67
4.5	Fusão dos Métodos Baseados em Seios Frontais e Maxilares	68
5	Resultados Experimentais	70
5.1	Base de Dados de Imagens de Tomografia Computadorizada	70
5.2	Conjunto Verdade (<i>Ground Truth</i>) e Medidas de Avaliação do Método	73
5.3	Medidas de Avaliação do Método	73
5.4	Protocolos de Comparações	75
5.5	Segmentação Automática Versus Segmentação Manual	77
5.5.1	Coefficiente Kappa	77
5.6	Avaliação da Viabilidade da Fusão	78
5.7	Avaliação da Acurácia do Método Proposto para Identificação Forense de Indiví- duos Baseada em Seios Frontais	78
5.7.1	Avaliação da Acurácia da Segmentação Automática dos Seios Frontais	78
5.7.2	Descritores de Região para os Seios Frontais	80
5.7.3	Descritores de Formas (BAS) para os Seios Frontais	83
5.8	Avaliação da Acurácia do Método Proposto para Identificação Forense de Indiví- duos Baseada em Seios Maxilares	86
5.8.1	Avaliação da Acurácia da Segmentação Automática dos Seios Maxilares	86
5.8.2	Descritores de Região para os Seios Maxilares	88
5.8.3	Descritores de Formas (BAS) para Seios Maxilares	91
5.9	Fusão	93
5.9.1	Fusão no Nível de Características	93
5.9.2	Fusão no Nível de Pontuação	96
5.10	Considerações Finais	101
5.10.1	Considerações Sobre Descritores de Região	102
5.10.2	Considerações Sobre Descritores de Formas	102
6	Discussão	103
6.1	Segmentação e Reconhecimento dos Seios Frontais	103
6.2	Segmentação e Reconhecimento dos Seios Maxilares	104
6.3	Identificação Baseada na Fusão dos Seios Frontais e Maxilares	106
6.4	Uso de Tomografias Computadorizadas e Seios Paranasais	106
7	Conclusão	108
7.1	Principais Contribuições	108
7.2	Trabalhos Futuros	110

Lista de Figuras

2.1	Ilustração dos seios paranasais da face humana (PAIVA <i>et al.</i> , 1999)	19
2.2	Imagens de TC que ilustram os seios frontais (a) e os seios maxilares (b).	21
2.3	Imagem de radiografia (esquerda) versus imagem de tomografia (direita).	22
2.4	Tecnologia de radiografia padrão (raios-X) (PAIVA <i>et al.</i> , 1999).	22
2.5	Tomógrafo Tomoscan AV da Philips (PAIVA <i>et al.</i> , 1999).	23
2.6	Esquema de aquisição da imagem de TC (PAIVA <i>et al.</i> , 1999).	23
2.7	Esquema de reconstrução tridimensional a partir das sequências de imagens bidimensionais obtidas pela TC (PAIVA <i>et al.</i> , 1999).	24
2.8	Esquema das unidades que compõem a imagem de TC tradicional (Fonte: (GARIB <i>et al.</i> , 2007)).	25
2.9	Artefatos produzidos na imagem de TC tradicional por evidências metálicas.	26
2.10	Linhas de referências para a padronização da posição da cabeça do paciente em um exame de TC (Fonte: (GARIB <i>et al.</i> , 2007)).	27
2.11	<i>Scout</i> com determinação da direção dos cortes axiais para a maxila (esquerda) e para a mandíbula (direita) (Fonte: (GARIB <i>et al.</i> , 2007)).	27
2.12	Ilustração de cortes nos três planos do espaço (GARIB <i>et al.</i> , 2007)).	28
2.13	Cortes axiais originais de um exame de TC tradicional (GARIB, 2006).	28
3.1	Medidas definidas por Ribeiro (2000), para identificação humana utilizando os seios frontais (RIBEIRO, 2000).	31
3.2	(a) Classificação dos padrões do septo nasal; (b), classificação dos seios frontais (TANIGUCHI <i>et al.</i> , 2003).	32
3.3	Ilustração da obtenção do contorno dos seios frontais de uma radiografia (CHRISTENSEN, 2005).	33
3.4	Ilustração da obtenção do contorno dos seios frontais de uma radiografia (FALGUERA; MARANA, 2008).	34
3.5	Imagem de radiografia do cadáver (SILVA <i>et al.</i> , 2009).	35
3.6	Comparação direta dos seios frontais em radiografias <i>ante</i> (A) e <i>postmortem</i> (B) utilizando as medidas propostas por Ribeiro (2000) (SILVA <i>et al.</i> , 2009).	36
3.7	Medidas utilizadas para descrição dos traços dos seios frontais, conduzidas em variáveis para análise estatística. (BESANA; ROGERS, 2010).	37
3.8	Imagens adquiridas com os posicionamentos para avaliação das variações dos seios maxilares (esquerda) e frontais (direita) (BOLZAN; TUCUNDUVA, 2012).	38
3.9	Medidas estabelecidas por (RIBEIRO, 2000). (PATIL <i>et al.</i> , 2012).	39
3.10	Medidas dos seios frontais propostas por (BELALDAVAR <i>et al.</i> , 2014).	40

3.11	Algumas das medidas utilizadas: (a) Largura do seio frontal direito, (b) Largura do seio frontal esquerdo, (c) Altura do seio frontal direito, (d) Largura do seio frontal direito, (e) Largura total dos seios frontais, (f) Distância entre os pontos mais altos de cada seio frontal, (g) e (h) Distância entre o ponto mais alto do seio frontal e sua lateral, para o direito e esquerdo respectivamente (UTHMAN <i>et al.</i> , 2009).	41
3.12	Medidas propostas pelo método de Uthman <i>et al.</i> (2009).	42
4.1	Diagrama da Segmentação Automática dos Seios Frontais realizada pelo método proposto.	45
4.2	Ilustração da primeira binarização realizada pelo método proposto: (a) Imagem de entrada I ; (b) Histograma h de I (com eixo y logaritmico) e (c) Imagem binarizada B	46
4.3	Ilustração do processo de obtenção da região R_1	47
4.4	Ilustração do processo de obtenção da imagem binarizada B_2 : (a) Imagem I_2 e (b) Imagem B_2	48
4.5	Definição dos novos limites (superior e inferior) da região R_2	49
4.6	Imagem binarizada B_3 , dentro da região de interesse R_2	49
4.7	Exemplo de região R_2 que satisfaz a primeira parte do Algoritmo 1 (linhas 3-6). A linha vermelho exibe o limite inferior da região R_3	51
4.8	Exemplo de região R_2 em que é necessária a execução da segunda parte do Algoritmo 1 (linhas 7-19) para a definição do limite inferior da região R_3 . Os marcadores verdes representam os centróides de cada estrutura branca da imagem. . .	51
4.9	Ilustração de todas as regiões de interesse definidas pelo método de segmentação automática dos seios frontais.	52
4.10	Resultado da etapa de segmentação de uma imagem de tomografia computadorizada com: hemisférios segmentados.	52
4.11	Ilustração da segmentação dos seios frontais com obstrução em um dos hemisférios com: (a) Definição da região R_3 e (b) Resultado da Segmentação da Imagem. (c) I cortada pelos limites definidos pela região R'_2 e (d) Imagem I_3	54
4.12	Ilustração da segmentação dos seios frontais com obstrução em um dos hemisférios com: (a) Definição da região R'_2 e (b) Resultado da Segmentação da Imagem com tratamento de hemisférios obstruídos.	54
4.13	Diagrama de processamento para a obtenção dos seios maxilares.	55
4.14	Imagem de entrada I_1	56
4.15	Imagem equalizada I_{eq} . As bordas brancas que circundam os seios maxilares tornam-se mais claras após a equalização do histograma de I_1	56
4.16	Imagem B_{eq} , resultado da binarização da imagem I_{eq}	57
4.17	Definição dos limites superior, esquerdo e direito. Os dois últimos utilizando a função f , definida na Equação 4.2	58
4.18	Imagem B_2 , definida a partir da aplicação dos limites superior, esquerdo e direito de R_1 em I_1	59
4.19	Definição do limite inferior de R_1 , utilizando a função g , definida na Equação 4.3. . .	59
4.20	Processo de fechament morfológico para segmentação dos seios maxilares: (a) Imagem B_3 e (b) imagem B_{closed}	60
4.21	Definição da imagem I_{blur} , resultado da suavização da imagem de entrada I_1 . . .	61
4.22	(a) Imagem B_{blur} , obtida a partir da binarização da imagem I_{blur} e; (b), B_4 , recorte de B_{blur}	61

4.23	Imagem B_4 , obtida a partir do processamento das estruturas da imagem B_{blur} .	62
4.24	Imagem I_{out} , imagem final do processamento referente aos seios maxilares, utilizando as imagens B_{closed} e B_4 .	63
4.25	(a) Imagem de entrada; (b) Seios maxilares na imagem B_4 ; (c) Seios maxilares na imagem I_3 .	63
4.26	Os quatro primeiros pares de raios de um ponto p_i . Como exemplo, os pontos p_{i+1} e p_{i-1} pertencem à vizinhança $h_1(p_i)$ e estão conectados a p_i por meio dos vetores em azul denominados V_{i+1} e V_{i-1} , respectivamente (SOUZA; MARANA, 2013).	65
4.27	(a) Esquema de extração de características na abordagem de região, gerando vetores de características compostos por medidas referentes a área, perímetro e máxima distância e ; (b) Esquema de extração de características na abordagem de descrição de formas. D refere-se ao descritor de formas adquirido pelo método BAS . Todos os descritores de características apresentam valores entre 0 e 1, considerando a normalização realizada.	67
4.28	Diagrama da fusão no nível de características. $SFeSM$ representam os vetores de características dos seios frontais e seios maxilares, respectivamente.	69
4.29	Diagrama da fusão no nível de pontuação.	69
5.1	Amostras de imagens de tomografia computadorizada da base de dados utilizada nos experimentos para os seios frontais. As imagens de cada coluna correspondem à sequência de imagens obtidas do exame de tomografia de um determinado indivíduo.	71
5.2	Amostras de imagens de tomografia computadorizada da base de dados utilizada nos experimentos dos seios maxilares. As imagens de cada coluna correspondem à sequência de imagens obtidas do exame de tomografia de um determinado indivíduo.	72
5.3	(a) Exemplos de imagens do conjunto verdade dos seios frontais e (b) Exemplos de imagens do conjunto verdade dos seios maxilares.	73
5.4	Curvas das distribuições das pontuações (<i>scores</i>) das comparações genuínas e impostoras. (JAIN <i>et al.</i> , 2004).	74
5.5	Representação geométrica da taxa EER (MALTONI <i>et al.</i> , 2003).	75
5.6	Representação da curva ROC.	75
5.7	Protocolo de comparação dos descritores de características para a geração das pontuações genuínas.	76
5.8	Protocolo de comparação dos descritores de características para a geração das pontuações impostoras.	76
5.9	Métrica <i>Cohens Kappa</i> (MENZE <i>et al.</i> , 2012) utilizada para a comparação entre as segmentações automática e manual de cada imagem de TC dos seios frontais.	79
5.10	Caso em que o método proposto falha ao tentar segmentar os seios frontais. Isto ocorre por causa de obstruções existentes na cavidade dos seios frontais.	79
5.11	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação automática dos seios frontais.	81
5.12	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação manual dos seios frontais.	81

5.13	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios frontais com segmentação automática.	82
5.14	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios frontais com segmentação manual.	82
5.15	Curvas ROC de todos os 4 casos ilustrados para descritores de região: descritores de região completos para segmentações automática e manual e descritores compostos per perímetro e máxima distância, para segmentações automática e manual dos seios frontais.	83
5.16	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de forma BAS como característica biométrica e segmentação automática dos seios frontais.	84
5.17	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de formas BAS como característica biométrica e segmentação manual dos seios frontais.	85
5.18	Curvas ROC obtidas com o descritor de formas BAS aplicado sobre as imagens segmentadas manualmente (conjunto verdade) e sobre as imagens segmentadas automaticamente pelo método proposto.	86
5.19	Métrica <i>Cohens Kappa</i> (MENZE <i>et al.</i> , 2012) utilizada para a comparação entre as segmentações automática e manual de cada imagem de TC dos seios maxilares.	87
5.20	Caso em que o método proposto nesta dissertação para a segmentação automática dos seios maxilares falha, pois há conexão entre a área dos seios maxilares com outras regiões da imagem.	87
5.21	Distribuições das pontuações de casamentos genuínos e casamentos impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação automática dos seios maxilares.	89
5.22	Distribuições das pontuações de casamentos genuínos e casamentos impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação manual dos seios maxilares.	89
5.23	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios maxilares com segmentação automática.	90
5.24	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios maxilares com segmentação manual.	90
5.25	Curvas ROC de todos os 4 casos ilustrados para descritores de região: descritores de região completos para segmentações automática e manual e descritores compostos per perímetro e máxima distância, para segmentações automática e manual dos seios maxilares.	91
5.26	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de forma BAS como característica biométrica e segmentação automática dos seios maxilares.	92
5.27	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de forma BAS como característica biométrica e segmentação manual dos seios maxilares.	92

5.28	Curvas ROC obtidas com o descritor de formas BAS aplicado sobre as imagens segmentadas manualmente (conjunto verdade) e sobre as imagens segmentadas automaticamente pelo método proposto.	93
5.29	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de características dos descritores compostos pelas medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação automática dos seios frontais e seios maxilares.	94
5.30	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de características dos descritores compostos pelas medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação manual dos seios frontais e seios maxilares.	95
5.31	Curvas ROC das fusões dos descritores compostos por perímetro e máxima distância, para as imagens segmentadas manualmente (conjunto verdade) e segmentadas automaticamente pelos métodos propostos nesta dissertação.	96
5.32	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação das medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação automática dos seios frontais e seios maxilares.	97
5.33	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação das medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação manual dos seios frontais e seios maxilares.	98
5.34	Curvas ROC das fusões das pontuações realizadas com descritores de região (perímetro e máxima distância), para abordagens automática e manual de segmentação dos seios frontais e maxilares.	99
5.35	Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação dos descritores de forma BAS, e segmentação automática dos seios frontais e seios maxilares.	100
5.36	Distribuições das pontuações dos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação dos descritores de forma BAS, e segmentação manual dos seios frontais e seios maxilares.	100
5.37	Curvas ROC das fusões das pontuações realizadas com descritores de forma, para abordagens automática e manual de segmentação dos seios frontais e maxilares. .	101
6.1	Comparação dos resultados de segmentação com: (a) segmentação automática dos hemisférios dos seios frontais e (b) segmentação manual dos seios frontais.	104
6.2	Comparação dos resultados de segmentação com: (a) segmentação automática dos hemisférios dos seios frontais e (b) segmentação manual dos seios frontais.	104
6.3	Comparação dos resultados de segmentação com: (a) segmentação automática dos hemisférios dos seios maxilares e (b) segmentação manual dos seios maxilares. .	105

Lista de Tabelas

3.1	Tabela Resumo dos Trabalhos Correlatos	43
5.1	EERs com Descritores de Características obtidos pela abordagem de região dos seios frontais.	80
5.2	EERs com Descritores de Características obtidos pela abordagem de Região dos seios maxilares.	88
5.3	Resultados obtidos para os métodos de fusão implementados pelo método proposto.	101

Lista de Abreviaturas

TC - Tomografias Computadorizadas

RX - Raios-X

DICOM - Digital Imaging and Communication in Medicine

EFA - Elliptic Fourier Analysis

TIFD - Transformada Imagem-Floresta Diferencial

BAS - Beam Angle Statistics

ROI - Region of Interest

ROC - Receiver Operating Characteristics

EER - Equal Error Rate

FAR - False Acceptance Rate

FRR - False Rejection Rate

TAR - True Acceptance Rate

Capítulo 1

Introdução

Este Capítulo apresenta uma introdução à identificação humana forense, a motivação e o objetivo deste trabalho e a estrutura da dissertação.

1.1 Introdução a Biometria Forense

A identificação biométrica de indivíduos refere-se ao estabelecimento de suas identidades utilizando um ou mais atributos físicos ou comportamentais, como impressões digitais, íris, face, assinatura, arcada dentária, seios frontais, etc. Idealmente, as características biométricas precisam atender aos seguintes requisitos (JAIN *et al.*, 2004):

- universalidade: toda pessoa deve possuir a característica;
- unicidade: a característica deve ser diferente para indivíduos diferentes;
- permanência: a característica não deve se alterar com o passar do tempo;
- coletabilidade: a característica deve ser coletável e mensurável quantitativamente;
- desempenho: a característica deve propiciar precisão, velocidade e robustez no reconhecimento, além de ter descritores compactos;
- aceitabilidade: a característica deve ser aceita pelos indivíduos da população a ser identificada;
- segurança: a característica deve ser difícil de ser fraudada.

As aplicações biométricas podem ser divididas em três principais categorias: (i) Comerciais; (ii) Governamentais; e (iii) Forenses. No caso das aplicações forenses, uma das vertentes é a identificação de cadáveres a partir de características biométricas adquiridas antes e depois da morte (*antemortem* e *postmortem*). Como após a morte do indivíduo tem-se o início do processo de decomposição do corpo, há um grande comprometimento das características biométricas derivadas dos tecidos moles, como por exemplo, o padrão facial, as impressões digitais, as veias das mãos e as íris. Mediante isto, a análise das características dos tecidos duros, como os ossos, pode ser a única alternativa. Dentre as estruturas ósseas possíveis de serem analisadas para identificação de cadáveres, destacam-se a arcada dentária, o tórax, as vértebras e as cavidades ósseas existentes no crânio facial, conhecidas como seios da face ou cavidades paranasais (BROGDON, 1998; SAUNDERS, 1974).

1.2 Motivação

Em 1972, Godfrey Newbold Hounsfield, um engenheiro nascido na Inglaterra, desenvolveu a técnica de obtenção de imagens de tomografia computadorizada que revolucionou a área de imagens médicas, considerada a maior invenção na área de Radiologia desde a descoberta dos raios-x. Esta técnica de imagem transversal forneceu ao diagnóstico por radiologia uma melhor visão do interior do corpo, oferecendo imagens de melhor qualidade em um exame executado mais rapidamente. As possibilidades de encontrar a doença e oferecendo melhores chances de recuperação foram então ampliadas, nesta prática que se tornou indispensável no diagnóstico de várias patologias e doenças sinonasais desde sua concepção (RUBIN, 1996).

Em 1990 foram introduzidas as tomografias computadorizadas espirais e desde então ocorreram várias inovações e estudos que justificaram sua utilização (KALENDER *et al.*, 1990; COSTELLO *et al.*, 1991; SCHULLER, 2014; HOLLET *et al.*, 1995). Hoje em dia, a tomografia é um dos métodos de diagnóstico por radiologia mais importantes, produzindo imagens não sobrepostas e transversais que atingem níveis de contrastes melhores do que o raio-X convencional, permitindo uma melhor visualização de regiões com diferentes estruturas (GARIB *et al.*, 2007).

Em 1992, Reichs propôs a primeira comparação direta de Tomografias Computadorizadas (TC) da cabeça com amostras *ante-mortem* e *post-mortem* para fins de identificação de pessoas (REICHS; DORION, 1992; REICHS, 1993). Na última década, a tomografia computadorizada se tornou uma importante ferramenta na radiologia forense, com grande aplicação na identificação de vítimas por desastres (YUKIHIRO *et al.*, 2013; YAMASHINA *et al.*, 2013; BROUGHT *et al.*, 2012).

A utilização de tomografias computadorizadas, portanto, caracteriza uma promissora área, que vem sendo explorada pelos especialistas em análise de imagens médicas, uma vez que esta modalidade de imagem digital provê informações importantes e detalhadas dos tecidos do corpo humano, em uma visibilidade tridimensional (GARIB *et al.*, 2007; BROUGHT *et al.*, 2012). As imagens resultantes de exames de tomografia computadorizada caracterizam ferramentas que agregam alto valor de contraste, facilitando o processo de definição das estruturas a serem avaliadas, mesmo que para a realização do exame, o paciente seja exposto a um alto grau de radiação. Em contrapartida, imagens resultantes de exames de raios-X caracterizam imagens de projeção de toda uma região, dificultando a definição de estruturas específicas nestas imagens.

A utilização de imagens de tomografia computadorizada está registrada na literatura com a maioria dos trabalhos voltados à avaliação de imagens dos seios maxilares para a definição de gênero de pessoas. Entretanto, quando considera-se a identificação humana e a utilização de características dos seios frontais, a utilização de imagens de tomografia computadorizada é menos frequente, caracterizando um importante ambiente de estudo e avaliação.

Quanto à utilização de estruturas dos seios paranasais, também pode ser constatado, de acordo com a literatura, que os seios frontais apresentam alta aplicabilidade e resultados satisfatórios quando utilizados como características biométricas em sistemas de identificação, como pode ser constatado nos trabalhos de Ribeiro (2000), Silva *et al.* (2009) e Belaldavar *et al.* (2014), por exemplo. Porém, a utilização dos seios maxilares para a identificação biométrica de pessoas foi pouco explorada até o momento, e a utilização de características combinadas de mais de uma estrutura dos seios paranasais, menos explorada ainda. Portanto, a utilização dos seios frontais, seios maxilares, e fusão de suas características apresenta uma nova abordagem de identificação, combinando diferentes estruturas de análise para discriminação de indivíduos.

Por fim, como pode ser constatado na literatura, a segmentação totalmente automática de estruturas dos seios paranasais é pouco frequente.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método para a identificação biométrica de pessoas que utiliza, como característica biométrica, informações dos seios frontais e maxilares. Neste método, o processo de segmentação dos seios frontais e maxilares é realizado de maneira totalmente automática, visando a padronização da técnica de segmentação e busca pelo resultado mais próximo possível ao realizado por um especialista em radiologia. A segmentação automática dos seios frontais e maxilares representa uma importante contribuição para a área de avaliação de imagens medidas dos seios paranasais, visto que a maioria dos trabalhos correlatos abordam a segmentação destas estruturas de maneira manual ou semi-automática.

As características escolhidas para serem avaliadas como descritores dos seios paranasais foram: área, perímetro e máxima distância, para descritores de região, e *Beam Angle Statistics (BAS)*, para análise de forma. Justifica-se a utilização destes descritores de região pelo fato de serem de fácil aquisição, além de já apresentarem boas taxas de identificação biométrica quando utilizadas para seios frontais, segundo a literatura. Para o descritor de formas, optou-se pelo método BAS pela sua larga aplicabilidade na literatura, com bons resultados em diversas aplicações.

Por fim, a proposta para análise dos seios frontais e maxilares neste trabalho caracteriza uma nova abordagem de avaliação destas estruturas, com segmentação totalmente automática, aplicação de métodos de análise de região e formas aos seios avaliados, e fusão de características, algo ainda não abordado por nenhum trabalho correlato.

1.4 Estrutura da Dissertação

Além deste capítulo introdutório, esta dissertação contém os seguintes capítulos:

- Capítulo 2: Apresenta definições e conceitos dos seios paranasais (frontais e maxilares) e de tomografia computadorizada;
- Capítulo 3: Apresenta uma revisão da literatura sobre a identificação humana baseada em seios paranasais (frontais e maxilares);
- Capítulo 4: Apresenta o método proposto para a identificação biométrica de pessoas utilizando características dos seios frontais e maxilares obtidas de tomografias computadorizadas;
- Capítulo 5: Apresenta os resultados experimentais obtidos pela aplicação do novo método proposto nesta dissertação;
- Capítulo 6: Apresenta uma discussão sobre o novo método proposto nesta dissertação à luz dos resultados experimentais obtidos;
- Capítulo 7: Apresenta a conclusão desta dissertação e aponta trabalhos futuros.

Capítulo 2

Seios Paranasais e TC

Este capítulo apresenta as cavidades ósseas propostas nesta dissertação como fonte de características biométricas para a identificação forense de pessoas. Apresenta também os conceitos e as tecnologias referentes ao exame de tomografia computadorizada (TC), utilizado para a obtenção de imagens médicas.

2.1 Seios Paranasais

Os seios paranasais, ilustrados pela Figura 2.1, são cavidades ósseas situadas ao lado das fossas nasais, comunicando-se com estas por intermédio de canais e de orifícios ou óstios. São cavidades presentes nos dois hemisférios da face, e suas principais estruturas são: maxilar, frontal, etmoidal e esfenoidal (HUNGRIA, 2012).

As cavidades paranasais desenvolvem-se como evaginações da mucosa nasal para o interior dos ossos, suas expansões ocorrem durante o processo de remodelação óssea, quando o osso está sendo reabsorvido pelos osteoclastos. Desenvolvem-se tardiamente, com exceção dos seios maxilares que se formam a partir do quarto mês de vida embrionária pela absorção da porção central do osso maxilar. Assim podemos dizer que tais espaços (maxilar, frontal, esfenoidal e etmoidal) surgem como divertículos ou projeções das cavidades nasais para o interior dos ossos adjacentes e tornam-se cheias de ar (SIDHU *et al.*, 2014).

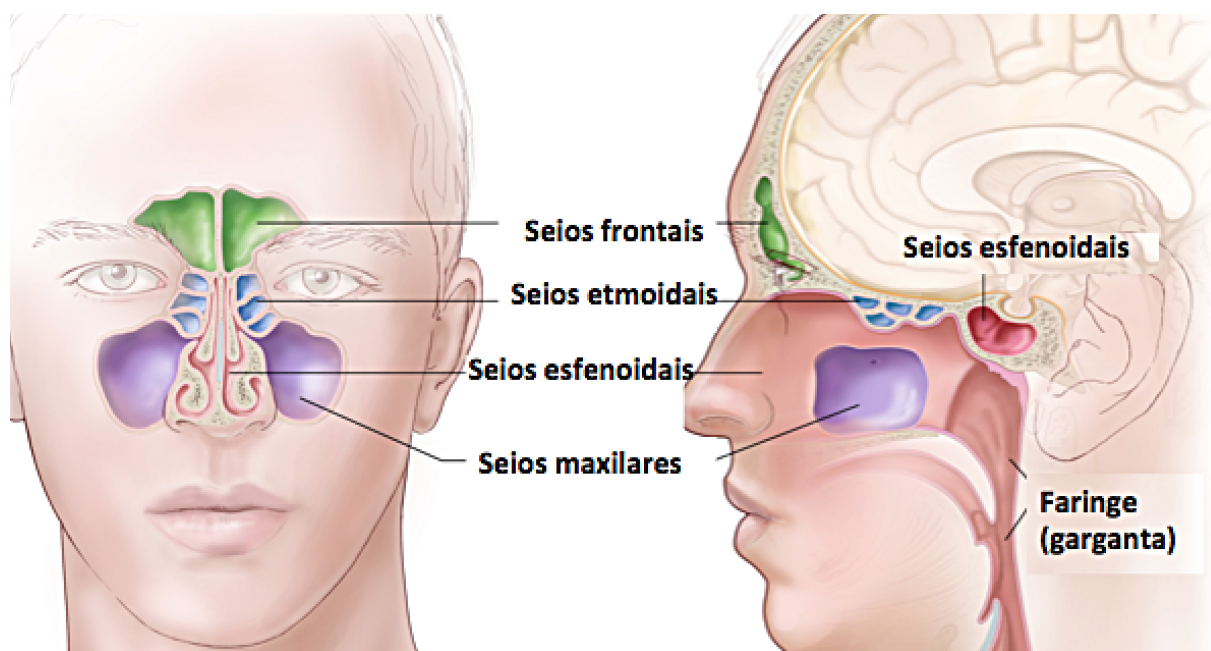


Figura 2.1: Ilustração dos seios paranasais da face humana (PAIVA *et al.*, 1999)

Dentre as cavidades que compõem os seios paranasais, os seios maxilares são os maiores e estão localizados no interior do osso maxilar, sendo normalmente separadas por septos ósseos. Apresentam-se como cavidades preenchidas por ar, que se comunicam com a cavidade nasal através do óstio seiosal maxilarnomeato nasal médio. No recém-nascido, o seio maxilar é apenas um divertículo da fossa nasal, de diminuta cavidade arredondada com 7 a 14 mm de comprimento, e com o crescimento, expandem-se e ocupam larga extensão da maxila. Portanto, seu crescimento está subordinado ao do osso maxilar e dos dentes, com expansão no sentido inferior dificultada pela presença dos germes dentários. Com a erupção da segunda dentição, o seio atinge desenvolvimento completo aos 12 anos de idade, exceto no ângulo póstero-inferior, que ainda aumenta após o rompimento do dente do siso. Variam em relação à forma e ao tamanho, podendo, também, apresentar variações entre os lados direito e esquerdo, em um mesmo indivíduo (HUNGRIA, 2012).

Ao nascimento o seio maxilar apresenta em média as dimensões 2x1x1 centímetros. O seu crescimento médio anual é de cerca de 2 mm em todos os sentidos. Por volta dos 12 anos o pavimento do seio maxilar está ao nível do pavimento nasal. Com o avançar da idade, o pavimento nasal vai se colocando cada vez mais baixo, dificultando a drenagem do muco produzido no interior do seio através do óstio seiosal (SIDHU *et al.*, 2014).

No adulto as dimensões do seio maxilar dependem de inúmeros fatores como idade, sexo, grupo étnico e condições individuais. Quanto às variações em relação à forma, encontra-se extensões do seio maxilar para o rebordo alveolar, região anterior, tuberosidade da maxila, palato duro, osso zigomático e região orbitária. As três primeiras podem ser visualizadas nas radiografias periapicais. A extensão alveolar é observada quando o crescimento se desenvolve no sentido do osso alveolar. Os casos mais frequentes são aqueles em que o primeiro molar é extraído e essa área passa a ser ocupada pelo seio maxilar. Em pacientes desdentados a extensão pode ser tal que o assoalho do mesmo constitui o próprio limite do rebordo alveolar. Quando o primeiro molar está presente é possível haver extensões entre a trifurcação das raízes. A Figura 2.2 apresenta uma imagem de TC, na qual é possível observar os seios maxilares (e também os seios frontais)

de um indivíduo (HUNGRIA, 2012).

Os seios frontais são cavidades irregulares localizadas no osso frontal do crânio que se comunicam com a fossa nasal através do infundibulum (SAUNDERS, 1974). De acordo com (HUNGRIA, 2012), o padrão de forma dos seios frontais é único para cada indivíduo, apresentando diferenças morfológicas entre indivíduos de mesmo gênero, grupo racial e ainda entre gêmeos idênticos (monozigóticos). Estudos indicam que a forma do seio frontal pode ser considerada única para cada indivíduo, inclusive para gêmeos univitelinos (SAUNDERS, 1974; SCHULLER, 2014). Sua configuração é controlada, ainda, por fatores ambientais, raça, sexo e por algumas doenças (KIRK *et al.*, 2002). Os seios frontais raramente são simétricos (BROGDON, 1998; SAUNDERS, 1974).

Os seios frontais não são visíveis no nascimento. Começam a se desenvolver a partir do segundo ano de idade e atingem o tamanho máximo somente após a puberdade, por volta do vigésimo ano, permanecendo estáveis a partir de então (SEGURA *et al.*, 1943; ARAUZ, 1943; HAJEK, 1943; SIEUR; JACOB, 1901; TESTUT; JACOB, 1929). A função dos seios frontais não é totalmente conhecida pela ciência médica, porém alguns estudos sugerem que servem para diminuir o peso do crânio e para adicionar ressonância à voz (NAMBIAR *et al.*, 1999).

Geralmente, os seres humanos apresentam dois seios frontais, um direito e um esquerdo, que se desenvolvem independentemente e se encontram no centro do crânio. Porém, algumas pessoas apresentam desenvolvimento anômalo dos seios frontais e possuem apenas um dos hemisférios, que pode estar localizado no centro ou em uma das laterais. Há casos, chamados de agenesia, em que os indivíduos não possuem seios frontais. Apenas neste caso de anomalia o reconhecimento do indivíduo pelo seio frontal se torna impossível (SCHULLER, 2014; YOSHINO *et al.*, 1987).

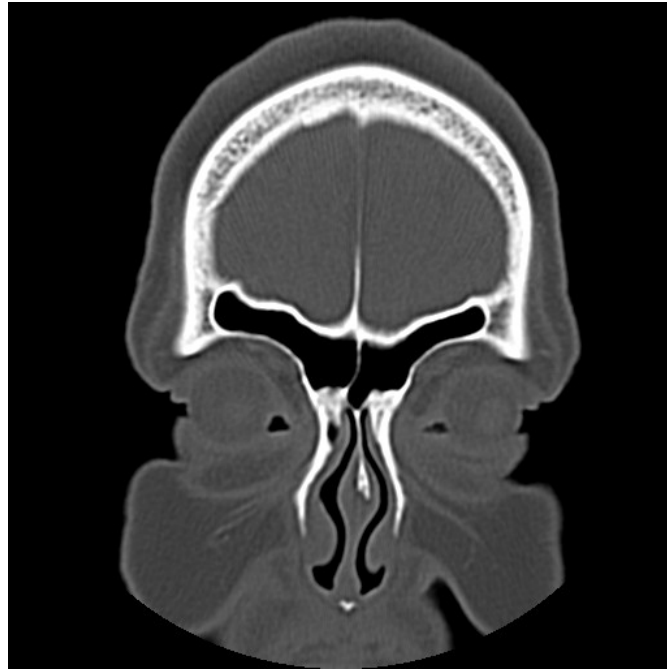
Os seios frontais estão sujeitos a alterações ocasionadas por algumas doenças e podem ser afetados por fatores ambientais durante seu desenvolvimento. A assimetria e as demais peculiaridades dos seios frontais têm estimulado diversas pesquisas sobre a possibilidade de identificação de pessoas por meio da análise de medidas biométricas dessa característica física. Diversas investigações realizadas mostram que os padrões dos seios frontais são altamente variáveis entre indivíduos e únicos para cada indivíduo (BROGDON, 1998; KIRK *et al.*, 2002; SAUNDERS, 1974; SCHULLER, 2014), e que os seios maxilares podem discriminar indivíduos por sua etnia ou sexo, sendo características únicas determinantes da conformação do crânio de cada ser humano (ATTIA *et al.*, 2012). Portanto, estas são características físicas que podem ser utilizadas em sistemas biométricos forenses, para a identificação de cadáveres.

Os seios frontais podem ser visualizados nas radiografias anteroposteriores e nas tomografias, conforme ilustrado nas Figuras 2.2 e 2.3. Como pode ser observado nesta última figura, as imagens de tomografia apresentam melhor resolução e nitidez, o que para o processo de segmentação de imagens é de suma importância, pois torna-a mais precisa e confiável. Na Figura 2.3 também é possível notar que os seios maxilares são de difícil visualização em imagens de radiografias.

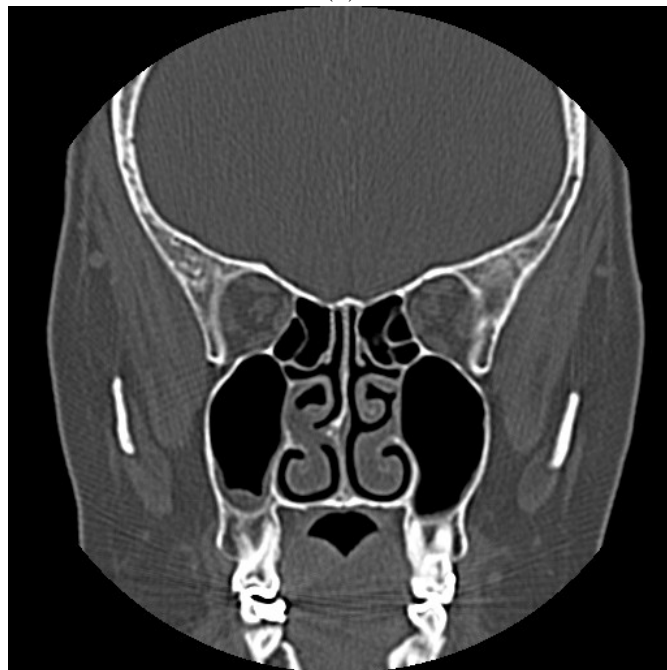
Artigos científicos relatando resultados de pesquisas para a identificação semiautomática de pessoas por meio de seios frontais podem ser encontradas na literatura, porém utilizando imagens de radiografias (FALGUERA; MARANA, 2008; MARANA *et al.*, 2006; PASTORE; MOLER, 2004). Entretanto, como em tais imagens há muitos ruídos, o uso de imagens de TC pode resultar em uma identificação bem mais precisa. Já a identificação automática de pessoas por meio dos seios maxilares não tem sido reportada na literatura especializada em biometria.

2.2 Aquisição de Imagens dos Seios Paranasais

Nesta seção são descritas duas modalidades de representação de imagens digitais dos seios paranasais, as imagens de raios-X e de TC.



(a)



(b)

Figura 2.2: Imagens de TC que ilustram os seios frontais (a) e os seios maxilares (b).

2.2.1 Radiografia (Raios-X)

Na modalidade médica de aquisição de imagens denominada raios-X (RX), um processo elétrico gera um feixe de raios-X, que são emitidos em trajetórias retas. Esses raios podem ter sua direção desviada ou serem absorvidos por diferentes partes do corpo do paciente e em diferentes angulações. Os ossos, por exemplo, absorvem grande parte da radiação, enquanto

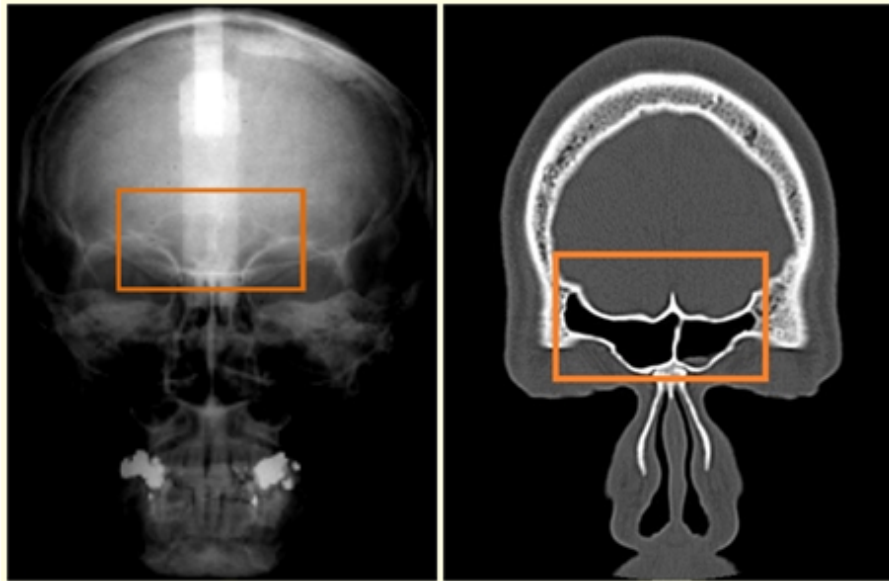


Figura 2.3: Imagem de radiografia (esquerda) versus imagem de tomografia (direita).

os tecidos mais moles como músculos, gordura e órgãos permitem que a radiação os atravesse de maneira mais fácil. Os raios que ultrapassam o corpo do paciente impressionam um filme, gerando uma imagem 2D semi-transparente.

A Figura 2.4 ilustra a tecnologia de radiografia padrão. Pode-se observar nesta figura o processo de geração das imagens de raios-X, iniciando na geração dos raios que atravessam os tecidos do paciente gerando a imagem no filme posicionado no lado oposto do corpo.

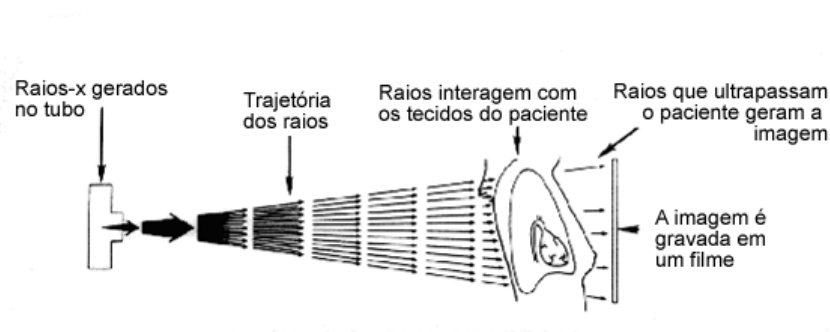


Figura 2.4: Tecnologia de radiografia padrão (raios-X) (PAIVA *et al.*, 1999).

2.2.2 Tomografia Computadorizada

A TC é um modo de aquisição de imagens que combina raios-X com tecnologia de computação. Enquanto na radiografia convencional o feixe de raios-X é piramidal e a imagem obtida é uma imagem de projeção, na TC o feixe é emitido por uma pequena fenda e tem a forma de leque partindo de diferentes ângulos para montar imagens de uma seção transversal do paciente. O objetivo é montar essas imagens em um sistema de visualização volumétrica para gerar uma ilustração tridimensional que possa mostrar órgãos, ossos e tecidos em grande detalhe (LEITE *et al.*, 2004). A Figura 2.5 mostra a imagem de um aparelho de tomografia desenvolvido pela Philips.



Figura 2.5: Tomógrafo Tomoscan AV da Philips (PAIVA *et al.*, 1999).

Na TC o tubo de raios-X gira 360° em torno da região do corpo a ser estudada e a imagem obtida é tomográfica, ou seja, são obtidas “fatias”, sequências de imagens encapsuladas por um protocolo chamado "DICOM (*Digital Imaging And Communication in Medicine*)". Em oposição ao feixe de raios-X emitidos, existe um detector de fótons que gira simultaneamente ao feixe, conforme ilustra a Figura 2.6 . Como na radiografia convencional, as características das imagens obtidas pela TC dependem dos fótons absorvidos pelo objeto em estudo.

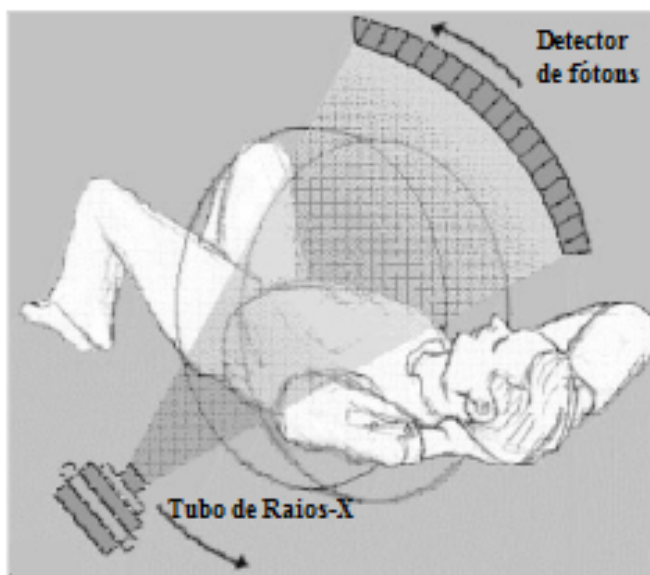


Figura 2.6: Esquema de aquisição da imagem de TC (PAIVA *et al.*, 1999).

Os detectores de fótons da TC transformam os fótons emitidos em sinal analógico (quanto mais raios-X chegam, maior é a diferença de potencial, ou voltagem que cada detector fornece

ao computador) e depois digital (o computador converte os valores de voltagem contínuos em unidades digitais). Para atingir este objetivo, a seção transversal é dividida em uma matriz de elementos de volume (voxels) com dimensões $d \times d \times t$. Para obter os valores em cada um dos pontos desta grade é feita uma reconstrução da imagem por meio de modelos matemáticos, gerando o valor de cada uma das células da matriz. Estes valores representam a fatia reconstruída do paciente (PAIVA *et al.*, 1999). A Figura 2.7 ilustra o esquema de reconstrução, a partir das sequências obtidas pela TC.

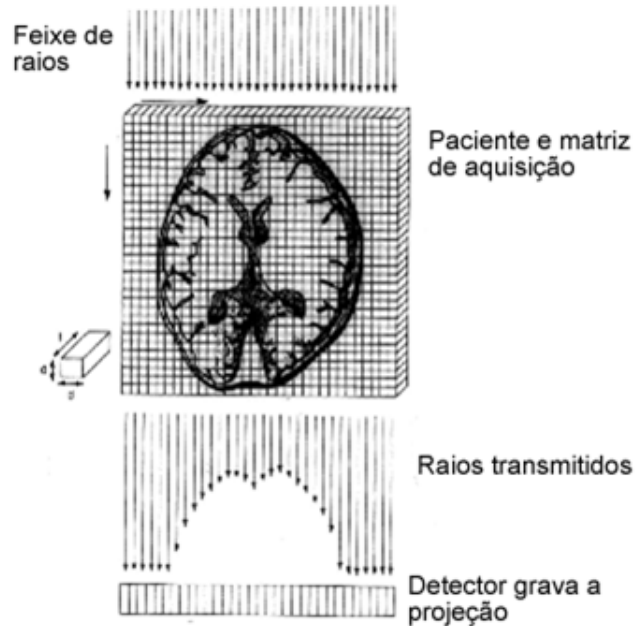


Figura 2.7: Esquema de reconstrução tridimensional a partir das sequências de imagens bidimensionais obtidas pela TC (PAIVA *et al.*, 1999).

O exame de TC é gerado em etapas, com o paciente posicionado na transversal. A translação é de alguns milímetros após cada fatia. Assim, uma série de imagens 2D, igualmente espaçadas, pode descrever estruturas anatômicas 3D com um nível altíssimo de detalhes.

A maioria dos scanners de TC tradicionais gera matrizes de 512×512 pixels para representar cada fatia. Assim uma imagem é formada por $n \times m$ pixels, distribuídos em m colunas e n linhas que formam a matriz. Quanto maior o número de pixels numa matriz melhor é a sua resolução espacial, o que permite uma melhor diferenciação espacial entre as estruturas. Assim, cada pixel representa características de absorção de um pequeno volume em torno de seu ponto central.

Os scanners de TC atuais podem gerar uma imagem de uma fatia entre 0,5 e 0,1 segundo, acomodando o corpo todo, resultando em uma exposição à radiação inferior às doses da radiografia padrão. Porém, considerando os scanners mais amplamente utilizados em exames tomográficos, temos os que podem gerar fatias entre 1 e 5 segundos, sendo que tomografia da cabeça leva 10 minutos em média, enquanto a do abdômen gasta em torno de 30 minutos (GARIB, 2006).

A TC possui muitas características que a tornam mais vantajosa que a radiografia (como o estudo de fatias do corpo, que acarreta em uma percepção espacial mais nítida e melhor distinção entre os tecidos), porém, também possui algumas deficiências, sendo as principais:

- pequena resolução temporal para movimento cardíaco;
- presença de artefatos inerentes ao método de aquisição;

- resolução espacial relativamente pequena;
- inabilidade de detecção de doenças em estágios incipientes que não tenham resultado ainda em alterações significantes dos coeficientes de densidade dos tecidos.

Para suprir tais deficiências, outra modalidade de TC foi desenvolvida: a tomografia helicoidal ou espiral. O termo é derivado da forma da trajetória do emissor de raios-X durante o processo de aquisição. Nesta modalidade, o paciente avança a uma velocidade constante, enquanto o conjunto emissor-receptores gira continuamente, transversalmente ao eixo do paciente, percorrendo uma trajetória em espiral. Esta técnica representa um conjunto de dados volumétricos contíguo, que descreve uma porção da anatomia do paciente sem vazios espaciais ou temporais. A tecnologia de scanners TC em espiral permite reduzir a exposição do paciente à radiação, é de 8 a 10 vezes mais rápida que a TC tradicional e garante a aquisição de imagens com melhor qualidade (PAIVA *et al.*, 1999).

2.3 Tomografia Computadorizada Tradicional

A composição das imagens geradas por um exame de TC compõe-se unitariamente pelo pixel, que representa densidade tecidual ou seu poder de atenuação de radiação.

A imagem de TC é composta por três dimensões, sendo que a terceira dimensão é representada pela espessura do corte, denominada voxel e ilustrada pela Figura 2.8. Esta componente pode variar de 0,5 a 20 mm e é a menor unidade na espessura do corte de uma imagem de TC. O voxel pode ser ajustado de acordo com a aplicação da TC, por exemplo para imagens que necessitam da visualização de regiões muito pequenas, ajusta-se o aparelho para adquirir cortes de 1mm de espessura, ou seja, o voxel das imagens resultantes será de 1mm.

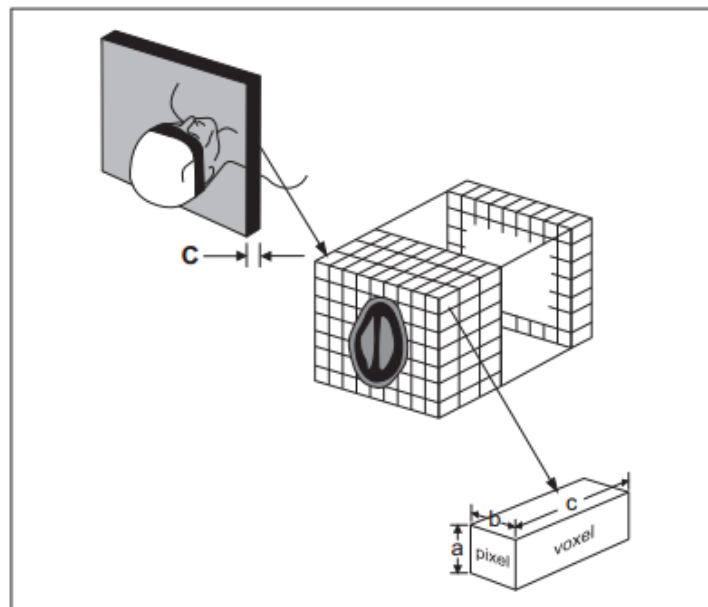


Figura 2.8: Esquema das unidades que compõem a imagem de TC tradicional (Fonte: (GARIB *et al.*, 2007)).

O exame de TC tradicional resulta em imagens muito mais nítidas e ricas em detalhes que as radiografias convencionais, demonstrando maior acurácia (imagem se aproxima da dimensão

real do objeto avaliado) e precisão (poucos erros na repetição das mensurações) (CAVALCANTI M. G. P.; RUPRECHT; VANNIER, 2001; CAVALCANTI, 1999; FUHRMANN, 2002).

Outra característica importante a ser destacada na TC consiste na alta sensibilidade e especificidade (ERICSON; KUROL, 2000; FUHRMANN *et al.*, 1997; GARIB, 2006). Por isso, nas análises qualitativas da imagem, os índices de falso-positivo e falso-negativo são muito baixos.

A boa resolução da imagem de TC deve-se ao grande poder de contraste da técnica, já que pequenas diferenças na densidade tecidual podem ser percebidas e traduzidas em 5.000 tons de cinza em cada pixel. Melhoras na imagem de TC também podem ser obtidas mediante o uso de computação gráfica (PARKS, 2000). Para exemplificar, os aparelhos atuais reconhecem diferenças de densidade de menos de 0,5%, enquanto as técnicas radiográficas convencionais detectam desigualdades mínimas de 10% (PARKS, 2000).

Entretanto, existe um detalhe que pode prejudicar a resolução espacial de uma imagem TC, que é conhecido como cálculo da média de um volume parcial, e ocorre quando a borda de uma estrutura inicia-se no meio de um pixel (PARKS, 2000). Outra apresentação visual deficiente da TC tradicional é a presença de artefatos no exame de pacientes com algum metal na área avaliada, como restaurações dentárias, por exemplo (Figura 2.9).



Figura 2.9: Artefatos produzidos na imagem de TC tradicional por evidências metálicas.

2.3.1 Processamento das Imagens de Tomografia Computadrizada Tradicional

Durante a realização do exame de TC tradicional, a posição da cabeça pode ser padronizada tridimensionalmente, utilizando-se de um recurso do tomógrafo de geração de linhas luminosas perpendiculares entre si. Deste modo, posiciona-se o paciente deitado na mesa com o plano de Camper (perpendicular ao solo), a linha luminosa longitudinal passando pelo centro da glabella e do filtro labial e a linha luminosa transversal coincidindo com o canto lateral dos olhos. Os dentes podem ser mantidos desocluídos, para que a intercuspidação não interfira na obtenção da imagem dos dentes superiores e inferiores (GARIB *et al.*, 2007). A Figura 2.10 ilustra o processo de geração das linhas e posicionamento da cabeça em um exame de TC tradicional.



Figura 2.10: Linhas de referências para a padronização da posição da cabeça do paciente em um exame de TC (Fonte: (GARIB *et al.*, 2007)).

A região a ser analisada é selecionada pelo técnico que realiza o exame de TC a partir da primeira imagem obtida pelo tomógrafo, denominada esconograma ou scout, e está ilustrada pela Figura 2.11. Para exame da maxila, recomenda-se a obtenção de cortes axiais paralelos ao plano palatino. Desta forma, as imagens originais obtidas na TC tradicional são usualmente no sentido axial. Se por exemplo, a região de interesse apresentar 30 mm de altura e o tomógrafo for ajustado para executar cortes com espessura de 1 mm, ao final do exame, o resultado será de 30 cortes axiais (GARIB *et al.*, 2007). Os softwares de TC ainda fornecem o recurso de construção multiplanar, que é a reconstrução de cortes axiais originais em outros planos do espaço, como os planos coronal e sagital, sem a necessidade da exposição do paciente novamente a radiação (Figura 2.12). Os cortes axiais originais podem, ainda, ser reconstruídos em três dimensões, e visualizados sob diferentes perspectivas (Figura 2.13).

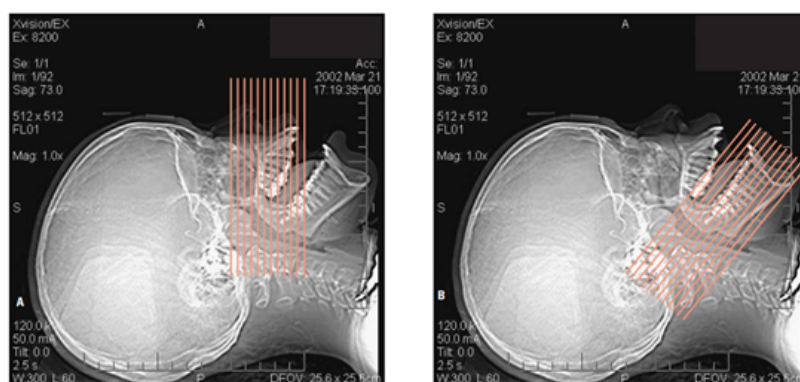


Figura 2.11: *Scout* com determinação da direção dos cortes axiais para a maxila (esquerda) e para a mandíbula (direita) (Fonte: (GARIB *et al.*, 2007)).

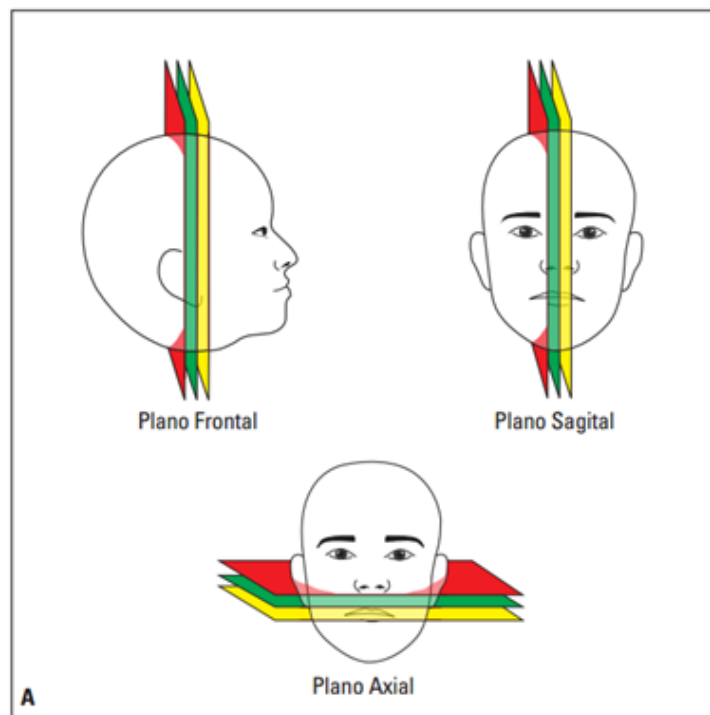


Figura 2.12: Ilustração de cortes nos três planos do espaço (GARIB *et al.*, 2007)).



Figura 2.13: Cortes axiais originais de um exame de TC tradicional (GARIB, 2006).

2.4 Considerações Finais

Considerando a alta discriminação verificada nas estruturas presentes nos seios paranasais, a sua utilização para sistemas biométricos destinados ao reconhecimento forense, torna-se importante e factível, visto que existem maneiras padronizadas de obtenção destas estruturas.

A utilização de tomografias computadorizadas mostra-se apropriada, já que as vantagens agregadas a sua utilização facilitam de maneira significativa o processo de segmentação das

imagens para obtenção de descritores das estruturas dos seios paranasais por apresentarem imagens resultantes de qualidade superior às imagens de raios-X.

Apesar dos exames tomográficos exporem os indivíduos a maiores índices de radiação do que os exames radiográficos (que resultam em imagens de raios-X), alternativas vêm sendo empregadas para reduzir esta emissão, visto que a qualidade oferecida por imagens de tomografias computadorizadas é superior a oferecida por imagens de raios-X, além do fato daquela modalidade apresentar um conjunto de imagens como resultado de um exame, o que atribui confiabilidade e versatilidade ao processo de identificação biométrica, expandindo o conjunto de amostras para comparações.

Capítulo 3

Revisão da Literatura Sobre Identificação Humana Utilizando os Seios Paranasais

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre a identificação humana forense baseada em estruturas dos seios paranasais, utilizando imagens de raios-X e tomografias computadorizadas. O período pesquisado foi entre 2003 e 2015. Os termos chave utilizados para a realização da pesquisa foram: "seios frontais", "seios maxilares", "reconhecimento de pessoas" e "sistemas de reconhecimento biométrico forenses". As bases pesquisadas foram a "Google Acadêmico" e a "PubMed", ambas localizadas no portal de periódicos da CAPES.

3.1 Trabalhos Baseados em Imagens de Raios-X

Esta seção apresenta os trabalhos correlatos encontrados na literatura que utilizam estruturas dos seios paranasais para a identificação biométrica de pessoas, à partir de imagens de raios-X.

3.1.1 Método Manual de Reconhecimento de Pessoas Baseado em Largura e Distâncias dos Seios Frontais

Ribeiro (2000) propôs um método de reconhecimento de seios frontais, baseado em quatro medidas principais desta região, extraídas manualmente. Inicialmente, o método consiste em traçar uma reta, denominada R1, entre os pontos máximos superiores das duas órbitas oculares e partindo desta reta base devem ser traçadas quatro retas perpendiculares, denominadas R2, R3, R4 e R5, observando alguns pontos importantes da estrutura da borda dos seios frontais:

- Reta R2: Reta vertical que passa pelo ponto lateral máximo esquerdo do seio frontal;
- Reta R3: Reta vertical que passa pelo ponto lateral máximo direito do seio frontal;
- Reta R4: Reta vertical que passa pelo ponto mais alto (máximo) do seio frontal direito;
- Reta R5: Reta vertical que passa pelo ponto mais alto (máximo) do seio frontal esquerdo.

A partir destas retas, são definidas as quatro medidas principais, chamadas de Medidas A, B, C e D:

- Medida A: Largura máxima perpendicular às retas R2 e R3;

- Medida B: Distância perpendicular entre as retas R4 e R5;
- Medida C: Distância perpendicular entre as retas R2 e R5;
- Medida D: Distância perpendicular entre as retas R3 e R4;

Todas as retas definidas pelo método estão ilustradas na Figura 3.1.

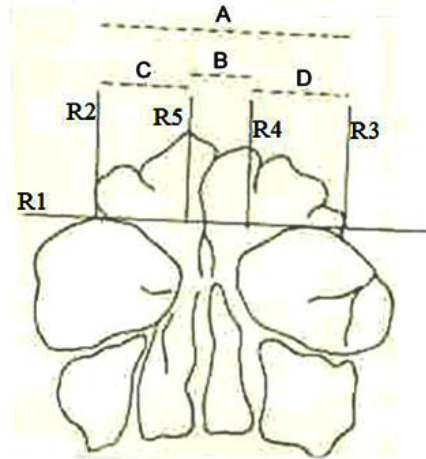


Figura 3.1: Medidas definidas por Ribeiro (2000), para identificação humana utilizando os seios frontais (RIBEIRO, 2000).

Quando dois ou mais pontos são candidatos para compor uma reta, Ribeiro estipulou alguns critérios para a decisão sobre qual ponto utilizar. Como exemplo, quando há mais de um ponto máximo, deve-se selecionar aquele que se encontra mais próximo ao centro do crânio.

Após a extração das medidas, o indivíduo é incluído em um banco de dados ordenado primeiramente pela medida A, depois pela B, seguida da C e D. Para realizar o casamento de um indivíduo com o banco de dados, deve-se comparar as medidas encontradas com as medidas existentes no banco de dados, ao encontrar um registro com as mesmas medidas, o indivíduo foi identificado com sucesso.

A reta R1, traçada entre os pontos máximos de cada órbita ocular, serve como base para que sejam corrigidas distorções causadas por rotações do crânio enquanto a radiografia foi obtida, pois as outras retas são traçadas perpendicularmente a esta reta inicial, de forma que seja obtida a mesma distância entre elas, independente da rotação do crânio.

Ao analisar estas medidas, observa-se que seria possível contornar também as distorções ocasionadas pela escala da imagem obtida ao aplicar operações de normalização com base em uma das medidas calculadas.

O autor aplicou este método em um banco de imagens contendo 500 radiografias dos seios frontais, cada uma de um indivíduo diferente. Para cada imagem, foram extraídas as quatro medidas principais manualmente e armazenadas em um banco de dados.

Para o casamento, foram sorteadas aleatoriamente 100 imagens dentre as 500 existentes e suas quatro medidas foram extraídas novamente, manualmente, e então comparadas com as medidas do banco de dados a fim de estabelecer o casamento entre elas. Neste trabalho, Ribeiro obteve uma taxa de acerto de 100%, ou seja, todos os 100 indivíduos aleatórios foram corretamente identificados.

Este método apresenta uma análise satisfatória na busca pela unicidade dos seios frontais, visto que não foram encontradas medidas semelhantes dentre as 500 amostras utilizadas. Porém,

pelo fato do método utilizar as mesmas imagens para formação do banco de dados e para posterior casamento, a taxa de 100% de acertos obtida é previsível, sendo que a única habilidade necessária era a correta extração das medidas principais. Também por este mesmo fato, este trabalho não contribui para a análise de permanência do formato dos seios frontais ao longo do tempo.

3.1.2 Método Baseado em Seios Frontais e Septo Nasal

Taniguchi *et al.* (2003) realizaram um estudo para examinar o uso combinado dos padrões dos seios frontais e do septo nasal em radiografias para a identificação de pessoas.

Radiografias de crânios *postmortem* foram coletadas de 209 casos de autópsias forenses em adultos (152 homens e 57 mulheres, entre 18 e 91 anos), sendo que, destes casos, somente 24 possuíam filmes correspondentes *antemortem*.

A classificação do padrão do septo nasal foi baseada nas características de desvio, como ilustra a Figura 3.2 (a), e a classificação dos seios frontais foi baseada na simetria dos hemisférios, na dominância de um destes, como ilustra a Figura 3.2 (b).

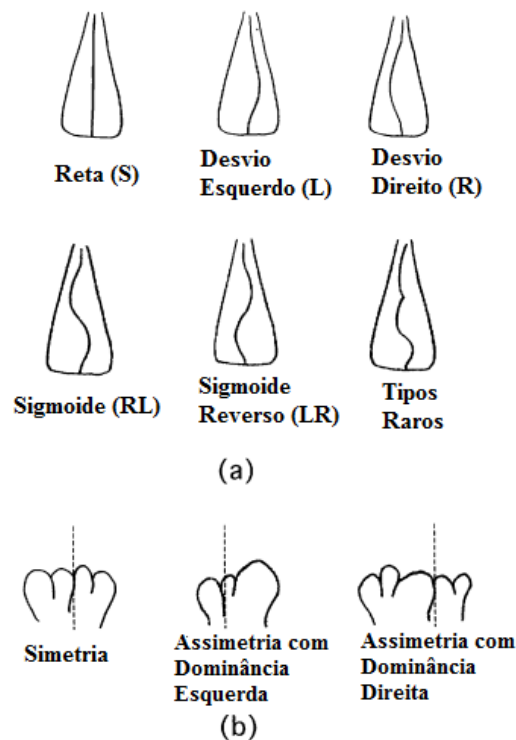


Figura 3.2: (a) Classificação dos padrões do septo nasal; (b), classificação dos seios frontais (TANIGUCHI *et al.*, 2003).

Comparando os filmes *ante* e *postmortem*, obteve-se acerto de 75% de identificações utilizando a combinação de características das duas estruturas. Utilizando somente o septo nasal, obteve-se 91,7% de casos de identificação positiva, enquanto que utilizando somente os seios frontais, a identificação teve acurácia de 83,3%.

Segundo os autores deste estudo, os casos de inconsistência na identificação sugerem a influência do posicionamento no exame de radiografias; da qualidade das radiografias e da dificuldade de avaliação das estruturas do septo nasal e dos seios frontais.

3.1.3 Método Manual Baseado na Análise de Fourier Elíptica dos Seios Frontais

Christensen (2005) realizou um estudo com o objetivo de propor um método objetivo e padronizado para a identificação humana forense baseada nos seios frontais.

As radiografias utilizadas para o experimento foram as seguintes: 257 radiografias do *Department of Anthropology*, da *University of Tennessee* todas com as estruturas dos seios frontais perfeitas, sem danos; 105 radiografias da *Forensic Skeletal Collection*, *University of Tennessee*, consistindo de imagens radiográficas remanescentes de casos forenses; 61 radiografias históricas e; por fim, 161 radiografias de um banco de casos clínicos, do *Student Health Center*, *University of Tennessee*.

Os contornos dos sinus frontais de todas as radiografias utilizadas neste estudo foram obtidos manualmente sobrepondo-se uma folha de papel sobre as radiografias e traçando-se os contornos dos seios frontais no papel, com o auxílio de uma luz leve. Somente os contornos mais externos de cada seio frontal foram traçados, não sendo representadas as separações internas. A borda inferior do seio frontal foi obtida utilizando-se uma técnica conhecida proposta por (LIBERSA; FABER, 1970). A Figura 3.3 apresenta um exemplo de borda de sinus frontais obtida manualmente, utilizando-se o método de Christensen (2005). Após a obtenção do contorno dos seios frontais, seus pontos são convertidos para coordenadas cartesianas.

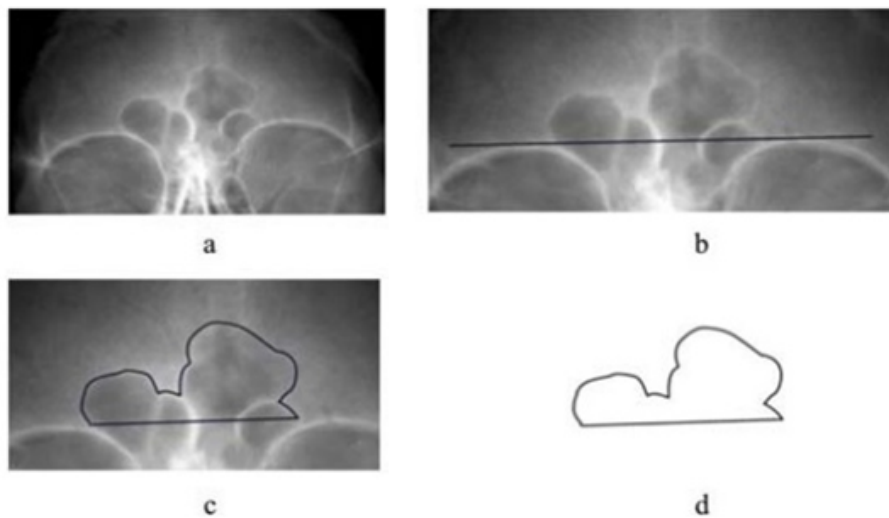


Figura 3.3: Ilustração da obtenção do contorno dos seios frontais de uma radiografia (CHRISTENSEN, 2005).

Com as coordenadas estabelecidas, é aplicada a técnica EFA (*Elliptic Fourier Analysis*), que aproxima uma curva ao conjunto de dados (cartesianos) com alto grau de precisão, utilizando decomposições ortogonais de uma curva dentro de uma soma de harmônicas relacionadas a elipses. A técnica EFA é baseada na separação das primeiras diferenças entre x e y encontradas na decomposição de Fourier (1 e 2), estabelecidas como funções paramétricas da distância cordal acumulativa. A partir de descritores de contorno obtidos pelo EFA, pode-se calcular taxas de probabilidade para a identificação a partir dos seios frontais, usando para a comparação estes descritores, designados coeficientes de contorno. Como resultado, o autor deste método concluiu que os valores de taxa de probabilidade para indivíduos da mesma classe (mesma pessoa com radiografias distintas) foram, na grande maioria dos casos, igual a 1, evidenciando a alta acer-

tabilidade do método empregado. Christensen observou também que usando 5 harmônicas no EFA, a taxa de acerto na identificação foi de aproximadamente 96%, mostrando que este número de harmônicas é o ideal, e que um valor maior acarretaria em ruídos na identificação.

3.1.4 Método Semiautomático Baseado na Transformada Imagem-Floresta e em Contexto da Forma dos Seios Frontais

Falguera & Marana (2008) propuseram um método que utiliza a Transformada Imagem-Floresta Diferencial (TIFD) para segmentação dos seios frontais, e o método *Shape Context*, para extração de características das bordas dos seios frontais.

Inicialmente, a TIFD é aplicada sobre a imagem de radiografia dos seios frontais. Esta técnica consiste em espalhar sementes pela imagem, na região interna e externa dos seios frontais, de forma manual. A partir destas sementes são utilizadas técnicas de cálculo de caminhos de custos mínimos para encontrar as bordas das imagens. A Figura 3.4 apresenta as bordas de um seio frontal obtidas aplicando-se o algoritmo de segmentação baseado na TIFD. Neste caso foram utilizadas 16 sementes internas e 18 sementes externas para a segmentação dos seios frontais.

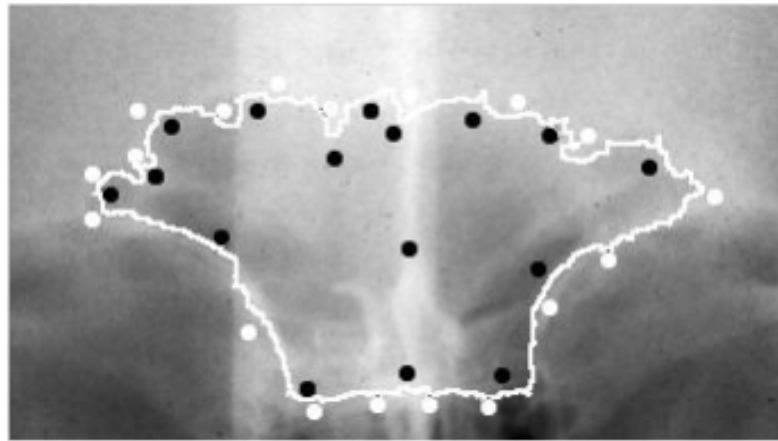


Figura 3.4: Ilustração da obtenção do contorno dos seios frontais de uma radiografia (FALGUERA; MARANA, 2008).

Após obter a borda, é aplicada a técnica de *Shape Context* para extrair as características de forma. Dado um ponto p pertencente a uma borda, esse descritor captura a distribuição polar-logarítmica dos demais pontos da borda em relação à p , proporcionando uma caracterização global e discriminativa do contexto da forma da borda. Desse modo, pontos correspondentes em duas bordas semelhantes, apresentam contextos de forma semelhantes.

Este método foi aplicado em uma base de imagens contendo 90 radiografias anteroposteriores de 29 indivíduos distintos, sendo que cada indivíduo possuía duas ou mais imagens. Todas as imagens foram obtidas na mesma escala e orientação, minimizando as distorções causadas por rotação e tamanho dos seios frontais. O método obteve taxa de *Equal Error Rate (EER)* igual a 5,25% para a segmentação manual dos seios frontais, e 5,82% para segmentação semi-automática dos seios frontais.

3.1.5 Identificação Humana via Análise Morfológica Quantitativa e Qualitativa dos Seios Frontais

Silva *et al.* (2009) realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar a associação de duas técnicas de análise de imagens radiográficas dos seios frontais para a identificação humana. Os autores utilizaram tomadas postero-anteriores (*PA*) e a técnica de *Caldwell*, visando a identificação humana por meio da análise morfológica dos seios frontais, por aspectos qualitativos e quantitativos.

O trabalho consistiu, basicamente, na identificação de um indivíduo que foi encontrado em estágio avançado de decomposição, apresentando áreas de esqueletização nos membros e na face.

Com o intuito de identificar vestígios e facilitar o manuseio dos restos mortais, todas as peças ósseas foram limpas, momento em que foi possível verificar a presença de fratura na região parietooccipital direita, estando a causa da morte associada a traumatismo cranioencefálico produzido por instrumento ou meio de ação contundente.

A Figura 3.5 ilustra a radiografia realizada do cadáver, apresentando ausência de dentes e a presença dos seios frontais, e a Figura 3.6 ilustra a comparação das imagens radiográficas *ante* e *postmortem* utilizando as medidas propostas por Ribeiro (2000).

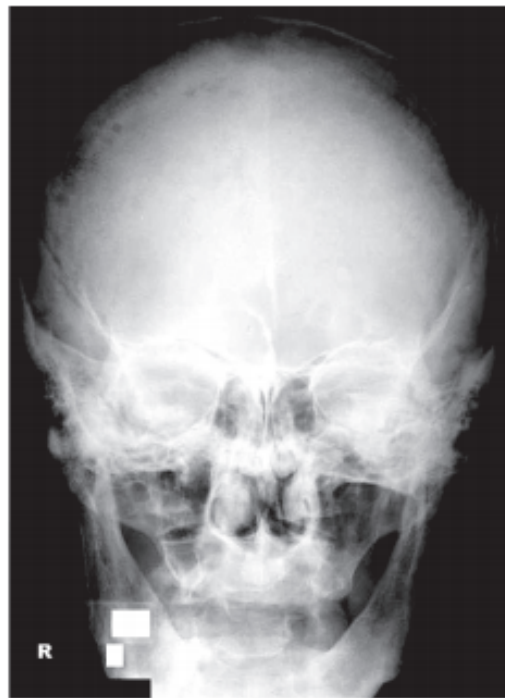


Figura 3.5: Imagem de radiografia do cadáver (SILVA *et al.*, 2009).

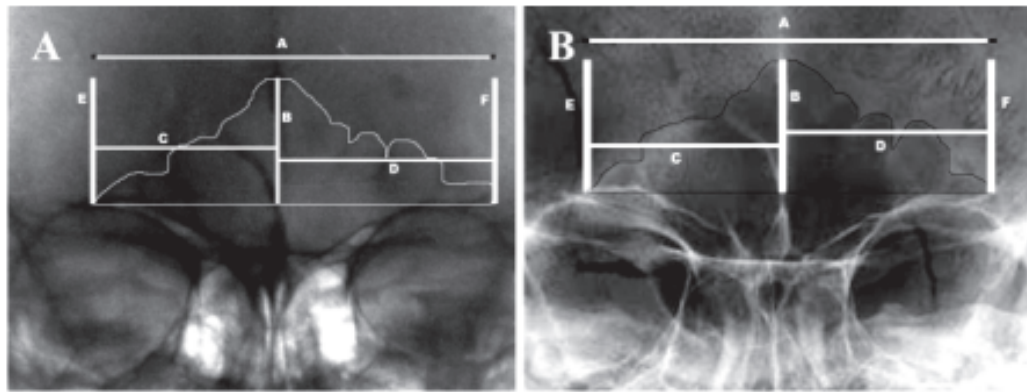


Figura 3.6: Comparação direta dos seios frontais em radiografias *ante* (A) e *postmortem* (B) utilizando as medidas propostas por Ribeiro (2000) (SILVA *et al.*, 2009).

Associando os dados encontrados na investigação antropológica e no exame odontolegal principalmente aos resultados obtidos nas duas metodologias empregadas para análise dos seios frontais, chegou-se à conclusão de que o cadáver examinado pertencia à pessoa desaparecida, configurando uma identificação positiva (SILVA *et al.*, 2009).

3.1.6 Avaliação da Independência Estatística dos Traços dos Seios Frontais

Besana e Rogers (2010) realizaram um trabalho para avaliar se os traços componentes dos seios frontais descrevem comportamento de independência para suas utilizações em combinações probabilísticas para a identificação humana. Além de avaliar se é factível a utilização dos traços dos seios frontais em combinações probabilísticas, os autores avaliaram outros dois métodos de identificação humana utilizando seios frontais: a combinação discreta dos traços dos seios frontais e o casamento por superimposição de padrões.

O trabalho foi conduzido utilizando uma base de dados de imagens de raios-X fornecida pela *University of Toronto*, contendo 116 indivíduos com pelo menos um exame de radiografia do crânio. As primeiras 100 imagens foram utilizadas na primeira etapa do trabalho, enquanto as demais 16 foram utilizadas para testes, já que estas possuíam exames do crânio duplicados.

A primeira etapa da análise envolveu a medida de todas as possíveis variações dos seios frontais para definir a interdependência de seus traços. A Figura 3.7 ilustra estas medidas realizadas na primeira etapa.

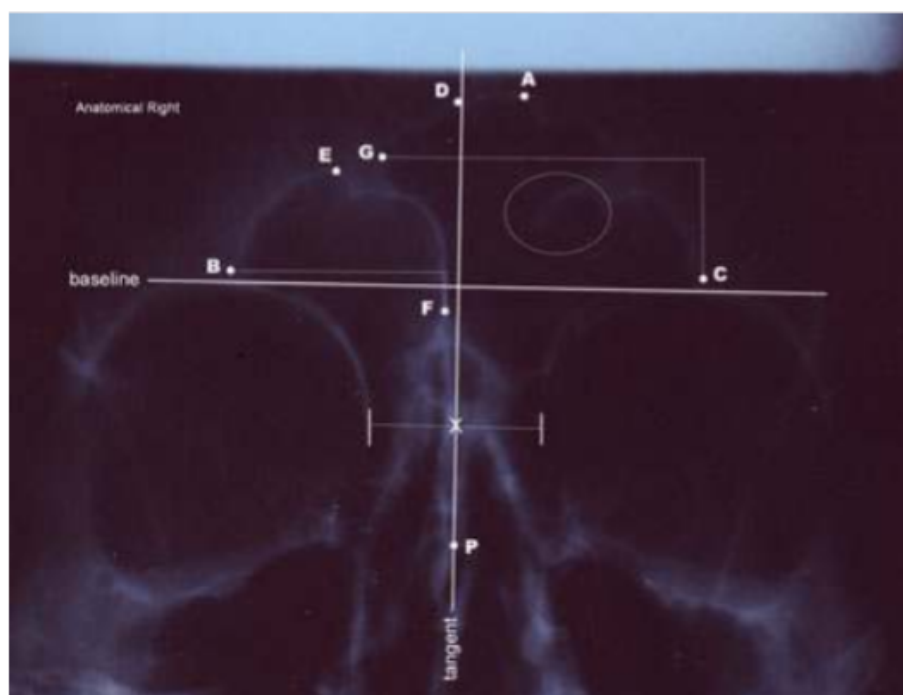


Figura 3.7: Medidas utilizadas para descrição dos traços dos seios frontais, conduzidas em variáveis para análise estatística. (BESANA; ROGERS, 2010).

Com as medidas definidas, utilizou-se a medida de *chi-quadrado* para analisar a interdependência entre as variáveis das imagens de raios-X.

Na segunda etapa, examinou-se as combinações de traços que foram caracterizadas como independentes na etapa anterior, com o objetivo de definir a métrica de discriminação entre as variáveis analisadas na primeira etapa.

Na terceira etapa, analisou-se qual combinação produziria um resultado mais discriminativo, convertendo todas as possíveis métricas de traços obtidas nas duas primeiras etapas, em traços discretos, objetivando a diminuição do ângulo entre estes dois novos traços nas imagens.

Na quarta e última etapa, realizou-se o teste por superimposição, onde as 16 imagens duplicadas de raios-X (simuladas como sendo *postmortem*) foram comparadas com a base já estabelecida de 110 imagens (simuladas como *antemortem*), na busca por um casamento exato.

Como resultado, constatou-se que a maioria dos traços dos seios frontais são dependentes entre si, impossibilitando sua utilização em combinações probabilísticas. Analisando os traços que são independentes, constatou-se que estes apresentam informações que não são suficientemente discriminativas, tendo a erros quando utilizados como métricas. Combinações discretas dos traços dos seios frontais também apresentaram resultados insatisfatórios, ressaltando que somente o casamento por superimposição de padrões dos seios frontais descreve um método eficaz de identificação individual.

3.1.7 Avaliação da Variabilidade dos Seios Frontais e dos Seios Maxilares

Bolzan & Tucunduva (2012) analisaram as variações encontradas em imagens radiográficas da cavidade nasal e dos seios paranasais. O conhecimento deste tipo de variação é importante para fins de diagnósticos cirúrgicos.

O trabalho foi conduzido com 40 amostras de crânios, fornecidos pela Universidade Cidade de São Paulo. Este conjunto amostral foi registrado em radiografias convencionais para análise dos seios maxilares e seios frontais. A Figura 3.8 mostra duas imagens radiográficas do banco de dados utilizado no estudo conduzido por Bolzan e Tucunduva (2012).

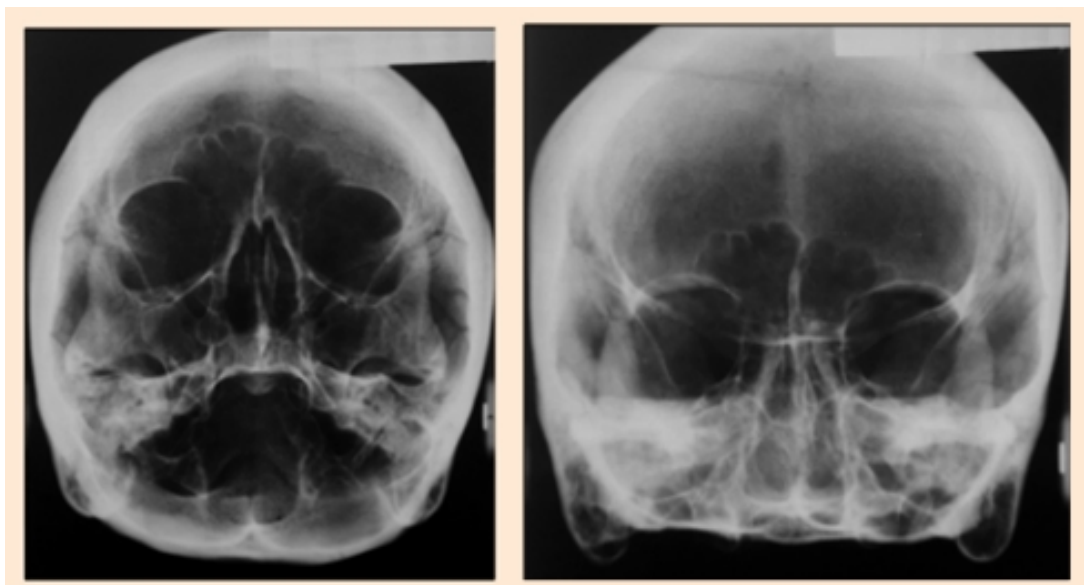


Figura 3.8: Imagens adquiridas com os posicionamentos para avaliação das variações dos seios maxilares (esquerda) e frontais (direita) (BOLZAN; TUCUNDUVA, 2012).

Como resultado, os autores obtiveram para os seios maxilares, 1 caso de agenesia (2,5%) e 29 casos com seio maxilar normal (72,5%). Quanto aos resultados sobre os seios frontais, devido a maior clareza de detalhes desta estrutura, comparando aos outros seios, pôde-se obter maior riqueza de detalhes, onde 3 crânios apresentaram agenesia (7,5%), e os outros 37 apresentaram os dois hemisférios (92,5%). Neste estudo não foi possível avaliar como a idade e o gênero influenciam, visto que estas informações não estavam disponíveis para os indivíduos amostrados.

Por fim, os autores relataram que o uso de radiografias mostrou-se eficaz nas observações dos seios maxilares e frontais, possibilitando descrevê-los quanto a forma e tamanho.

3.1.8 Avaliação da Unicidade e a Permanência dos Traços dos Seios Frontais para a Identificação Humana

Patil *et al.* (2012) realizaram um estudo para avaliar a unicidade e usabilidade dos seios frontais para a identificação de indivíduos por meio da comparação de vários padrões desta estrutura, observadas nas radiografias.

Para a realização deste estudo, os autores avaliaram 100 radiografias, sendo por 50 de homens e 50 de mulheres, com idade média de 25 anos. Foram selecionadas somente as imagens onde não houvesse obstrução dos seios frontais, traumas crânicos ou histórico de tratamentos ortodônticos ou cirurgias ortognáticas.

Em todas as radiografias, as bordas dos seios frontais foram delimitadas manualmente, utilizando papel especial e um software visualizador de radiografias. Após, foram obtidas as medidas definidas por (RIBEIRO, 2000) para avaliação dos seios frontais, como ilustra a Figura 3.9.

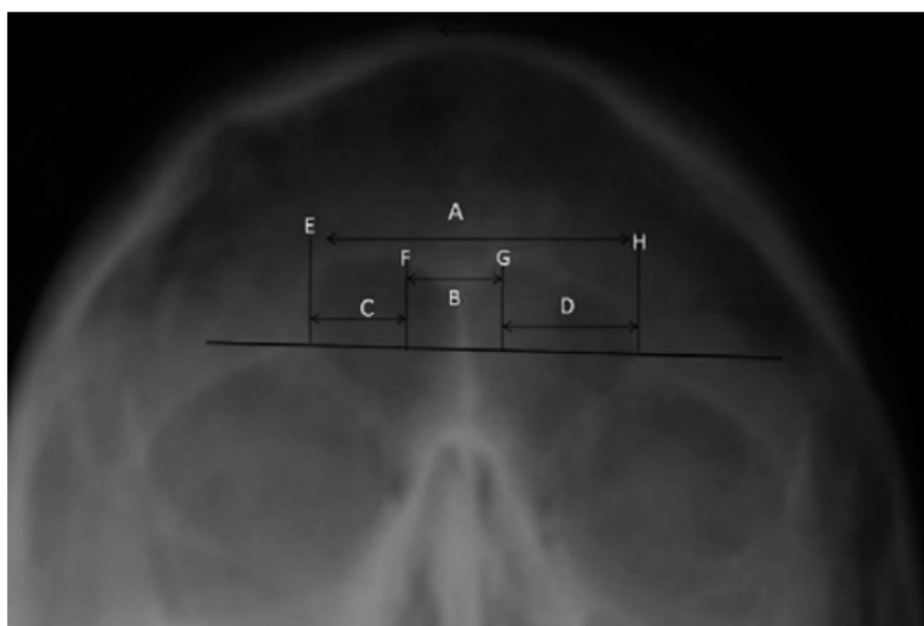


Figura 3.9: Medidas estabelecidas por (RIBEIRO, 2000). (PATIL *et al.*, 2012).

Após 6 ou 8 meses da realização das primeiras medidas na base de dados, foram realizados novos exames para os indivíduos utilizados, priorizando a mesma angulação e disposição nos novos exames para a realização de novas medidas. As medidas realizadas nos dois momentos foram comparadas.

Como resultado, verificou-se a ausência dos seios frontais em 1% dos casos (1 indivíduo), enquanto que 96% dos casos apresentou presença bilateral dos seios frontais. Os demais 3% apresentaram ausência unilateral dos seios frontais. Ao final, os autores concluíram que a identificação dos seios frontais por super-imposição resultou em 100% de identificação positiva. O tamanho, contorno, presença unilateral ou bilateral e ausência dos seios frontais se mostraram únicos para cada caso estudado, não apresentando variações com o período estabelecido para a realização de novos exames de radiografia. Nem mesmo as medidas apresentaram variações no período de tempo de 6 a 8 meses. O estudo constatou a unicidade e permanência dos seios frontais para o conjunto amostral disponível.

3.1.9 Determinação de Gênero Baseada em Seios Frontais

Belaldavar *et al.* (2014) realizaram um estudo com o objetivo de determinar o dimorfismo sexual em indianos pela avaliação dos seios frontais utilizando radiografias anteroposteriores.

A base de dados utilizada neste estudo era composta por imagens radiográficas de 300 indianos (150 homens e 150 mulheres) com idade entre 25 e 30 anos e não apresentando traumas ou intervenções cirúrgicas no crânio, tratamentos ortodônticos ou distúrbios de assimetria hereditária sistêmica.

Com a representação digital das imagens, obteve-se medidas de discriminação entre as radiografias para os dois gêneros ilustradas na Figura 3.10.

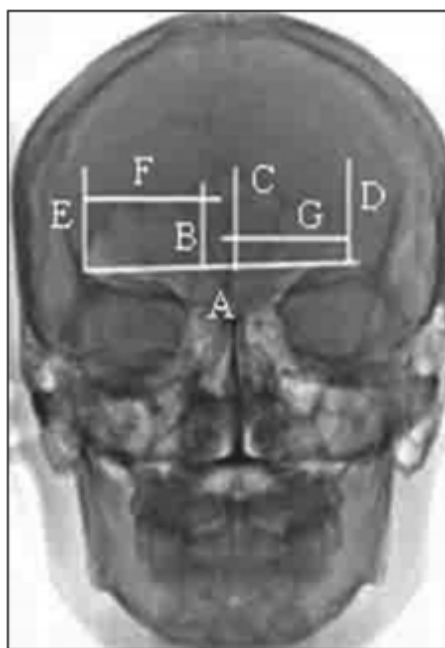


Figura 3.10: Medidas dos seios frontais propostas por (BELALDAVAR *et al.*, 2014).

As médias de cada medida dos seios frontais propostas neste estudo foram analisadas para os dois gêneros. Subsequentemente, foi realizada uma análise por regressão logística para definir a acurácia em gênero.

Dos resultados obtidos, observou-se 12 casos (4%) de ausência unilateral ou bilateral dos seios frontais, 9 em mulheres e 3 em homens, e estes foram excluídos do estudo.

Com a regressão logística, constatou-se que a altura do hemisfério esquerdo e a área do hemisfério esquerdo foram as melhores medidas para determinação de gênero. A taxa de determinação foi de 59,4% a 64,4%.

Por conseguinte, os valores médios de área, comprimento e altura dos seios frontais obtidos foram maiores em homens do que em mulheres. O hemisfério direito mostrou-se mais largo que o hemisfério esquerdo para os dois sexos no conjunto de dados estudado. Concluiu-se, portanto, que com 64,4% de acurácia na determinação de gênero, estas medidas apresentam uma metodologia de acurácia média para a população indiana.

3.2 Trabalho Baseado em Imagens de Tomografia Computadorizada

Esta seção apresenta o único trabalho encontrado na revisão da literatura que utiliza imagens de tomografia computadorizada para avaliação da efetividade do uso dos seios frontais como características biométricas para a identificação humana.

3.2.1 Método Manual Baseado em Seios Frontais e Medidas do Crânio Utilizando Tomografia Computadorizada Espiral

Uthman *et al.* (2009) propuseram várias medidas dos seios frontais combinadas com algumas medidas do próprio crânio do indivíduo. Inicialmente, foram obtidas, de forma manual, das

imagens de tomografia computadorizada dos seios frontais, diretamente do filme impresso do tomógrafo as seguintes características:

- presença ou ausência dos seios frontais;
- presença ou ausência do seio esquerdo ou direito;
- seio esquerdo e direito completo ou incompleto;
- largura dos seios frontais, esquerdo e direito;
- altura dos seios frontais, esquerdo e direito;
- largura ântero-posterior;
- largura total dos seios;
- distância entre os pontos mais altos de cada seio;
- distância entre os pontos mais altos do seio e seu limite lateral, para direita e esquerda;

Na ausência de um dos seios, o valor que deveria ser medido é considerado como zero. A Figura 3.11 ilustra as medidas utilizadas.

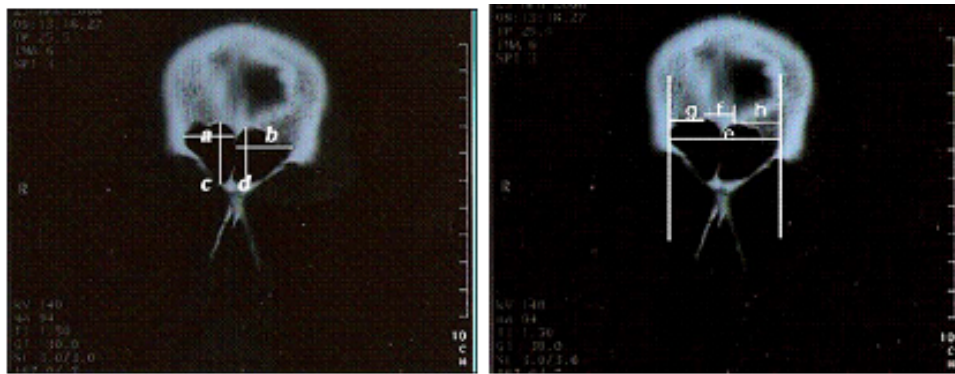


Figura 3.11: Algumas das medidas utilizadas: (a) Largura do seio frontal direito, (b) Largura do seio frontal esquerdo, (c) Altura do seio frontal direito, (d) Largura do seio frontal direito, (e) Largura total dos seios frontais, (f) Distância entre os pontos mais altos de cada seio frontal, (g) e (h) Distância entre o ponto mais alto do seio frontal e sua lateral, para o direito e esquerdo respectivamente (UTHMAN *et al.*, 2009).

As medidas obtidas são traduzidas para números, de acordo com faixas pré-definidas. No total, foram adquiridas 19 medidas distintas dos seios frontais, convertidas em um dígito e formando um único número de 19 dígitos utilizado para formar um código de barras que foi armazenado na base para uso futuro.

As medidas foram obtidas duas vezes e comparadas, a fim de minimizar os erros. Alguns critérios foram adotados no caso de empate na decisão de algum ponto da imagem. Além das medidas dos seios, as seguintes características foram capturadas do crânio:

- Comprimento máximo do crânio (segmento de reta AB);
- Altura prostio-bregmática (segmento de reta CD);

- Largura máxima do crânio (segmento de reta EF).

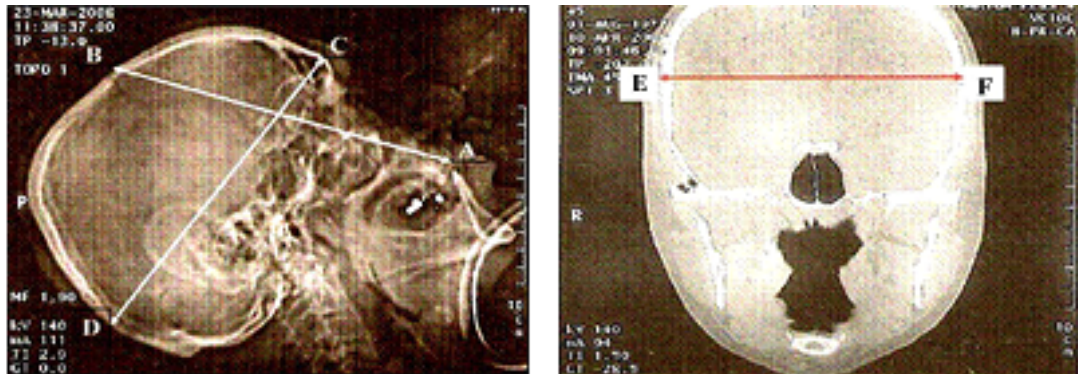


Figura 3.12: Medidas propostas pelo método de Uthman *et al.* (2009).

O método proposto por Uthman *et al.* (2009) foi aplicado para a identificação de 90 pessoas, sendo 45 homens e 45 mulheres, com idade entre 20 e 49 anos.

As medidas dos seios frontais foram comparadas entre si para demonstrar a unicidade dos seios, obtendo bons resultados, visto que nenhum código de barras foi idêntico. Também foram utilizadas para reconhecer o gênero do indivíduo, apresentando bons resultados quando utilizadas também as medidas do crânio.

Com este trabalho não foi possível medir a eficiência da utilização do reconhecimento biométrico por meio dos seios frontais, visto que foi utilizada apenas uma imagem por indivíduo. Pelo mesmo motivo, nenhuma conclusão pode ser exarada sobre a propriedade de permanência desta característica biométrica. Porém, a propriedade de unicidade dos seios frontais foi reforçada com estes estudos além de sua capacidade de diferenciação de gênero.

3.3 Considerações Finais

Como pode ser observado neste capítulo, alguns métodos de identificação de estruturas dos seios paranasais já foram propostos na literatura. Entretanto, alguns desafios persistem nesta área de avaliação de imagens digitais e identificação humana forense baseada em estruturas dos seios paranasais, dentre os quais podemos citar:

- **Dificuldade na etapa de segmentação dos seios paranasais:** dentre as dificuldades apresentadas nos trabalhos correlatos encontrados na literatura acerca do tema estudado, sobressai a dificuldade na segmentação automática dos seios paranasais. A segmentação totalmente automática dos seios frontais não foi apresentada em nenhum dos trabalhos correlatos encontrados, descrevendo um problema que apresenta viabilidade em ser abordado, visto que as segmentações destas estruturas, até o presente levantamento de trabalhos correlatos, são realizadas de maneira semi-automática, ou totalmente manual.
- **Dificuldade de definição automática da imagem utilizada para a segmentação na sequência de imagens do exame tomográfico:** com o trabalho apresentado para a utilização de características dos seios frontais obtidas por imagens de tomografia computadorizada, notou-se uma deficiência na explicitação da maneira de se definir em qual das imagens o processo de segmentação das estruturas deve ter início. Isto se deve muitas vezes ao fato de os estudos baseados neste reconhecimento, o de seios paranasais e suas estruturas

constituintes, estar atrelado a uma pré-análise manual por especialistas médicos da área de radiologia na seleção das imagens a serem utilizadas nos sistemas. Não constatou-se evidências de uma definição automática das imagens de tomografia computadorizada dos indivíduos a serem utilizadas, tampouco a utilização de mais de uma imagem na sequência de imagens para tal reconhecimento.

- **Pouca utilização dos seios maxilares em sistemas de reconhecimento biométrico:** a maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre identificação humana baseada em seios paranasais utiliza apenas os seios frontais. Todavia, os seios maxilares apresentam características a serem avaliadas para sua utilização em sistemas de identificação biométrica de pessoas, visto que são estruturas, teoricamente, tão duradouras e individuais quanto os seios frontais. Portanto, sua avaliação na identificação de indivíduos com a finalidade de aprimorar os resultados de reconhecimento juntamente com os seios frontais é pertinente. É importante observar que existem diversos estudos na literatura que constata a eficiência da utilização dos seios maxilares na determinação de gênero de indivíduos.
- **Pouca utilização de imagens de tomografia computadorizada na extração de características dos seios frontais:** a utilização de imagens de raios-X para a extração de características dos seios frontais já foi estudada e fundamentada na literatura, apresentando resultados positivos. Entretanto, pouco foi explorado acerca da utilização de imagens de tomografia computadorizada para a extração de características dos seios frontais. Trabalhos científicos que utilizam tomografias computadorizadas para a extração de características dos seios maxilares na determinação de gênero demonstram a viabilidade desta extração, visto que imagens de tomografia computadorizada apresentam maior riqueza de detalhes e facilidade de avaliação, além de a estrutura analisada ser representada por uma sequência de imagens, e não por uma única imagem como ocorre no exame de raios-X.

3.4 Tabela Resumo dos Trabalhos Correlatos

Nesta seção estão resumidos os trabalhos correlatos encontrados. Estes trabalhos estão relacionados na Tabela 3.1, de acordo com o ano de sua realização e a modalidade de imagem utilizada: imagens de raios-X ou de TC.

Tabela 3.1: Tabela Resumo dos Trabalhos Correlatos

Referência	Estrutura	Segmentação	Segmentação	Exame
(RIBEIRO, 2000)	Seios Frontais	Manual	Largura e Distância	R-X
(TANIGUCHI <i>et al.</i> , 2003)	Seios Frontais e Septo Nasal	Manual	Medidas combinadas dos seios frontais e septo nasal	R-X
(CHRISTENSEN, 2005)	Seios Frontais	Manual	Análise de Fourier Elíptica dos Seios Frontais	R-X
(FALGUERA; MARANA, 2008)	Seios Frontais	Semi-automática	Descrição da forma pela técnica de Shape Context	R-X
(SILVA <i>et al.</i> , 2009)	Seios Frontais	Manual	Análise morfológica dos Seios Frontais	R-X
(BESANA; ROGERS, 2010)	Seios Frontais	Manual	Traços componentes dos Seios Frontais	R-X
(BOLZAN; TUCUNDUVA, 2012)	Seios Frontais e Maxilares	Manual	Medidas dos Seios Frontais e Maxilares	R-X
(PATIL <i>et al.</i> , 2012)	Seios Frontais e Maxilares	Manual	Traços dos Seios Frontais	R-X
(BELALDAVAR <i>et al.</i> , 2014)	Seios Frontais e Maxilares	Semi-automática	Medidas dos Seios Frontais	R-X
(UTHMAN <i>et al.</i> , 2009)	Seios Frontais e Medidas do crânio	Manual	Medidas dos Seios Frontais e do crânio	TC

Capítulo 4

Método Proposto

Este capítulo apresenta o novo método automático proposto para a identificação biométrica de pessoas, utilizando características dos seios paranasais, mais especificamente dos seios frontais e dos seios maxilares, adquiridas de tomografias computadorizadas. O método proposto tem três etapas: segmentação dos seios paranasais, extração de características e casamento. O método também prevê uma etapa de fusão, nos níveis de características ou de pontuação, dos métodos baseados em seios frontais e maxilares.

4.1 Segmentação Automática dos Seios Frontais

O processo de segmentação dos seios frontais baseia-se na definição de regiões de interesse por meio de binarizações em imagens de entrada. O diagrama da figura 4.1 ilustra, sucintamente, o processo global de segmentação dos seios frontais realizados pelo método.

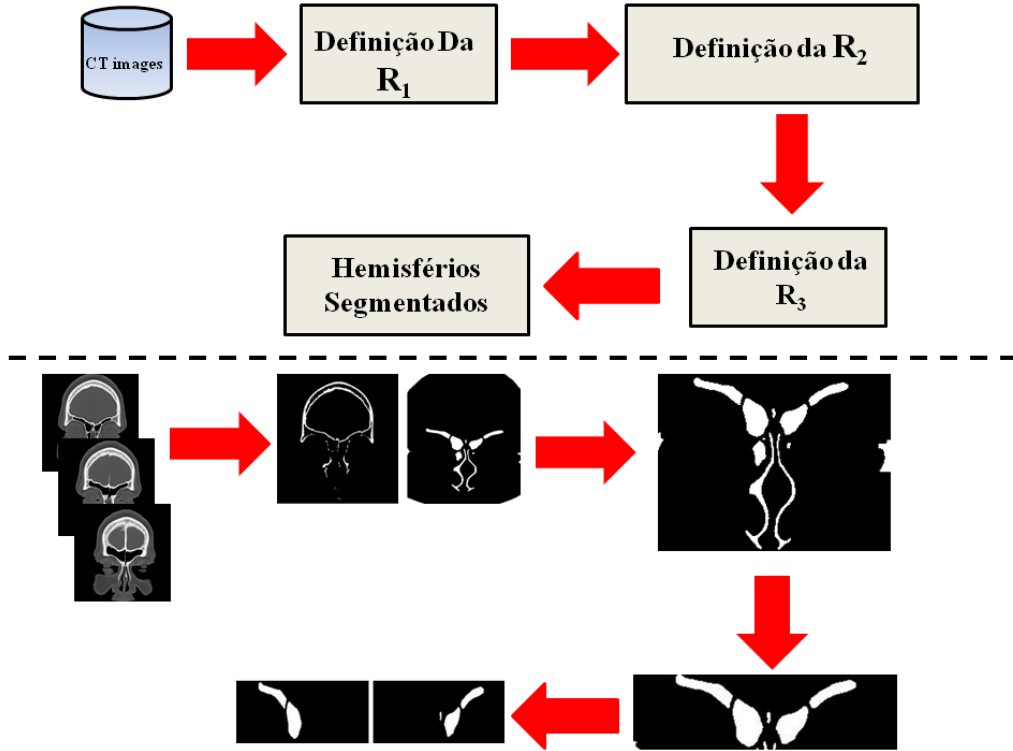


Figura 4.1: Diagrama da Segmentação Automática dos Seios Frontais realizada pelo método proposto.

Imagens de tomografia computadorizada do crânio apresentam alto contraste, quando comparados a imagens de raios-X. Desta maneira, para a etapa de segmentação, utilizou-se a técnica limiarização, pois as regiões dos seios frontais são as mais escuras das imagens de tomografia, enquanto o crânio propriamente dito descreve uma região mais clara (quase branca) nesta modalidade de imagem médica. Portanto, dada uma imagem I , com dimensões $m \times n$, e em tons de cinza, calcula-se o histograma desta imagem e verifica-se a região com maior acúmulo de *pixels* claros, para então definir o valor do limiar a ser utilizado para a binarização da imagem. O histograma é definido por:

$$h(k) = n_k, 0 < k < ML \quad (4.1)$$

onde n_k representa o número de ocorrências do tom de cinza k na imagem I , e ML representa o valor máximo para o número de tons de cinza da imagem I , que para este caso é 255.

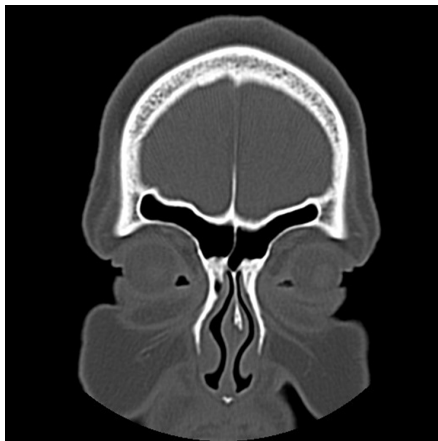
Após a definição do limiar, que consiste na moda mais a direita do histograma da imagem de TC menos uma constante c , a binarização com base neste limiar é realizada. A Figura 4.2 ilustra a imagem de entrada (topo), o seu histograma h , com o valor do limiar (meio), a imagem binária B resultante do processo de binarização por limiarização (base).

É possível definir a partir da imagem B a primeira região de interesse do problema, designada região R_1 , que corresponde a localização aproximada do crânio na imagem. A partir da imagem B as quatro componentes da região de interesse R_1 são encontradas: limite superior de R_1 , limite esquerdo de R_1 , limite direito de R_1 e limite inferior de R_1 . Estas componentes são obtidas utilizando as funções f (Equação 4.2) e g (Equação 4.3). Estas funções realizam a soma de linhas e colunas, respectivamente, na imagem binária I , possibilitando a verificação de variação

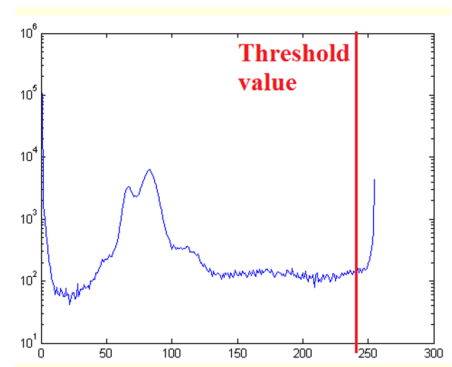
nos valores destas somas quando em determinada linha ou coluna estiver presente pelo menos um *pixel* com valor diferente de 0. Os limites esquerdo e direito da região R_1 são calculados com o uso da Equações 4.2 e os limites superior e inferior são calculados com a Equação 4.3. A Figura 4.3 ilustra a definição de R_1 .

$$f(i) = \left(\sum_{j=1}^n B(i, j) \right), i = 1 \dots m \quad (4.2)$$

$$g(j) = \left(\sum_{i=1}^m B(i, j) \right), j = 1 \dots n \quad (4.3)$$



(a)



(b)



(c)

Figura 4.2: Ilustração da primeira binarização realizada pelo método proposto: (a) Imagem de entrada I ; (b) Histograma h de I (com eixo y logaritmico) e (c) Imagem binarizada B .

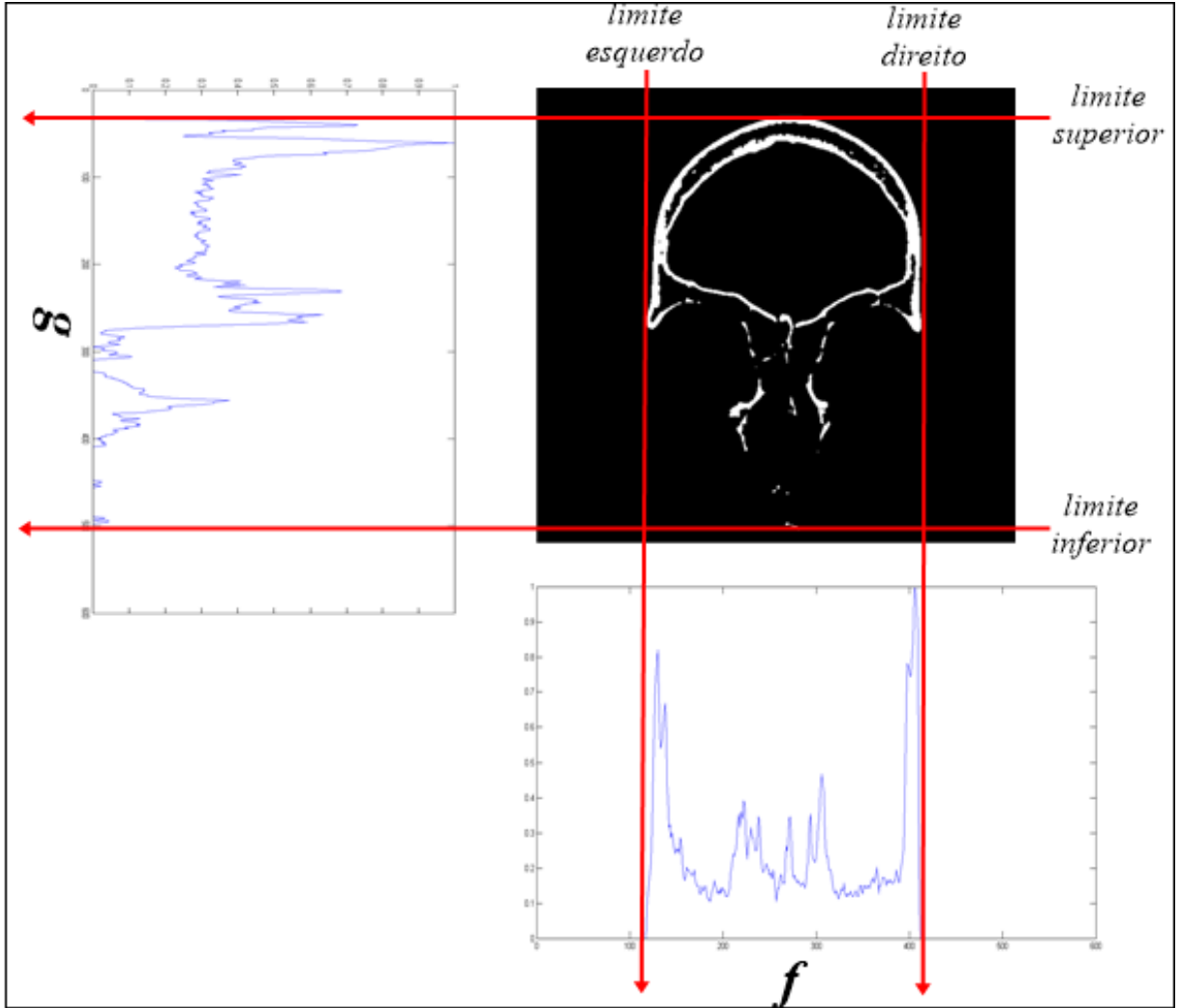
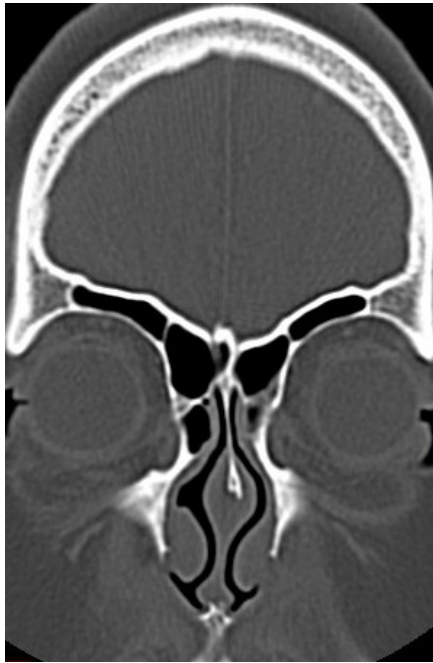


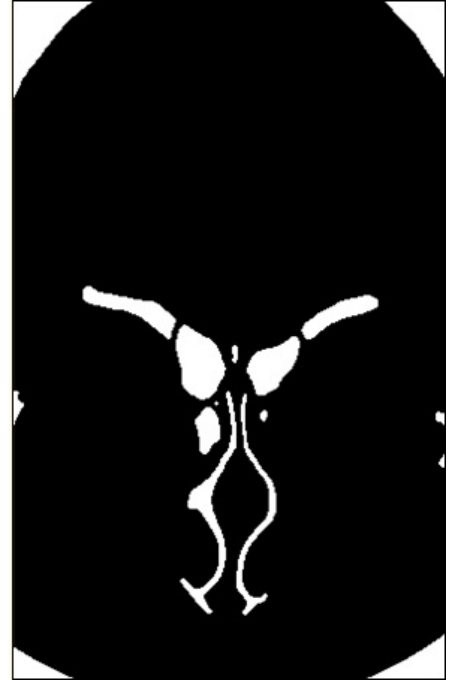
Figura 4.3: Ilustração do processo de obtenção da região R_1 .

Após a definição desta região inicial, com o crânio delimitado, uma nova região deve ser calculada, designada R_2 , sendo esta a região onde os seios frontais, efetivamente, estão contidos.

Uma nova imagem, I_2 é calculada cortando a imagem original I utilizando os limites superior, inferior, direito e esquerdo definidos pela região R_1 . Após, uma nova imagem binarizada, chamada B_2 , é calculada considerando, agora, como valor de limiar para a binarização, a moda mais a esquerda de h . Os valores dos *pixels* acima do valor de limiar tornam-se 0 (preto) e os *pixels* cujos valores sejam iguais ou menores que os do limiar tornam-se 255 (branco). A Figura 4.4 ilustra as imagens I_2 e B_2 , respectivamente.



(a)



(b)

Figura 4.4: Ilustração do processo de obtenção da imagem binarizada B_2 : (a) Imagem I_2 e (b) Imagem B_2 .

No próximo passo é necessário calcular uma nova região de interesse, com base em B_2 , designada R_2 . Nesta região, onde os seios frontais estão localizados, a influência das bordas pretas presentes nas imagens originais (imagem I_2) é excluída do problema, e a região de interesse onde somente os seios frontais pode ser finalmente processada.

Para o cálculo de R_2 , que apresenta os limitantes superior e inferior diferentes de R_1 , a função g (Equação 4.3) é utilizada, sendo aplicada na imagem B_2 . A Figura 4.5 ilustra o cálculo dos limites superior e inferior de R_2 , com base na função g , e a aplicação da função g (Equação 4.3) à imagem B_2 , apresentada na Figura 4.4.

Como pode ser observado, ainda, na Figura 4.5, os valores iniciais de g são diferentes de zero devido a ruídos presentes nos cantos da imagem B_2 . Portanto, com o objetivo de remover tais ruídos, o valor x_1 é encontrado, de modo que $g(x_1) = 0$ seja satisfeita. A partir do ponto x_1 , o limite de R_2 é definido como x_2 , ponto este que satisfaz a restrição $(g(x_2) \neq 0) - 1$. Finalmente, do ponto x_2 , limite superior de R_2 , o limite inferior desta região é definido como o ponto x_3 tal qual $g(x_3) = 0$.

A Figura 4.6 ilustra a nova região de interesse R_2 , encontrada a partir de B_2 . Como pode ser notado, a região R_2 é composta por regiões brancas que representam as estruturas ósseas do crânio, todavia, nem todas estas estruturas pertencem aos seios frontais. Sendo assim, uma última região de interesse, R_3 deve ser calculada, a partir de R_2 .

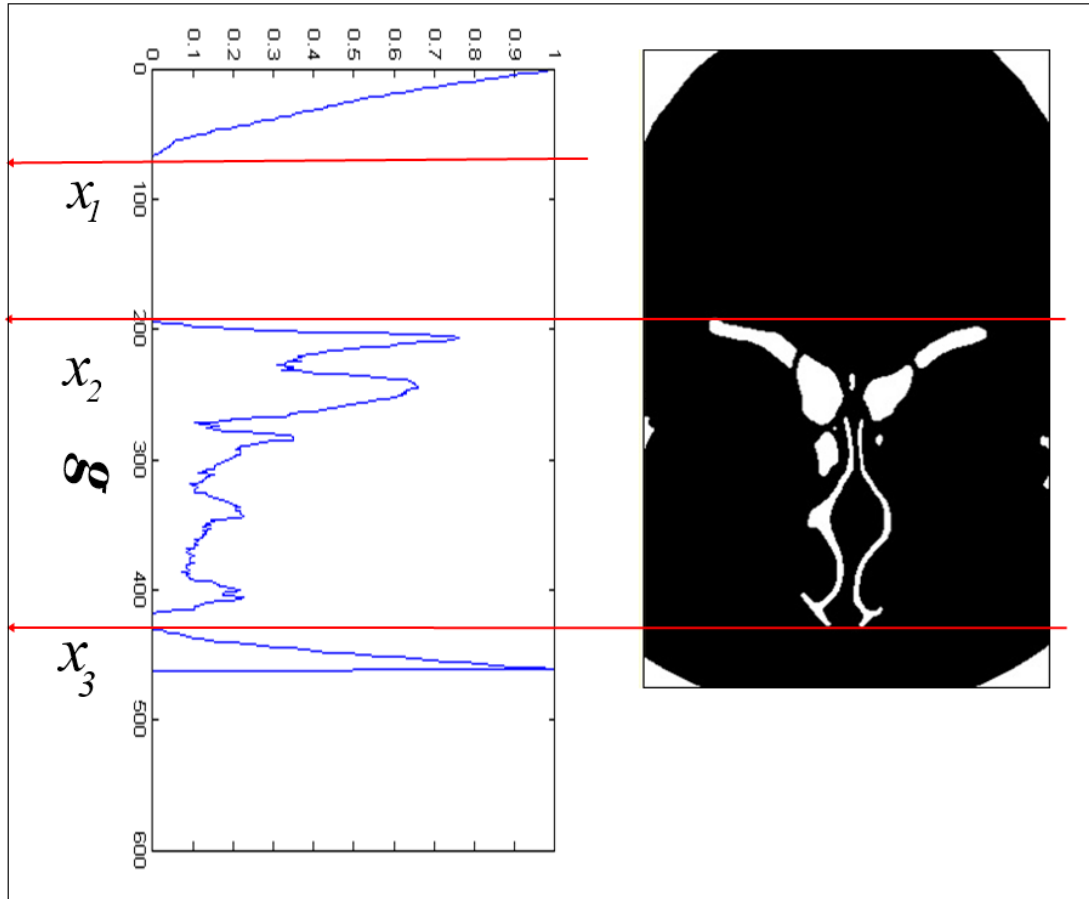


Figura 4.5: Definição dos novos limites (superior e inferior) da região R_2 .



Figura 4.6: Imagem binarizada B_3 , dentro da região de interesse R_2

Com a definição da região R_2 e da imagem binarizada B_3 , finalmente é possível definir a última região referente aos seios frontais nas imagens de TC. Como pode ser observado na Figura 4.6, existem na imagem B_3 estruturas brancas referentes aos seios frontais, e regiões brancas referentes a outras estruturas. Para a definição da região R_3 , que difere da região R_2 unicamente pelo limite inferior, um algoritmo deve ser seguido, com o objetivo de facilitar o entendimento e

padronizar o processo de definição da região de interesse final:

O algoritmo que organiza todos os passos para a definição da região de interesse R_3 está descrito a seguir:

```

1 Entrada: Imagem Binarizada  $B_3$ , Região de Interesse  $R_2$  ;
2 Saída: Região de Interesse  $R_3$ ;
3  $R_3 \leftarrow R_2$ ;
4  $g \leftarrow$  função  $g$  aplicada a imagem  $B_3$ ;
5 for  $j \leftarrow 1$  até o tamanho de  $g$  do
6   if  $g(j) = 0$  then
7     limite inferior de  $R_3 \leftarrow j$ ;
8     exit();
9   end
10 end
11  $h_{R2} \leftarrow (\text{limite inferior de } R_2)/2$  ;
12  $I \leftarrow \emptyset$ ;
13  $S \leftarrow$  lista de regiões brancas de  $B_3$ ;
14  $i \leftarrow 1$ ;
15 while  $S \neq \emptyset$  do
16    $c \leftarrow$  centroide da região  $S_i$ ;
17   if  $(c_x < h_{R2})$  E  $(S_i \text{ não ultrapassar } h_{R2})$  then
18      $I \leftarrow Image \cup S_i$  ;
19      $S \leftarrow S - S_i$ ;
20   end
21 end
22 limite superior de  $R_3 \leftarrow$  limite superior de  $I$ ;
23 limite inferior de  $R_3 \leftarrow$  limite inferior de  $I$ ;

```

Algorithm 1: Algoritmo para o cálculo da Região R_3

Como pode ser observado no Algoritmo 1, existem dois caminhos para definir a região de interesse R_3 . Inicialmete, R_3 é igual a R_2 (linha 1). Após, a função g é calculada aplicando a função g (Equação 4.3) a imagem binarizada B_3 (linha 2). Seguindo, se existir uma linha j em B_3 tal que $g = 0$, então, o limite inferior da região R_3 é encontrado e o algoritmo termina (linhas 3-7). Por outro lado, quando esta condição não pode ser satisfeita, o algoritmo prossegue seu funcionamento com o cálculo da linha central da imagem B_3 , a linha h_{R2} (linha 7), e o armazenamento das estruturas brancas presentes em B_3 na lista S (linha 9). Continuando, enquanto existir alguma região branca não visitada em S , esta é visitada e seu centróide é calculado. Se este centróide estiver localizado acima da linha central h_{R2} , esta região é adicionada a nova imagem I , criada com as estruturas brancas componentes dos seios frontais (linha 10-17). Finalmente, os limites superior e inferior de R_3 são definidos como os limites superior e inferior da imagem I . Os limites esquerdo e direito de R_3 são os mesmos de R_2 .

Os centróides são calculados pelas seguintes equações:

$$\frac{\sum C_x}{\sum C_{(x,y)}} \quad (4.4)$$

$$\frac{\sum C_y}{\sum C_{(x,y)}} \quad (4.5)$$

$$C = (C_x, C_y) \quad (4.6)$$

A Figura 4.7 ilustra a definição da região R_3 pela *primeira parte* do algoritmo (linhas 3-6).

Já a Figura 4.8 ilustra um exemplo de região R_2 que contém estruturas brancas conectadas as estruturas dos seios frontais, mas que não são pertencentes a estes. Neste caso, a *segunda parte do algoritmo* (linhas 7-19) é executada. No exemplo apresentado na Figura 4.8, pode ser observado que a linha vermelha horizontal divide R_2 em duas subregiões (h_{R2} no algoritmo - linha 7). Nesta Figura, as regiões brancas estão enumeradas. As regiões de 1 a 5 pertencem aos seios frontais, enquanto que as demais 6 regiões pertencem a outras estruturas do crânio. As regiões 10 e 11 possuem centróides abaixo da reta h_{R2} , e portanto, são removidas da região dos seios frontais. A região 7 ultrapassa a reta h_{R2} , e a região 8 é muito pequena com relação as demais estruturas presentes na metade de cima da região R_2 , e portanto, também são removidas. As regiões 6 e 9 estão localizadas na borda da região de interesse R_2 , e por isso, também são removidas.

Todas estas etapas são necessárias devido a dificuldade de definição do limite inferior da região R_3 . Esta dificuldade se deve ao fato da alta variação das estruturas ósseas presentes nesta região do crânio.



Figura 4.7: Exemplo de região R_2 que satisfaz a primeira parte do Algoritmo 1 (linhas 3-6). A linha vermelho exibe o limite inferior da região R_3 .

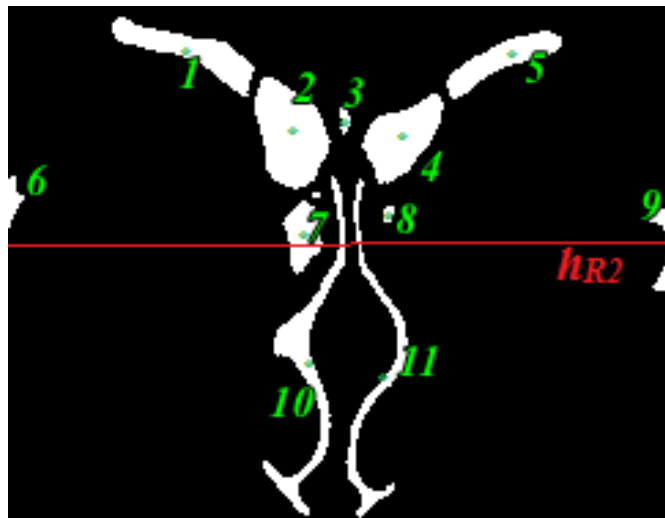


Figura 4.8: Exemplo de região R_2 em que é necessária a execução da segunda parte do Algoritmo 1 (linhas 7-19) para a definição do limite inferior da região R_3 . Os marcadores verdes representam os centróides de cada estrutura branca da imagem.

Com a definição da última região de interesse, R_3 , torna-se possível a definição dos seios

frontais na imagem de TC. A Figura 4.9 ilustra todas as regiões de interesse definidas pelo método proposto, evidenciadas na imagem de entrada I . A região R_1 está destacada em amarelo, a região R_2 em verde, e a região R_3 , em vermelho.

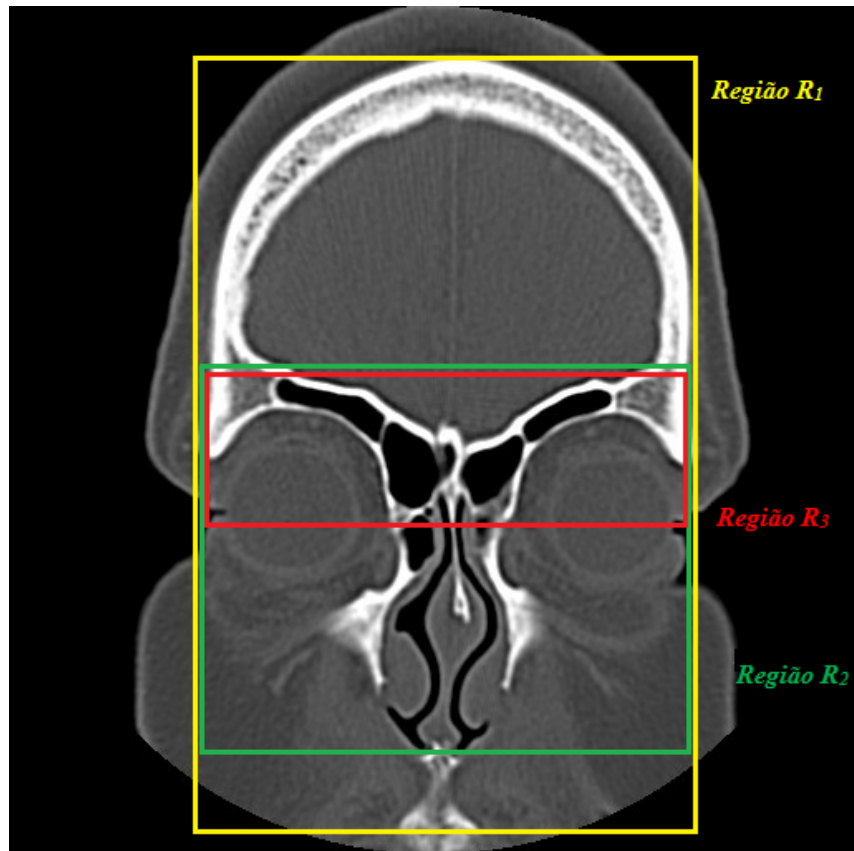


Figura 4.9: Ilustração de todas as regiões de interesse definidas pelo método de segmentação automática dos seios frontais.

Por fim, para a conclusão da etapa de segmentação dos seios frontais, analisa-se a componente y dos centróides das estruturas pertencentes a região R_3 binarizada, com o objetivo de definir se são estas pertencem ao hemisfério esquerdo ou direito.

Designando uma vez mais, as estruturas dentro da região R_3 de S , a definição dos hemisférios é realizada da seguinte forma: Se C_{y_S} for menor que a metade da largura de R_3 , a estrutura S pertence ao hemisfério esquerdo dos seios frontais. Caso contrário, a estrutura S pertence ao hemisfério direito dos seios frontais.

O resultado da etapa de segmentação de uma imagem de tomografia computadorizada está ilustrada na Figura 4.10.



Figura 4.10: Resultado da etapa de segmentação de uma imagem de tomografia computadorizada com: hemisférios segmentados.

4.1.1 Seios Frontais com Obstrução

Como já definido anteriormente, os seios frontais podem apresentar obstruções que comprometem suas segmentações. A trivialidade consiste na existência de um hemisfério esquerdo e um direito para cada indivíduo, entretanto, como o resultado é construído baseado no contraste das imagens de TC, caso haja obstruções em um dos hemisférios, estes não poderiam ser segmentados corretamente.

Portanto, ao final do processo de segmentação, se um dos hemisférios não puder ser segmentado (visto que as estruturas passam por testes de consistência de acordo com seu tamanho para pertencerem aos seios frontais ou não), uma nova abordagem deve ser aplicada para que este hemisfério possa ser segmentado corretamente. A premissa, entretanto, é de que pelo menos um dos hemisférios não esteja totalmente obstruído, visto que sem pelo menos um hemisfério presente, não é possível a definição do limite superior na definição da Região R_2 , e sem isso, o método não apresenta resultados satisfatórios de segmentação.

Tendo então, definido somente um dos hemisférios dos seios frontais, e verificando a ausência do outro, retorna-se a etapa de definição da região R_2 . Uma nova região, R'_2 é definida como a mesma região de R_2 , mas como limite superior subtraído por Z . A Equação 4.4 define o cálculo de Z :

$$(\text{limite superior})_{R'_2} = ((\text{limite superior})_{R_2} - (\text{limite superior})_{R_1}) * 0,3 \quad (4.7)$$

Pela Equação 4.4, pode-se observar que o novo limite superior representa 70% da distância entre os limites superiores das regiões R_1 e R_2 . Não deve-se utilizar o mesmo limite superior de R_2 para R'_2 porque o limite superior pode ser definido pelo hemisfério com obstrução, caso este esteja localizado acima do hemisfério que já foi segmentado e utilizado para a definição do limite superior de R_2 . Portanto, faz-se necessário definir um limite superior distinto para R'_2 , e considerando a pseudo-simetria na localização dos seios frontais, $Z = 0,3$ apresentou resultados satisfatórios para a base de dados utilizada.

Após, define-se a imagem I_3 como sendo um recorte da imagem I utilizando os limites definidos para a região R'_2 . Dentro da imagem I_3 , agora, busca-se todas as regiões totalmente envoltas por estruturas brancas. Isto é realizado percorrendo-se os pixels brancos da imagem, e buscando estruturas de contorno que se comuniquem no começo e no fim da busca. Quando isto pode ser encontrado, uma estrutura branca envolve um conjunto de pixels que não são brancos.

Tendo definidas tais estruturas, totalmente envoltas por pixels brancos, estas tem seus conteúdos pintados de preto (seus *pixels* são convertidos para valor 0 (preto)). A Imagem I_2 tem seu conteúdo substituído pelo de I_3 , e o processo de segmentação é realizado mais uma vez a partir da definição de I_2 . Ao final do processo, ao invés de somente um hemisfério definido, os dois serão segmentados.

A Figura 4.11 ilustra o processo de segmentação de um hemisfério obstruído dos seis frontais, com a região R_3 destacada em (a) e o resultado da segmentação em (b). A Figura 4.12 (a) ilustra a região R'_2 definida pela segmentação de seios frontais obstruídos, e (b) ilustra o resultado da segmentação após o tratamento de hemisférios obstruídos.

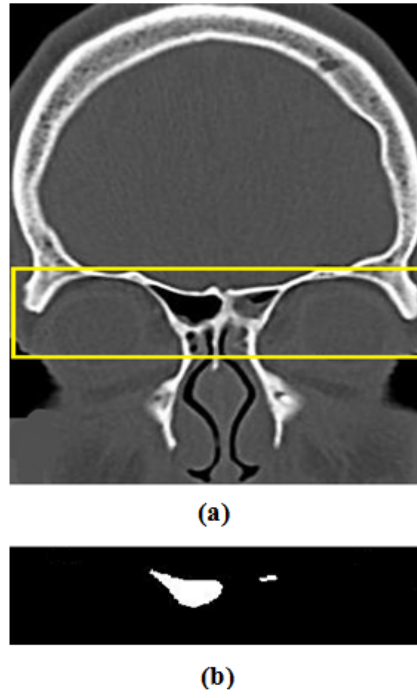


Figura 4.11: Ilustração da segmentação dos seios frontais com obstrução em um dos hemisférios com: (a) Definição da região R_3 e (b) Resultado da Segmentação da Imagem. (c) I cortada pelos limites definidos pela região R'_2 e (d) Imagem I_3

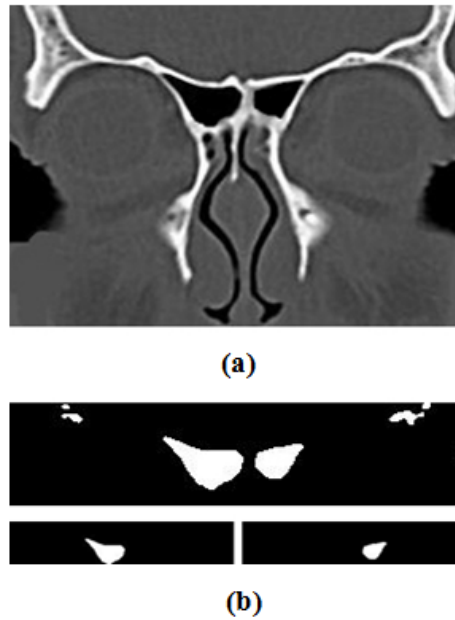


Figura 4.12: Ilustração da segmentação dos seios frontais com obstrução em um dos hemisférios com: (a) Definição da região R'_2 e (b) Resultado da Segmentação da Imagem com tratamento de hemisférios obstruídos.

4.2 Segmentação Automática dos Seios Maxilares

Para a segmentação automática dos seios maxilares, técnicas de processamento de imagens foram utilizadas de forma análoga as utilizadas para a segmentação dos seios frontais, porém com algumas alterações. O diagrama apresentado na Figura 4.13 exibe o processamento realizado para a obtenção dos hemisférios dos seios maxilares de maneira sucinta.

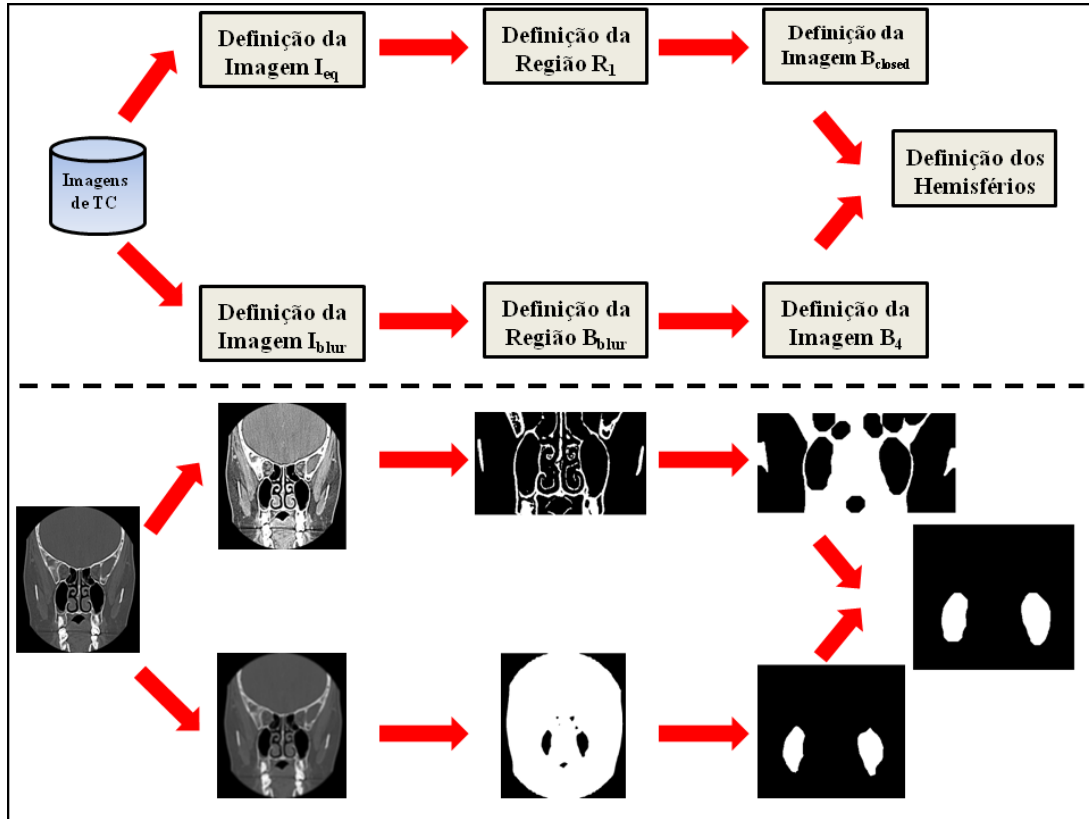


Figura 4.13: Diagrama de processamento para a obtenção dos seios maxilares.

Inicialmente, dada a imagem de entrada I_1 , ilustrada pela Figura 4.14, o primeiro passo consiste na equalização do histograma dos tons de cinza de I_1 , com o objetivo de realçar as bordas brancas que compõem os seios maxilares. A finalidade desta equalização é diminuir a conexão dos seios maxilares com outras estruturas que possam estar conectadas a eles, presentes entre os dois hemisférios. O resultado da equalização do histograma pode ser observado na Figura 4.15, na qual as regiões claras que circundam os seios maxilares foram realçadas.

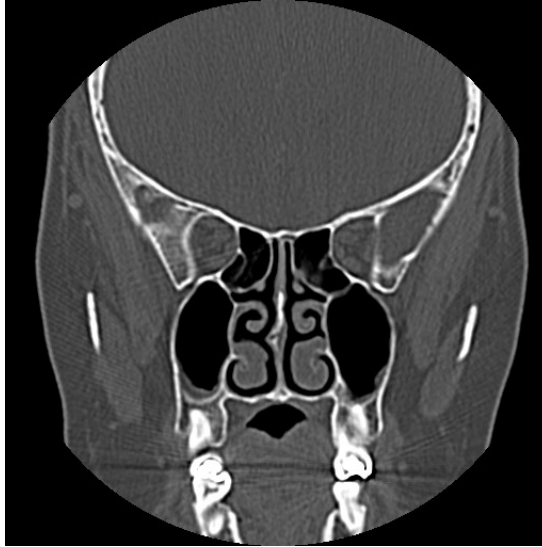


Figura 4.14: Imagem de entrada I_1 .

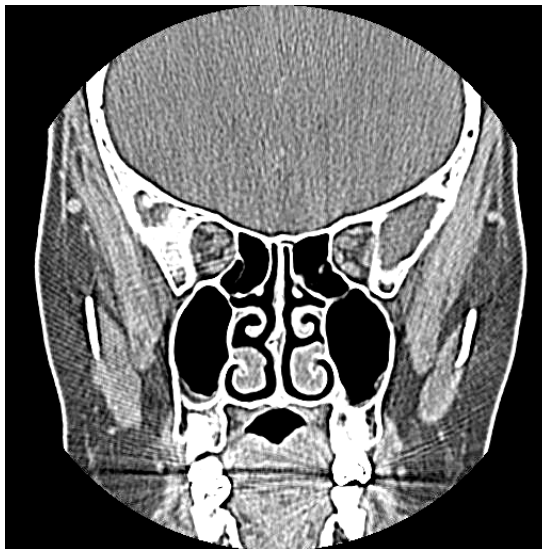


Figura 4.15: Imagem equalizada I_{eq} . As bordas brancas que circundam os seios maxilares tornam-se mais claras após a equalização do histograma de I_1 .

Em seguida, a imagem I_{eq} é binarizada, convertendo-se os *pixels* com valor menor que 255 em 0 (*pixels* diferentes de branco tornam-se pretos), e mantendo os *pixels* com valor 255 igual a este mesmo valor. Assim calcula-se a imagem binarizada B_{eq} , apresentada na Figura 4.16.



Figura 4.16: Imagem B_{eq} , resultado da binarização da imagem I_{eq} .

Na sequência, é realizada a definição dos limites da primeira região de interesse R_1 do processo de segmentação dos seios maxilares. Considerando o comportamento dos seios maxilares (confirmada pelo especialista) em todas as imagens de tomografia computadorizada, o limite superior da região R_1 é definido como 40% da altura total da imagem de tomografia computadorizada para todos os casos avaliados. Os seios maxilares estiveram sempre na porção inferior referente a 60% das imagens. Os limites direito e esquerdo são definidos utilizando a função f , definida na Equação 4.2, aplicada à imagem B_{eq} . A Figura 4.17 ilustra a definição dos limites superior, esquerdo e direito dos seios maxilares.

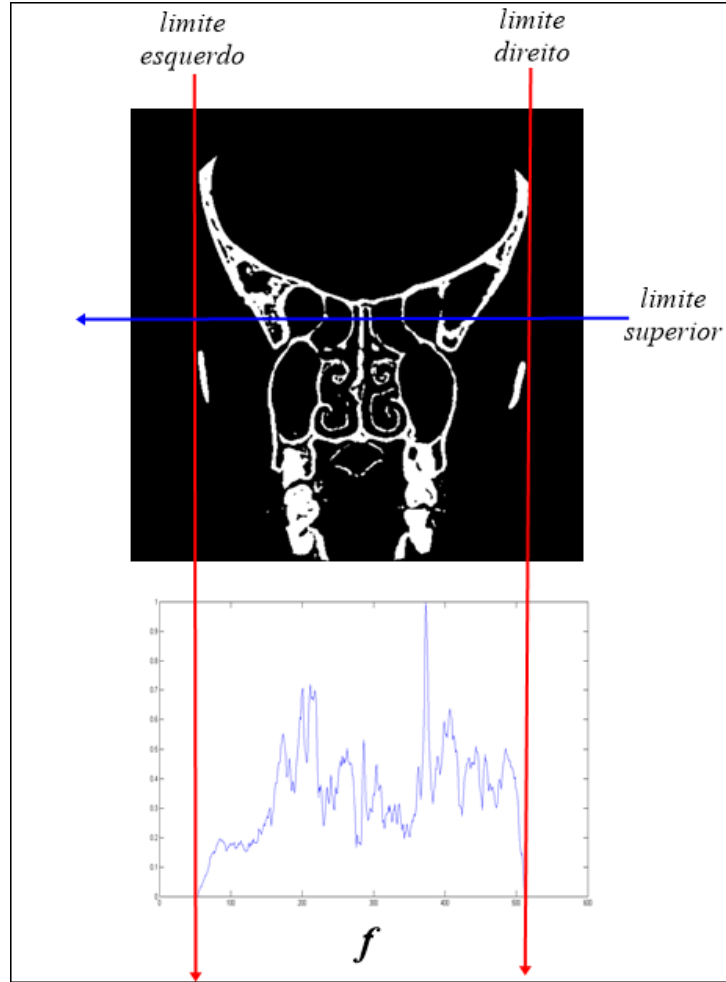


Figura 4.17: Definição dos limites superior, esquerdo e direito. Os dois últimos utilizando a função f , definida na Equação 4.2

O limite esquerdo da região R_1 é calculado pela definição de x_1 , tal que $f(x_1) \neq 0$. Para o cálculo do limite direito de R_1 , a partir da última posição de g , defini-se x_2 como sendo a primeira posição, do fim para o começo, com valor diferente de 0 ($f(x_2) \neq 0$).

Para a definição do limite inferior de R_1 , a partir dos limites já definidos da região, calcula-se inicialmente uma nova imagem binarizada de I_1 , utilizando os limites superior, esquerdo e direito já definidos para a região R_1 . Todavia, desta vez, a binarização converte os *pixels* com valores maiores que 0 em 0, e os com valor 0 em 255, destacando assim as regiões mais escuras da imagem I_1 . Assim, a imagem binarizada B_2 é definida, conforme ilustra a Figura 4.18.



Figura 4.18: Imagem B_2 , definida a partir da aplicação dos limites superior, esquerdo e direito de R_1 em I_1 .

A partir da imagem B_2 , função g , definida na Equação 4.3, é aplicada para a definição do limite inferior da região R_1 . A Figura 4.19 ilustra a definição do limite inferior da região R_1 .

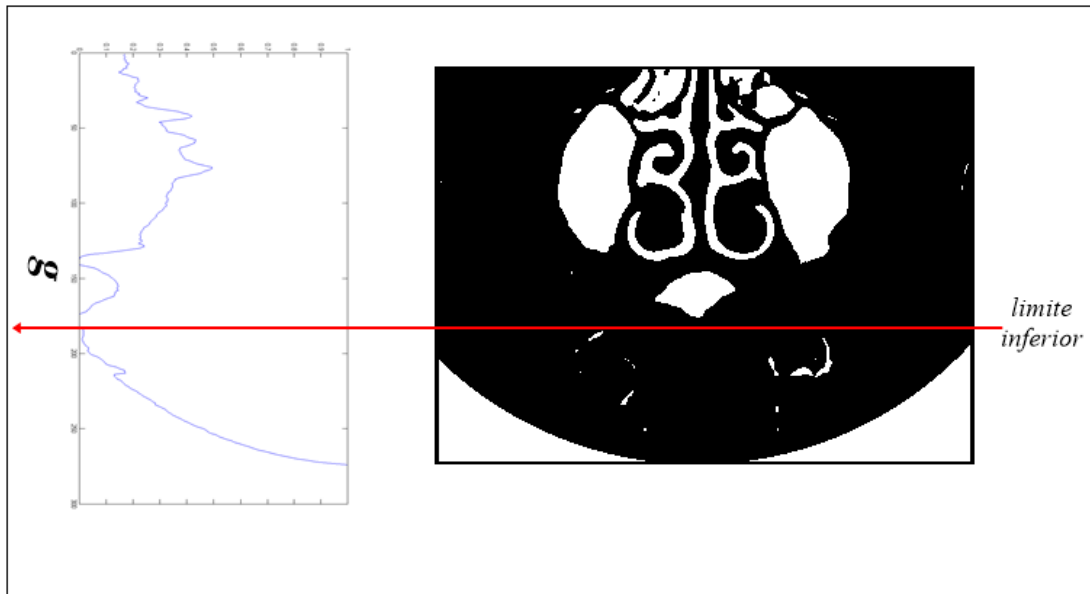


Figura 4.19: Definição do limite inferior de R_1 , utilizando a função g , definida na Equação 4.3.

Com o cálculo da função g definida na Equação 4.3, a partir do fim desta estrutura, o objetivo é remover os ruídos dos cantos da estrutura, e assim, definir o limite inferior da região R_1 . Assim, busca-se x_3 , tal qual $g(x_3) \approx 0$. A busca do limite inferior consiste na busca do primeiro vale mais próximo de 0 do fim para o começo da estrutura g ilustrada pela Figura 4.19. É importante salientar que este vale deve ter valor próximo de 0.

Após a definição da região R_1 , utiliza-se seus limites para definir uma nova imagem B_3 a partir da imagem binarizada B_2 , ilustrada na Figura 4.20a. Com a imagem B_3 , realiza-se o fechamento morfológico, gerando a imagem B_{closed} . Utilizando-se um elemento estruturante circular com diâmetro de 15 *pixels*, o objetivo do fechamento é de eliminar as estruturas que estejam conectadas diretamente aos seios maxilares, localizadas entre estes. Tais estruturas são

caracterizadas como ruídos, e prejudicam a correta definição dos seios maxilares se não forem removidas nesta etapa. O elemento estruturante deve ter tamanho suficiente para eliminar tais ruídos, observados como estruturas finas que crescem verticalmente entre os seios maxilares. Além disto, com este fechamento, é possível desconectar os seios maxilares de outras estruturas ruidosas que possam estar levemente conectadas a eles, e que prejudicam o processo de segmentação. O resultado deste fechamento, pode ser visto na imagem B_{closed} , apresentada na Figura 4.20b.

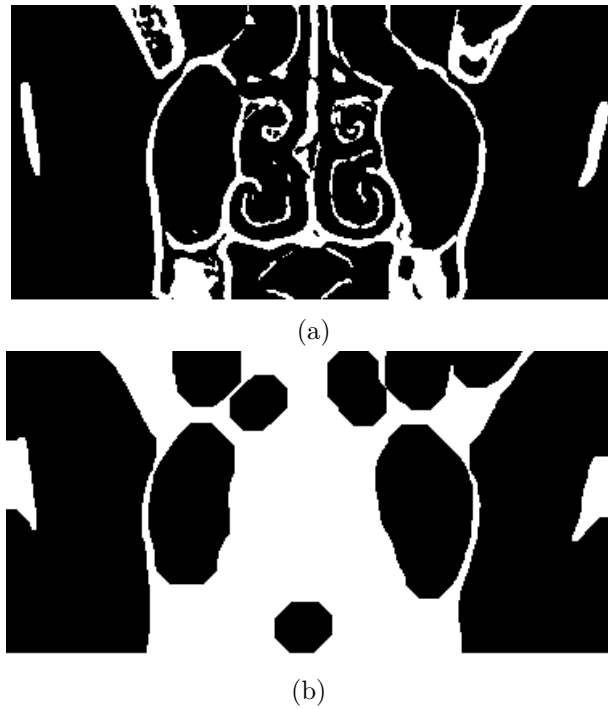


Figura 4.20: Processo de fechament morfológico para segmentação dos seios maxilares: (a) Imagem B_3 e (b) imagem B_{closed}

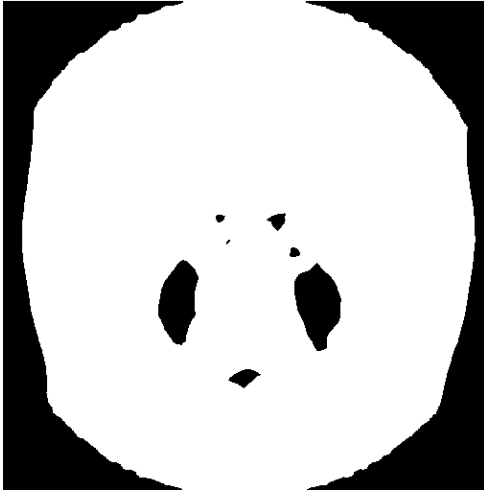
O próximo passo para a segmentação dos seios maxilares consiste no cálculo da imagem I_{blur} a partir da suavização da imagem de entrada I_1 . Esta suavização é realizada com a aplicação de um filtro gaussiano (filtro passa-baixa) na imagem I_1 . A amplitude da gaussiana aplicada a imagem I_1 é 10 (absoluto), com desvio padrão também 10 (absoluto). A suavização é necessária para que as regiões que estão entre os seios maxilares (ruídos tratados pelo fechamento em B_3) não interfiram na nova binarização que será realizada em I_1 , visto que estas regiões também possuem valores de *pixels* iguais a 0.

O resultado do processo de suavização da imagem I_1 pode ser visto na Figura 4.21. O objetivo da filtragem da imagem I_1 e cálculo da imagem I_{blur} é reduzir o impacto dos ruídos presentes entre os seios maxilares, como pode ser visualizado na imagem de entrada, a Figura 4.14.

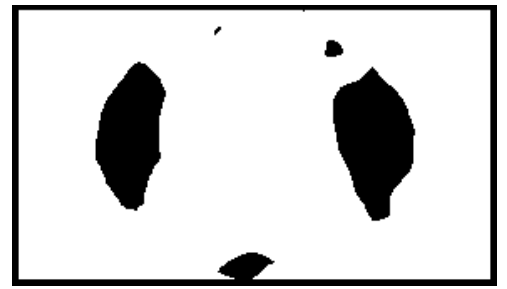


Figura 4.21: Definição da imagem I_{blur} , resultado da suavização da imagem de entrada I_1 .

Após o cálculo da imagem I_{blur} , realiza-se a binarização desta, gerando da imagem B_{blur} . Para tal, converte-se os *pixels* da imagem I_{blur} com valores superiores a 1 para 255, mantendo os valores de 0. A imagem B_{blur} está ilustrada na Figura 4.22a. Com a imagem B_{blur} definida, calcula-se uma nova imagem, designada B_4 , como resultado da inversão da imagem B_{blur} , recortada desta última com os limites definidos pela região R_1 , e ilustrada pela Figura 4.22b.



(a)



(b)

Figura 4.22: (a) Imagem B_{blur} , obtida a partir da binarização da imagem I_{blur} e; (b), B_4 , recorte de B_{blur} .

Finalmente, a definição das maiores estruturas brancas presentes nesta região é realizada. Após a definição dos limites de R_1 em B_{blur} , a avaliação de cada estrutura branca na região é realizada pela razão destas regiões com relação ao tamanho da janela definida pela região R_1 . As duas maiores estruturas nesta avaliação são os dois hemisférios dos seios maxilares. As estruturas

componentes dos seios maxilares, assim, compõem a imagem B_4 , sendo as demais estruturas da imagem B_{blur} descartadas. A imagem B_4 está ilustrada na Figura 4.23.



Figura 4.23: Imagem B_4 , obtida a partir do processamento das estruturas da imagem B_{blur} .

Os centróides das estruturas presentes em B_4 são então calculados, e segue-se com a obtenção dos seios maxilares, mesmo que estes apresentem obstrução por algum tipo de material estranho (decorrente de qualquer circunstância, como uma inflamação na mucosa, por exemplo). A partir dos centróides, a região das estruturas brancas presentes em B_4 passam por um processo de crescimento de região, mediante a comparação com os *pixels* nas posições correspondentes na imagem B_{closed} .

A partir dos pontos dos centróides em B_4 , a vizinhança é visitada e comparada com os *pixels* referentes em B_{closed} . Se os *pixels* visitados forem brancos (255) em B_4 e pretos (0) em B_{closed} , uma imagem de saída I_{out} , inicialmente preta, tem os *pixels* correspondentes pintados de branco (255). Este processo é realizado para garantir que a região dos seios maxilares está sendo visitada em ambas as imagens comparadas.

Quando toda a região com valores de 255 referente aos seios maxilares foi visitada em B_4 , a imagem I_{out} continua recebendo os valores de 255 para os *pixels* que ainda forem 0 (pretos) em B_{closed} (na região também referente aos seios maxilares). Assim, a obstrução presente nos seios maxilares em B_4 pode ser transcrita para a imagem de saída, com um resultado de segmentação dos seios maxilares mais próximo do ótimo. A definição da imagem I_{out} , referente aos seios maxilares, pode ser vista na Figura 4.24. A comparação entre as estruturas dos seios maxilares definidas pelas imagens B_{blur} e I_{out} está ilustrada na Figura 4.25.



Figura 4.24: Imagem I_{out} , imagem final do processamento referente aos seios maxilares, utilizando as imagens B_{closed} e B_4 .

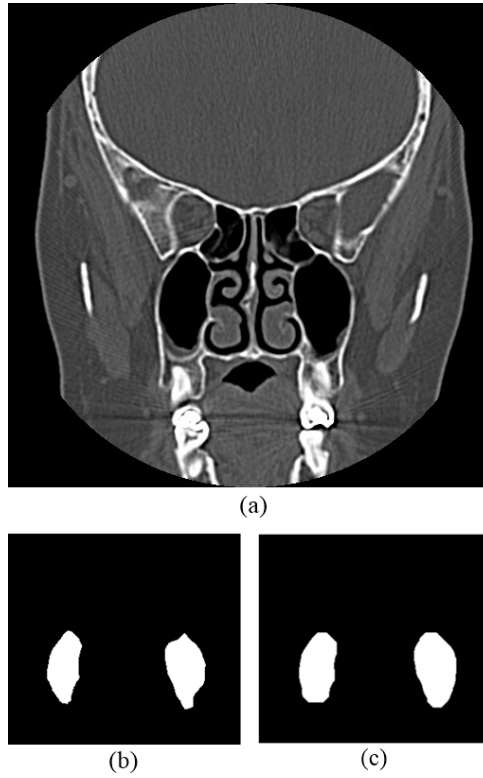


Figura 4.25: (a) Imagem de entrada; (b) Seios maxilares na imagem B_4 ; (c) Seios maxilares na imagem I_3 .

Ao final, após a definição da imagem I_3 , calcula-se os centróides das duas estruturas presentes nesta, com o objetivo de gerar duas imagens distintas, uma contendo o hemisfério esquerdo e outra contendo o hemisfério direito dos seios maxilares, assim como é feito para os seios frontais. Por fim, esta separação é realizada utilizando a componente y dos centróides. Se a componente C_y estiver a esquerda da metade da largura de I_3 , a estrutura pertence ao hemisfério esquerdo. Caso contrário, a estrutura pertence ao hemisfério direito.

4.3 Extração de Características

A extração de características é realizada a partir das imagens obtidas no processo de segmentação, descrito na seção 4.2. Tendo a *ROI* definida e a imagem devidamente segmentada, aplica-se técnicas de descrição de região ou forma para a definição de vetores de características. Todos os descritores são normalizados pela largura do crânio, obtida pela avaliação das imagens de TC (*pixels* mais claros da imagem correspondem a estrutura do crânio), tomando valores no intervalo $[0,1]$.

4.3.1 Descritores de Região

Para descritores de região, foram estabelecidas as seguintes medidas para descrição das estruturas dos seios paranasais utilizadas: área, perímetro e máxima distância. O valor da área é estimado contando-se todos os *pixels* brancos pertencentes às regiões dos seios frontais (hemisférios esquerdo e direito). O valor do perímetro é estimado contando-se todos os *pixels* pertencentes a borda dos dois hemisférios dos seios frontais. O valor da máxima distância entre dois pontos pertencentes a borda dos seios frontais é estimado percorrendo-se as bordas de cada uma das estruturas componentes dos hemisférios, esquerdo e direito, encontrando-se os dois pontos com a maior distância euclidiana (uma para cada hemisfério). Portanto, os descritores de região propostos são compostos por 30 valores, 15 para cada hemisfério (3 medidas para cada uma das 5 imagens que compõe um exame de tomografia computadorizada), conforme ilustra a Figura 4.27a.

4.3.2 Descritores de Forma

Descritores de formas são utilizados com sucesso em diversas aplicações na área de Visão Computacional. Entretanto, conforme pode ser observado no Capítulo 3, eles têm sido pouco utilizados para a aplicação objeto desta dissertação, a identificação forense, *post mortem*, de indivíduos baseada nos seios paranasais. A maioria dos trabalhos correlatos são baseados em descritores geométricos e de região.

Neste trabalho, popõe-se também a investigação da acurácia de descritores de forma para a identificação forense de indivíduos baseada em seios paranasais. Para tanto, adotou-se o método *BAS* (*Beam Angle Statistics*) proposto por ARICA e VURAL (2003) tendo em vista seu ótimo desempenho em várias outras aplicações.

Considerando que $x_1, x_2, \dots, x_N$ são os N valores assumidos pela variável X , o momento de ordem r de X é definido por:

$$m'_r = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i^r \quad (4.8)$$

Para o momento de ordem 1, tem-se a média dos valores do conjunto X . Portanto, o momento de ordem r centrado na média é definido por:

$$m_r = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^r \quad (4.9)$$

onde $m_1 = \bar{x}$, ou seja, a média de X . Para $r = 2$, o momento centrado na média é a variância dos dados com relação a média.

Para momentos de ordem $r \geq 2$, utiliza-se a equação de momento centrado na média de ordem r , para cálculo do momento de ordem r .

O método de análise de formas *BAS* (*Beam Angle Statistics*) proposto por Arica e Vural (2003) é baseado na representação do contorno de um objeto (que descreve uma função bidimensional) por meio de uma função unidimensional. Esta função deve representar ao máximo as convexidades e concavidades da borda do objeto, minimizando distorções. O BAS se vale dos raios (*beams*), que são segmentos de reta (vetores) que conectam cada ponto de borda de referência aos demais pontos da borda, a fim de caracterizar as formas (ARICA; VURAL, 2003).

Uma borda $B = p_1, \dots, p_N$ é representada por uma sequência de pontos conectados $p_i = (x_i, y_i)$ com $i = 1, 2, \dots, N$, sendo N o número de pontos da borda e $p_i = p_i + N$, para a sequência de pontos de borda sendo circular. Para cada ponto p_i , os raios de p_i são representados pelo conjunto de vetores $L(p_i) = V_{i+j}, V_{i-j}$, onde V_{i+j} e V_{i-j} são os vetores posterior e anterior que conectam p_i aos pontos p_{i+j} e p_{i-j} , respectivamente, na borda B , com $j = 1, 2, \dots, N/2$.

O sistema de vizinhança de ordem K de um ponto p_i é definido por $p_{i \pm K} \in h_{K(p_i)}$ para todo ponto da borda p_i , com $i = 1, 2, \dots, N$ e $K = 1, 2, \dots, N/2$. Os vetores (raios) V_{i+K} e V_{i-K} conectam p_i a p_{iK} . A Figura 4.26 ilustra os pares de raios que conectam p_i aos outros pontos da borda (SOUZA; MARANA, 2013).

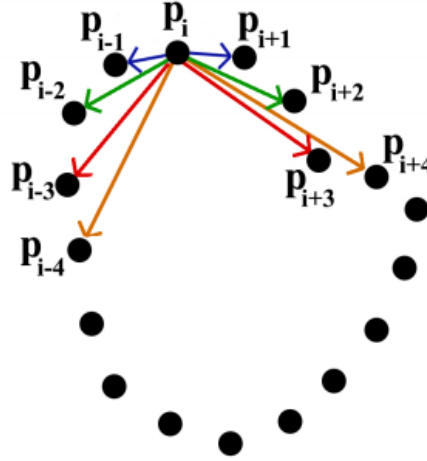


Figura 4.26: Os quatro primeiros pares de raios de um ponto p_i . Como exemplo, os pontos p_{i+1} e p_{i-1} pertencem à vizinhança $h_1(p_i)$ e estão conectados a p_i por meio dos vetores em azul denominados V_{i+1} e V_{i-1} , respectivamente (SOUZA; MARANA, 2013).

O ângulo entre os raios anterior e posterior de p_i no sistema de vizinhança de ordem K , é dado por:

$$C_k(i) = (\theta_{V_{i-k}} - \theta_{V_{i+k}}) \quad (4.10)$$

Considerando-se, para cada ponto p_i da borda B sendo analisada, o ângulo $C_K(i)$ entre os pares de raios do sistema de vizinhança $h_{K(p_i)}$ como sendo uma variável aleatória com função de densidade de probabilidade $P_K(C_K(i))$. No BAS (ARICA; VURAL, 2003), associa-se os m primeiros momentos desta variável, isto é, do conjunto de ângulos $C_K(i)$ com $K = 1, 2, \dots, N/2$,

ao respectivo ponto de borda (SOUZA; MARANA, 2013). O m -ésimo momento da variável aleatória $C_K(i)$ de um ponto p_i da curva (borda) B é definido por:

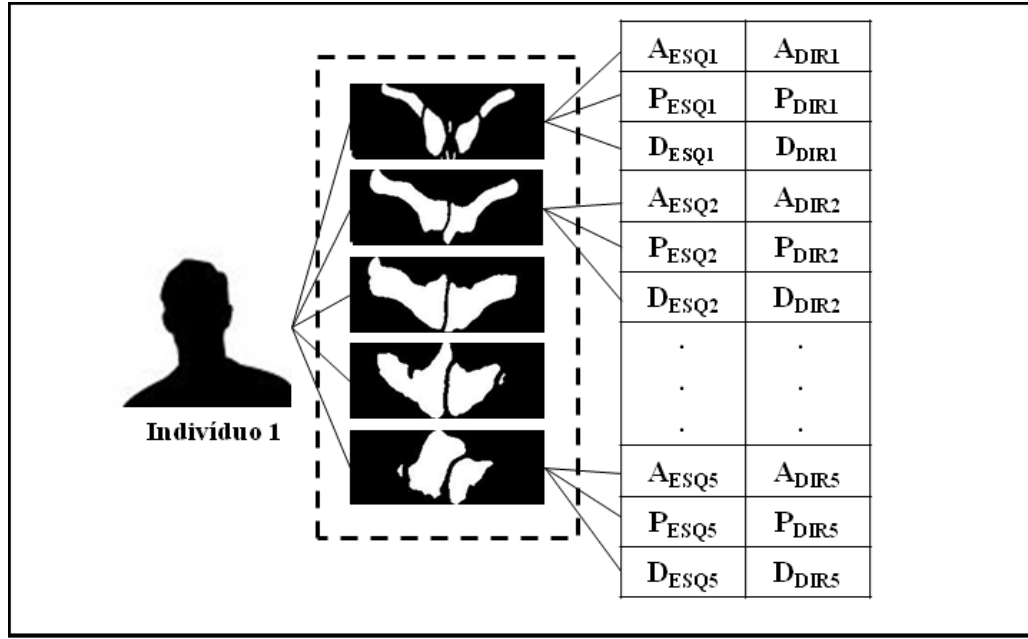
$$E[C^m(i)] = \sum_K C_K^m P_K(C_K(i)), m = 1, 2, 3, \dots \quad (4.11)$$

O m -ésimo momento da variável aleatória $C_K(i)$ de um ponto p_i da curva (borda) B é definido por:

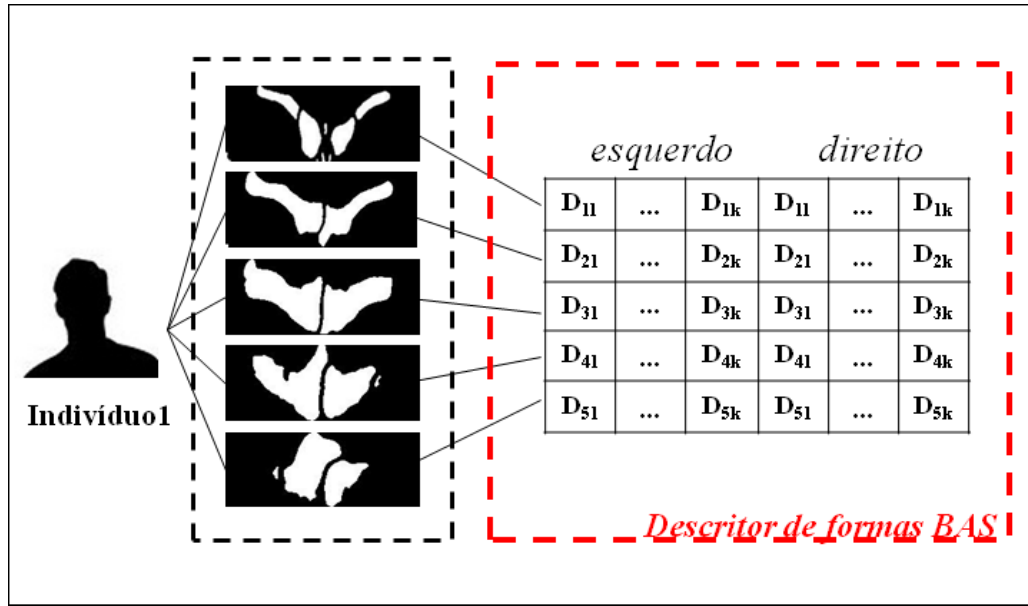
$$V(p_i) = [E[C^1(i)], E[C^2(i)] \dots] \quad (4.12)$$

Observando-se os valores de momentos associados a cada ponto da borda a partir do percurso desta de um ponto inicial e em um dado sentido, obtém-se funções unidimensionais para representar a borda bidimensional sob análise (cada momento gera uma “função”)(SOUZA; MARANA, 2013). Na prática, para representar uma forma, geralmente são necessários apenas os três ou dois primeiros momentos (ARICA; VURAL, 2003).

No método proposto neste trabalho, o descritor de formas é composto por k características (sendo k a dimensão de descritor BAS) de cada uma das 5 imagens segmentadas, obtidas do exame de tomografia computadorizada, totalizando $5 \times k$ características, conforme ilustra a Figura 4.27b.



(a)



(b)

Figura 4.27: (a) Esquema de extração de características na abordagem de região, gerando vetores de características compostos por medidas referentes a área, perímetro e máxima distância e; (b) Esquema de extração de características na abordagem de descrição de formas. D refere-se ao descritor de formas adquirido pelo método *BAS*. Todos os descritores de características apresentam valores entre 0 e 1, considerando a normalização realizada.

4.4 Casamento (*Matching*)

A comparação das características biométricas extraídas dos seios paranasais é realizada nesta dissertação por meio da distância euclidiana entre os vetores de características de região ou entre

os vetores de características de forma. O valor da distância calculado define, então, a pontuação do casamento, conforme a Equação 4.10. Pode-se perceber que quanto mais semelhantes as características, menor será a pontuação.

$$pontuação = \sqrt{\sum_{i=1}^{2n} (feat_i^1 - feat_i^2)^2} \quad (4.13)$$

onde n = tamanho dos vetores de características comparados; e $feat$ = vetor de característica.

4.5 Fusão dos Métodos Baseados em Seios Frontais e Maxilares

Com o intuito de tornar o reconhecimento dos indivíduos mais preciso e robusto, foi investigada nesta dissertação a possibilidade de fusão dos métodos baseados em seios frontais e em seios maxilares.

Em sistemas biométricos existem cinco níveis nos quais as fusões podem ser realizadas, sendo dois antes da etapa de casamento (nível do sensor e nível de características), e três após a etapa de casamento (nível de pontuação, nível de classificação e nível de decisão) (JAIN *et al.*, 2004). Neste trabalho foram avaliadas as fusões nos níveis de características e de pontuação, uma vez que esta é realizada após a etapa de casamento, e aquela é realizada após a etapa de casamento. Deste modo, foram avaliadas fusões antes e depois o casamento dos descritores.

O primeiro nível de fusão avaliado foi o de características, em que, após a o cálculo dos descritores (área, perímetro, e máxima distância) para cada uma das imagens dos seios frontais e maxilares, aplicou-se a fusão pela soma ponderada, gerando novos descritores que seriam submetidos à etapa de casamento do método. A Figura 4.28 ilustra o processo de fusão no nível de características proposto no método.

O segundo nível de fusão avaliado foi o de pontuação. Após a etapa de casamento, houve a fusão pela soma ponderada das pontuações obtidas nas comparações dos seios frontais com as pontuações obtidas nas comparações dos seios maxilares, resultando em uma pontuação única. Nesta dissertação, ainda, foi investigada a fusão das pontuações obtidas utilizando-se apenas as melhores características para composição do descritor de características. A Figura 4.29 ilustra o processo de fusão no nível de pontuação.

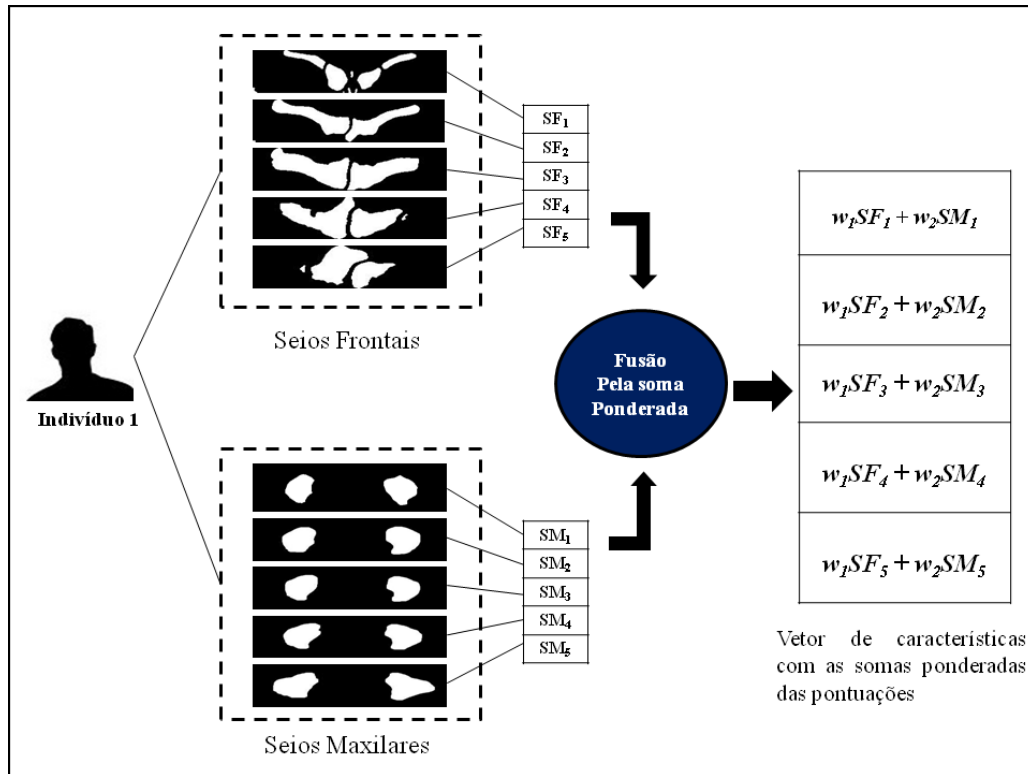


Figura 4.28: Diagrama da fusão no nível de características. SF e SM representam os vetores de características dos seios frontais e seios maxilares, respectivamente.

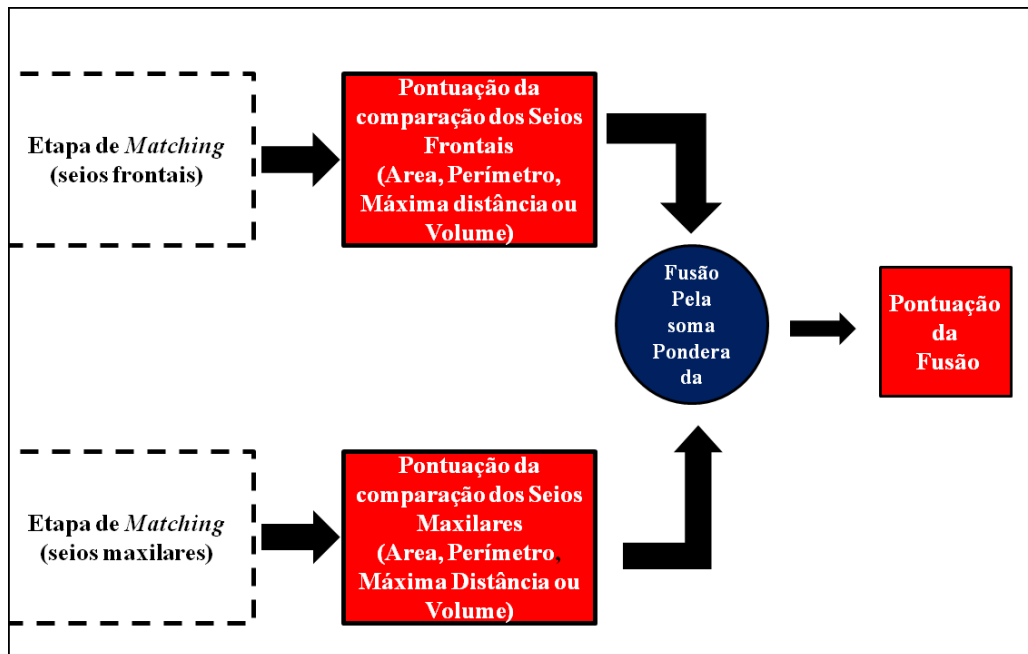


Figura 4.29: Diagrama da fusão no nível de pontuação.

Capítulo 5

Resultados Experimentais

Este capítulo apresenta os resultados obtidos pelo método proposto para identificação de indivíduos utilizando características biométricas dos seios frontais e dos seios maxilares obtidas de imagens de tomografia computadorizada. São descritos a base de dados e o protocolo de avaliação utilizados nos experimentos, bem como o processo de obtenção manual do conjunto verdade (*ground truth*) utilizado para validação e comparação do método automático proposto nesta dissertação.

5.1 Base de Dados de Imagens de Tomografia Computadorizada

Para a avaliação do método proposto, foi utilizada uma base de dados de imagens de tomografia computadorizada da região do crânio obtida junto ao Hospital Estadual de Bauru. Esta base de dados conta atualmente com imagens obtidas de 62 exames de tomografia, de 31 indivíduos com pelo menos 20 anos de idade (restrição necessária para se garantir que a formação dos seios frontais esteja completa), sendo que para cada indivíduo existem dois exames de tomografia computadorizada do crânio, com cortes verticais no plano frontal, conforme ilustram as Figuras 5.1 e 5.2. Para cada exame, existem 5 imagens referentes aos seios frontais e 5 imagens referentes aos seios maxilares. Tem-se, portanto, um total de 620 imagens para a composição da base de dados do projeto.

A Figura 5.1 mostra três sequências de cinco imagens dos seios frontais que compõem a base de dados utilizada nos experimentos, obtidas de exames de tomografia computadorizada de três indivíduos distintos. A Figura 5.2 ilustra um caso análogo para os seios maxilares.



Figura 5.1: Amostras de imagens de tomografia computadorizada da base de dados utilizada nos experimentos para os seios frontais. As imagens de cada coluna correspondem à sequência de imagens obtidas do exame de tomografia de um determinado indivíduo.

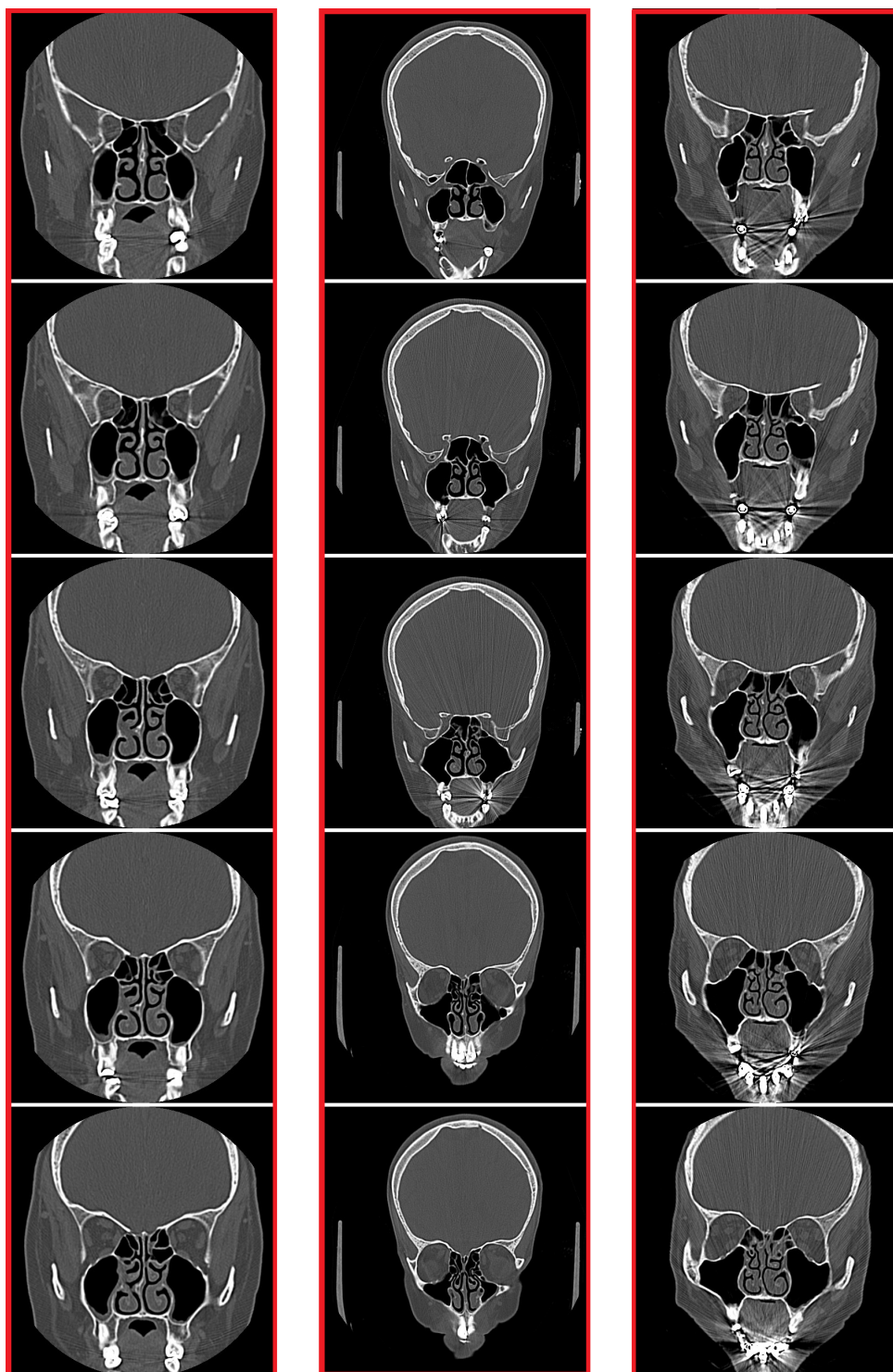


Figura 5.2: Amostras de imagens de tomografia computadorizada da base de dados utilizada nos experimentos dos seios maxilares. As imagens de cada coluna correspondem à sequência de imagens obtidas do exame de tomografia de um determinado indivíduo.

5.2 Conjunto Verdade (*Ground Truth*) e Medidas de Avaliação do Método

Com o intuito de avaliar o desempenho dos métodos de segmentação automática dos seios frontais e maxilares propostos nesta dissertação, foi gerado um conjunto verdade (*ground truth*) contendo as imagens do banco de dados utilizado nos experimentos segmentadas manualmente.

Para realizar a segmentação manual foi utilizado o *ImageJ*¹, um software rico em ferramentas para a manipulação e processamento de imagens digitais. O processo de segmentação manual consistiu em percorrer com o mouse as bordas das cavidades ósseas (frontais e maxilares) presentes nas imagens de tomografia computadorizada e registrá-las em imagens que foram armazenadas no conjunto verdade. Este processo de segmentação manual das imagens da base de dados foi supervisionado pela Profa. Dra. Silke Anna Theresa Weber, professora e doutora do Departamento de Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço, da Faculdade de Medicina da UNESP, Campus de Botucatu. A Figura 5.3 apresenta algumas imagens do conjunto verdade utilizado nos experimentos.

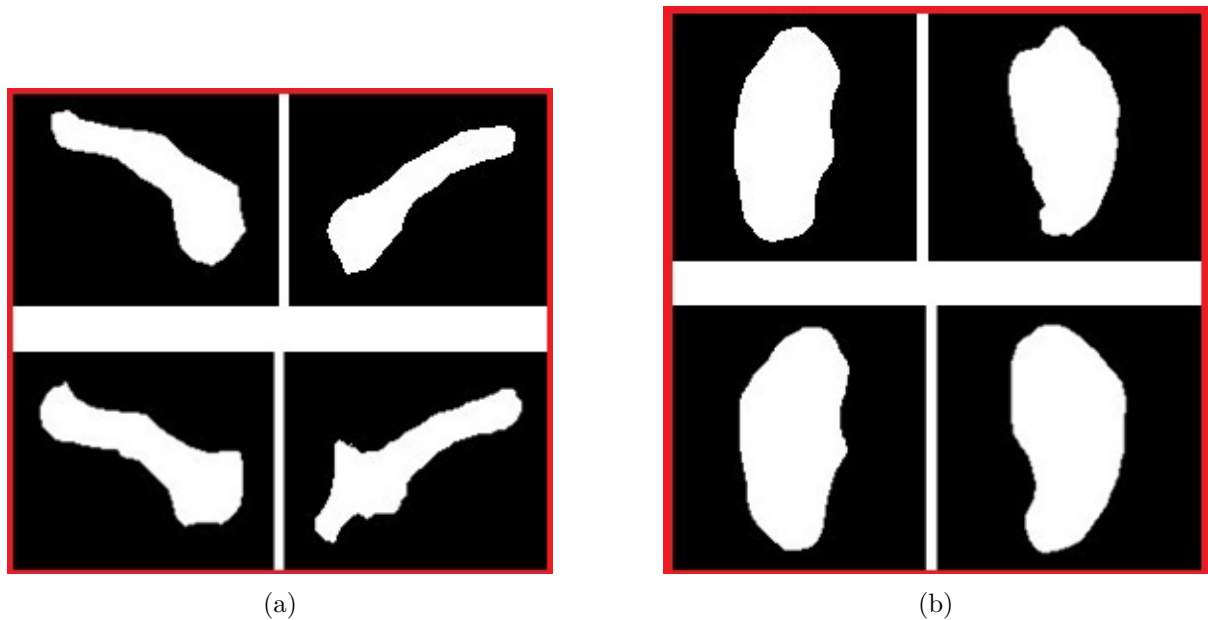


Figura 5.3: (a) Exemplos de imagens do conjunto verdade dos seios frontais e (b) Exemplos de imagens do conjunto verdade dos seios maxilares.

5.3 Medidas de Avaliação do Método

A avaliação de um sistema biométrico envolve duas medidas importantes: i) taxa de falsa aceitação (*False Acceptance Rate* - *FAR*), referente a probabilidade de indivíduos impostores serem aceitos como genuínos e; ii) taxa de falsa rejeição (*False Rejection Rate* - *FRR*), referente a probabilidade de indivíduos genuínos serem considerados impostores.

A taxa FAR é obtida pela comparação de cada *template* de um indivíduo com todos os *templates* dos demais indivíduos (comparações impostoras). A taxa FRR é obtida pela comparação de cada *template* de um indivíduo com todos os demais *templates* do mesmo indivíduo (comparações genuínas).

¹<https://imagej.nih.gov/ij/>

As taxas FAR e FRR podem ser visualizadas por meio dos gráficos de distribuição das pontuações das comparações (ou casamentos) genuínas e impostoras, conforme ilustra Figura 5.4.

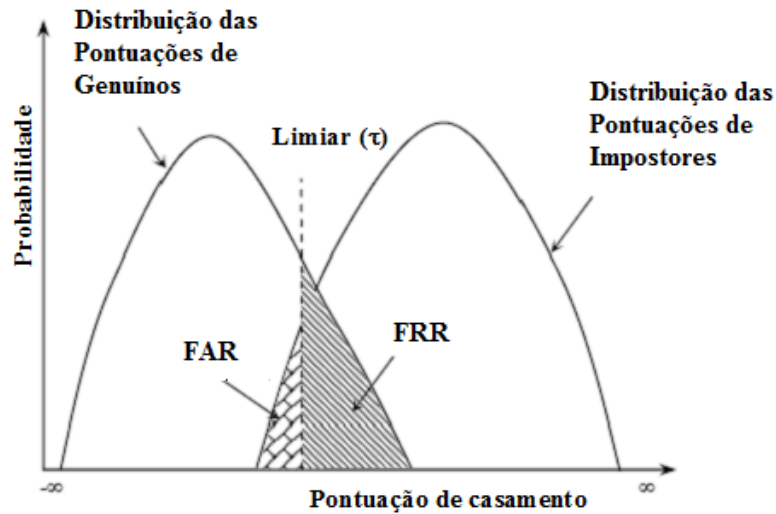


Figura 5.4: Curvas das distribuições das pontuações (*scores*) das comparações genuínas e impostoras. (JAIN *et al.*, 2004).

Baseando-se nas curvas das distribuições genuínas e impostoras, pode-se mover o valor do limiar para a esquerda para reduzir o valor da FAR, tornando o sistema mais seguro contra impostores, porém aumentando a taxa FRR, tornando o sistema menos flexível a variações intraclasse. No caso de o limiar ser movido para a direita, o sistema torna-se menos seguro contra impostores, mas permite maior variabilidade entre os *templates* do mesmo indivíduo (rejeitando menos os indivíduos genuínos).

Existe, no entanto, uma medida única para caracterização do nível de segurança de um sistema biométrico, denominada *Equal Error Rate (EER)*. Esta taxa define um valor de limiar (τ) para o qual os valores de FAR e FRR sejam iguais: $FAR(\tau) = FRR(\tau)$ (KUNCHEVA; WHINTAKER, 2007). A Figura 5.5 apresenta, a definição do ponto correspondente ao EER, onde os valores de FAR e FRR são iguais.

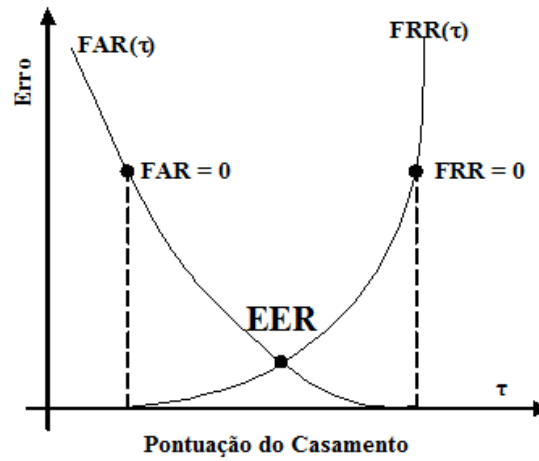


Figura 5.5: Representação geométrica da taxa EER (MALTONI *et al.*, 2003).

Os requisitos de desempenho de um sistema biométrico variam de acordo com a aplicação. Para aplicações forenses, como é o caso deste trabalho, preconiza-se a flexibilidade para o valor FAR, pois o mais importante é ter baixos valores de FRR. Isto se deve ao fato de não ser conveniente descartar nenhum possível caso genuíno, mesmo que seja necessário examinar manualmente um grande número de potenciais *matchings* genuínos (MALTONI *et al.*, 2003). Com as taxas FAR e FRR, é possível, construir as curvas *Receiver Operating Characteristics (ROC)*, para avaliação conjunta das comparações genuínas e impostoras. A Figura 5.6 ilustra a curva ROC.

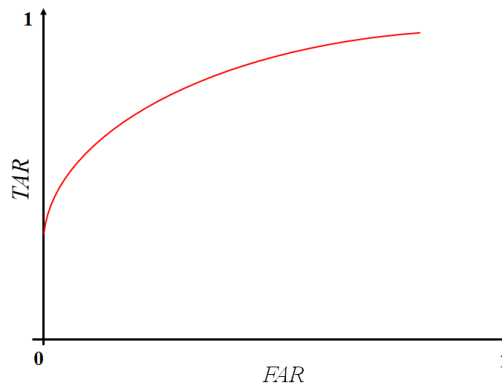


Figura 5.6: Representação da curva ROC.

5.4 Protocolos de Comparações

Considerando que todos os indivíduos da base possuem o mesmo número de imagens e correspondência entre estas imagens, os protocolos de comparações genuínas e impostoras estão descritos a seguir:

- Comparações Genuínas: Descritores de características de mesmos indivíduos (mesma classe),

e exames diferentes são comparados. A Figura 5.7 ilustra o protocolo definido para as comparações genuínas.

- Comparações Impostoras: Descritores de características distintos (classes diferentes), são comparados para toda a base de dados. A Figura 5.8 ilustra o protocolo definido para as comparações impostoras.

Definidos os protocolos e realizadas as comparações, as pontuações genuínas e impostoras foram obtidas, sendo possível realizar a avaliação do método proposto com a geração de curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores e a curva ROC para a avaliação do método no modo de verificação através do valor de EER.

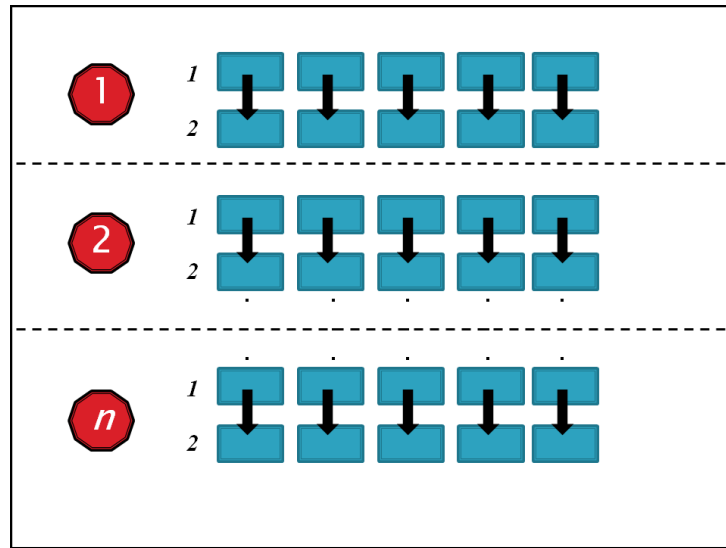


Figura 5.7: Protocolo de comparação dos descritores de características para a geração das pontuações genuínas.

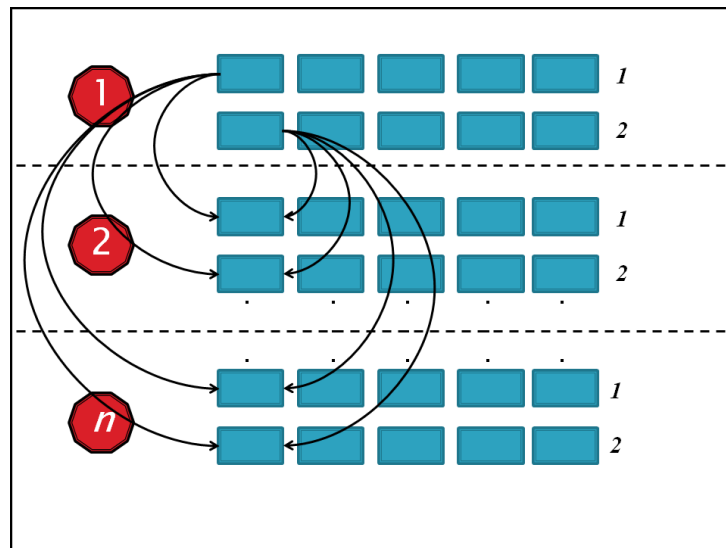


Figura 5.8: Protocolo de comparação dos descritores de características para a geração das pontuações impostoras.

5.5 Segmentação Automática Versus Segmentação Manual

Para uma avaliação consistente do método de reconhecimento dos seios frontais e maxilares, e do método de segmentação automática destas estruturas, os experimentos foram realizados também com a base de dados segmentada manualmente (*Ground Truth*), para que a comparação dos resultados automático e manual pudessem ser realizados.

A segmentação automática, assim como as demais etapas referentes ao método proposto, foram implementadas utilizando o software MatLab 2011b. As construções de curvas para avaliação do método também foram realizadas utilizando este software. As segmentação automática foi avaliada pela medida Cohens Kappa (MENZE *et al.*, 2012), e pelos valores de EER obtidos para as abordagens automática e manual de segmentação.

5.5.1 Coeficiente Kappa

Com o objetivo de avaliar os resultados obtidos para a segmentação automática proposta nesta dissertação, o Coeficiente Kappa (MENZE *et al.*, 2012) foi utilizado como uma medida de comparação com a segmentação manual.

O Coeficiente Kappa é dado por:

$$KAP = \frac{f_a - f_c}{N - f_c} \quad (5.1)$$

onde N é o número total de observações, f_a e f_c são definidos como:

$$f_a = TP + TN \quad (5.2)$$

$$f_c = \frac{(TN + FN)(TN + FP) + (FP + TP)(FN + TP)}{N} \quad (5.3)$$

Os termos das equações 5.2 e 5.3 são expressados por: *True Positive (TP)*, *True Negative (TN)*, *False Positive (FP)* e *False Negative (FN)*, definidos como:

$$TP = \sum_{r=1}^{|X|} \min(f_t^1(x_r), f_g^1(x_r)) \quad (5.4)$$

$$FP = \sum_{r=1}^{|X|} \max(f_t^1(x_r) - f_g^1(x_r), 0) \quad (5.5)$$

$$TN = \sum_{r=1}^{|X|} \min(f_t^2(x_r), f_g^2(x_r)) \quad (5.6)$$

$$FN = \sum_{r=1}^{|X|} \max(f_t^2(x_r) - f_g^2(x_r), 0) \quad (5.7)$$

onde f_t^1 representa os valores do primeiro plano (pontos de interesse) do resultado da segmentação automática, f_t^2 representa os valores do segundo plano (fundo) do resultado da segmentação automática, f_g^1 representa os valores do primeiro plano (pontos de interesse) do resultado da segmentação manual, e f_g^2 representa os valores do segundo plano (fundo) do resultado da segmentação manual.

5.6 Avaliação da Viabilidade da Fusão

O grau de dependência entre os métodos utilizados na fusão pode evidenciar a viabilidade do emprego da estratégia de fusão proposta.

Nesta dissertação a medida utilizada para calcular o grau de independência entre os métodos baseados em seios frontais e maxilares foi o *Q-Statistic* (KUNCHEVA; WHINTAKER, 2003).

A medida *Q-Statistic* apresenta resultados entre $[-1,1]$, e é definida como:

$$Q_{i,j} = \frac{N^{11}N^{00} - N^{01}N^{10}}{N^{11}N^{00} + N^{01}N^{10}} \quad (5.8)$$

onde:

- i representa o primeiro método e j representa o segundo método;
- N^{11} representa a número de vezes em que o primeiro e o segundo métodos acertam;
- N^{00} representa o número de vezes em que o primeiro e o segundo métodos erram;
- N^{10} representa o número de vezes em que o primeiro método acerta e o segundo método erra;
- N^{01} representa o número de vezes em que o primeiro método erra e o segundo método acerta.

Segundo a Equação 5.8, se o valor da medida *Q-Statistics* for 0, então os métodos combinados são independentes, se o valor for 1, então os métodos são positivamente dependentes, e se o valor for -1, então os métodos são negativamente dependentes.

5.7 Avaliação da Acurácia do Método Proposto para Identificação Forense de Indivíduos Baseada em Seios Frontais

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo método proposto para a identificação de pessoas utilizando características dos seios frontais. Na etapa de segmentação, os resultados listados referem-se às duas abordagens de segmentação: automática e manual. Na etapa de extração de características são apresentados os resultados referentes a utilização dos descritores de região e descritor de formas, para ambas abordagens de segmentação.

5.7.1 Avaliação da Acurácia da Segmentação Automática dos Seios Frontais

O método de segmentação automática dos seios frontais proposto nesta dissertação obteve uma taxa média de segmentação correta das 310 imagens de seios frontais igual a 88,52%, com desvio padrão de 0,05465, segundo a métrica *Cohens Kappa* (MENZE *et al.*, 2012). A Figura 5.9 ilustra o resultado da aplicação da métrica *Cohens Kappa* (MENZE *et al.*, 2012) para avaliação de cada caso dos seios frontais segmentado na base de dados, utilizando como parâmetros de comparação: imagens segmentadas automaticamente e suas imagens correspondentes segmentadas manualmente.

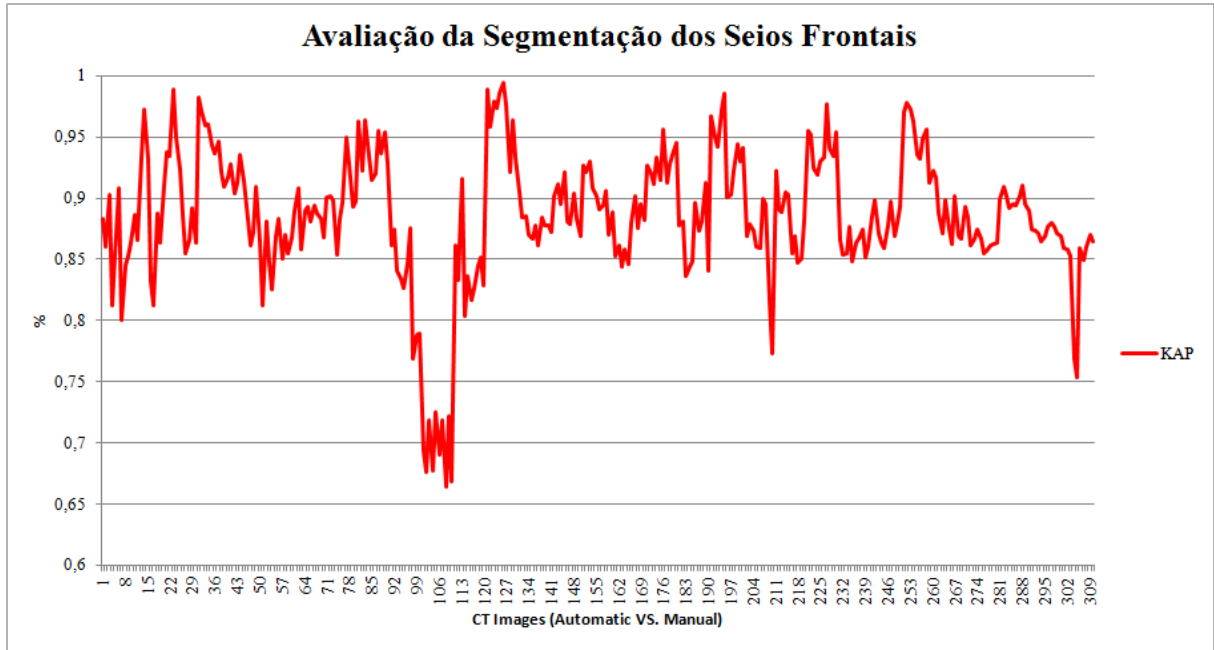


Figura 5.9: Métrica *Cohens Kappa* (MENZE *et al.*, 2012) utilizada para a comparação entre as segmentações automática e manual de cada imagem de TC dos seios frontais.

A Figura 5.10 ilustra um caso onde a segmentação automática não pode ser realizada corretamente. Como pode ser observado, os dois hemisférios dos seios frontais apresentam obstrução, e por isso, o método proposto não conseguiu definir corretamente as regiões de interesse. Este exemplo de impossibilidade de segmentação dos seios frontais ocorre porque para a definição das regiões de interesse, é necessária a existência de pelo menos um dos hemisférios sem obstrução.



Figura 5.10: Caso em que o método proposto falha ao tentar segmentar os seios frontais. Isto ocorre por causa de obstruções existentes na cavidade dos seios frontais.

5.7.2 Descritores de Região para os Seios Frontais

Visando avaliar a acurácia dos descritores de região dos seios frontais, propostos nesta dissertação, utilizando-se o método de segmentação automática dos seios frontais, também proposto nesta dissertação, foram calculadas as distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores. A partir dessas distribuições, foram geradas as taxas FAR e FRR para todos os valores de pontuações e, finalmente, foi gerada a curva ROC e calculado o valor de EER (taxa de erro igual).

O valor de EER obtido foi **11,30%** utilizando os descritores compostos pelas medidas de área, perímetro e máxima distância. As distribuições das pontuações de genuínos e impostores estão apresentadas na Figura 5.11. A curva ROC obtida neste experimento está ilustrada na Figura 5.15. Utilizando-se imagens dos seios frontais segmentadas manualmente, obteve-se um valor de EER igual a **9,04%**, com os descritores de características completos. As distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores estão apresentadas na Figura 5.12. A curva ROC obtida neste experimento também está ilustrada na Figura 5.15.

Visando uma identificação mais precisa dos seios frontais, realizou-se uma análise de desempenho individual de cada uma das três características de região e também de todas as suas possíveis combinações. A Tabela 5.1 mostra os valores de EER obtidos para os sete casos.

Como pode-se observar o melhor resultado foi obtido para a combinação das características perímetro e máxima distância, e as Figuras 5.13 e 5.14 ilustram as distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores dos melhores resultados obtidos, respectivamente para as segmentações automática e manual. Estes resultados foram obtidos utilizando o perímetro e a máxima distância na composição dos descritores de características. As curvas ROC obtidas nestes experimentos estão apresentadas na Figura 5.15.

Tabela 5.1: EERs com Descritores de Características obtidos pela abordagem de região dos seios frontais.

Características	Área	Perímetro	Máx. Dist.	Área +Perímetro	Área +Max.Dist.	Perímetro +Max.Dist	Área +Perímetro +Máx.Dist.
EER (Auto.) (%)	35,6	36,0	22,2	20,6	29,4	10,9	11,3
EER (Manual) (%)	31,1	33,6	21,2	17,3	25,9	7,43	9,4

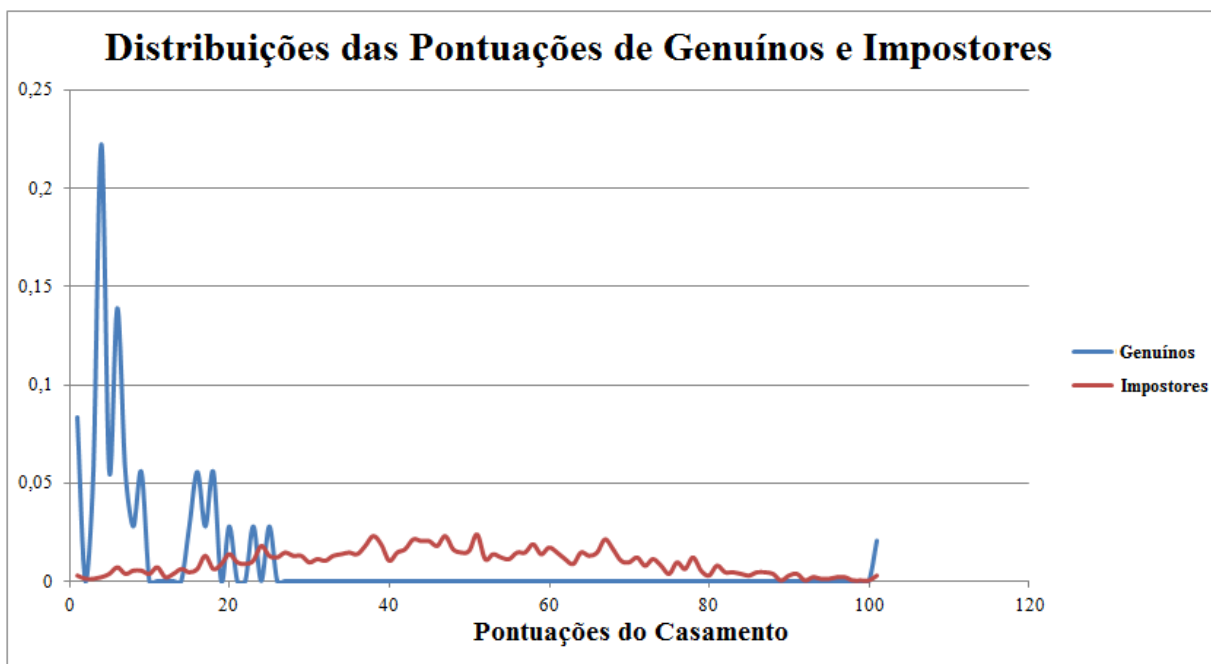


Figura 5.11: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação automática dos seios frontais.

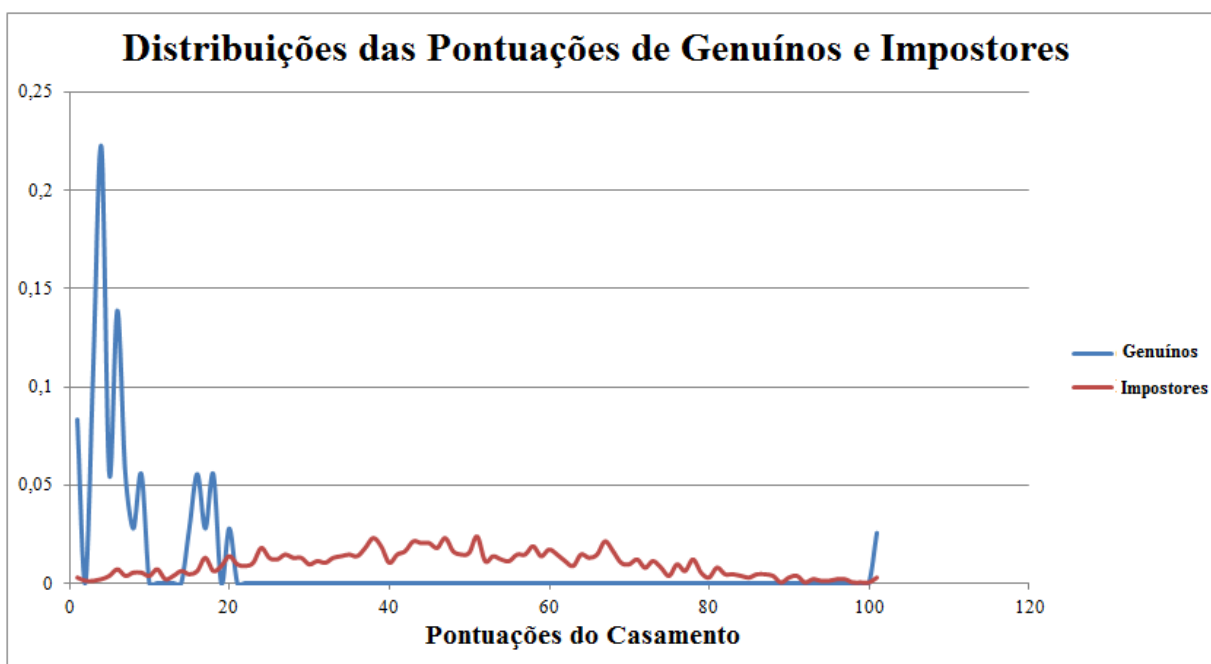


Figura 5.12: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação manual dos seios frontais.

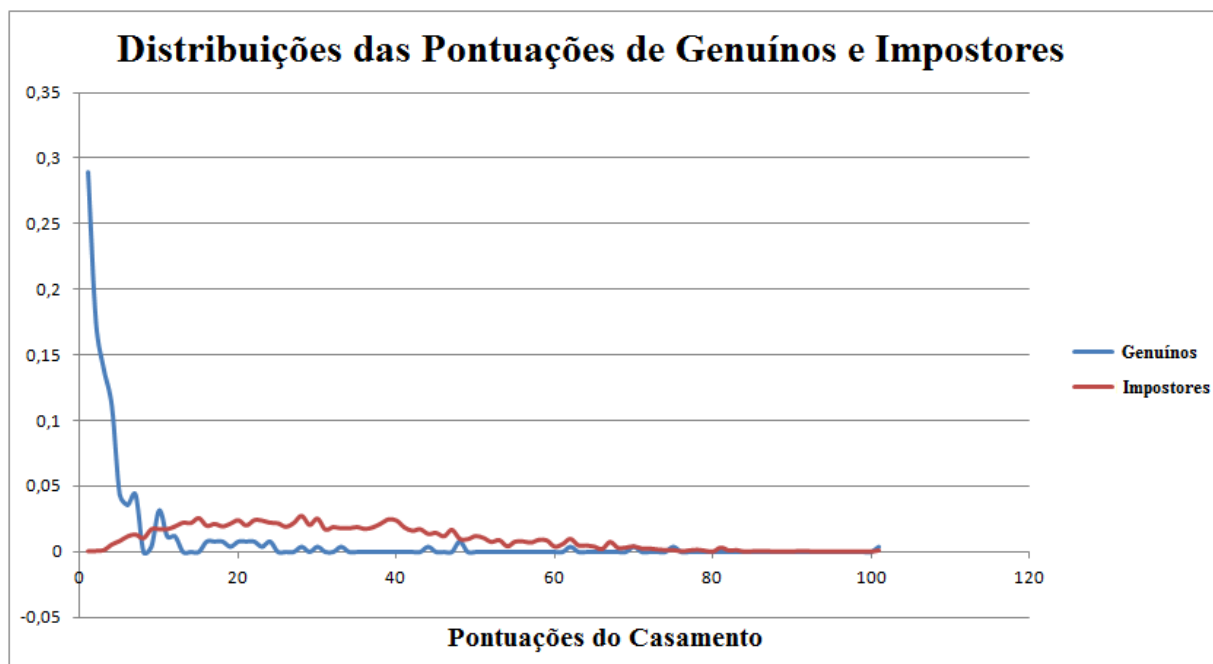


Figura 5.13: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios frontais com segmentação automática.

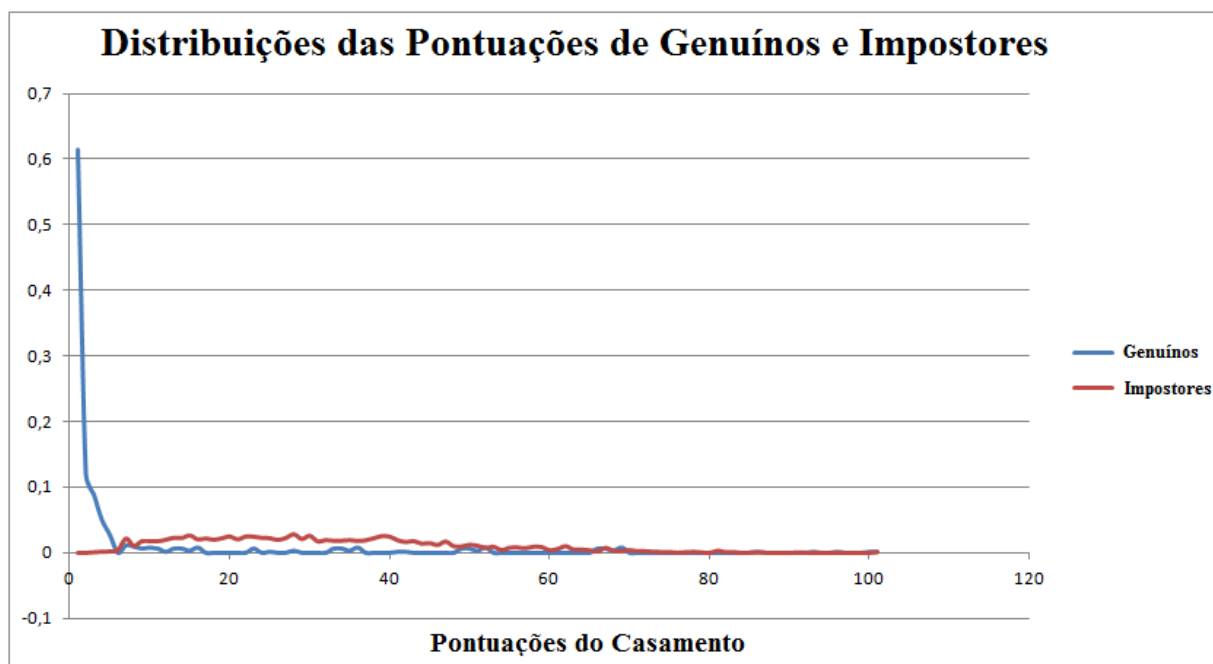


Figura 5.14: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios frontais com segmentação manual.

A Figura 5.15 apresenta as curvas ROC obtidas sobre as imagens segmentadas manual e automaticamente, referentes à melhor combinação de características de região (perímetro e

máxima distância), e a combinação das três medidas de região para composição dos descritores de características.

Pode-se observar nas curvas ROC que os descritores de região obtiveram bons resultados no reconhecimento dos seios frontais. Também é possível observar que as curvas ficaram próximas, corroborando o que já havia sido mostrado na seção 5.6.1 que as segmentações automáticas dos seios frontais geradas pelo método proposto nesta dissertação foram bem sucedidas.

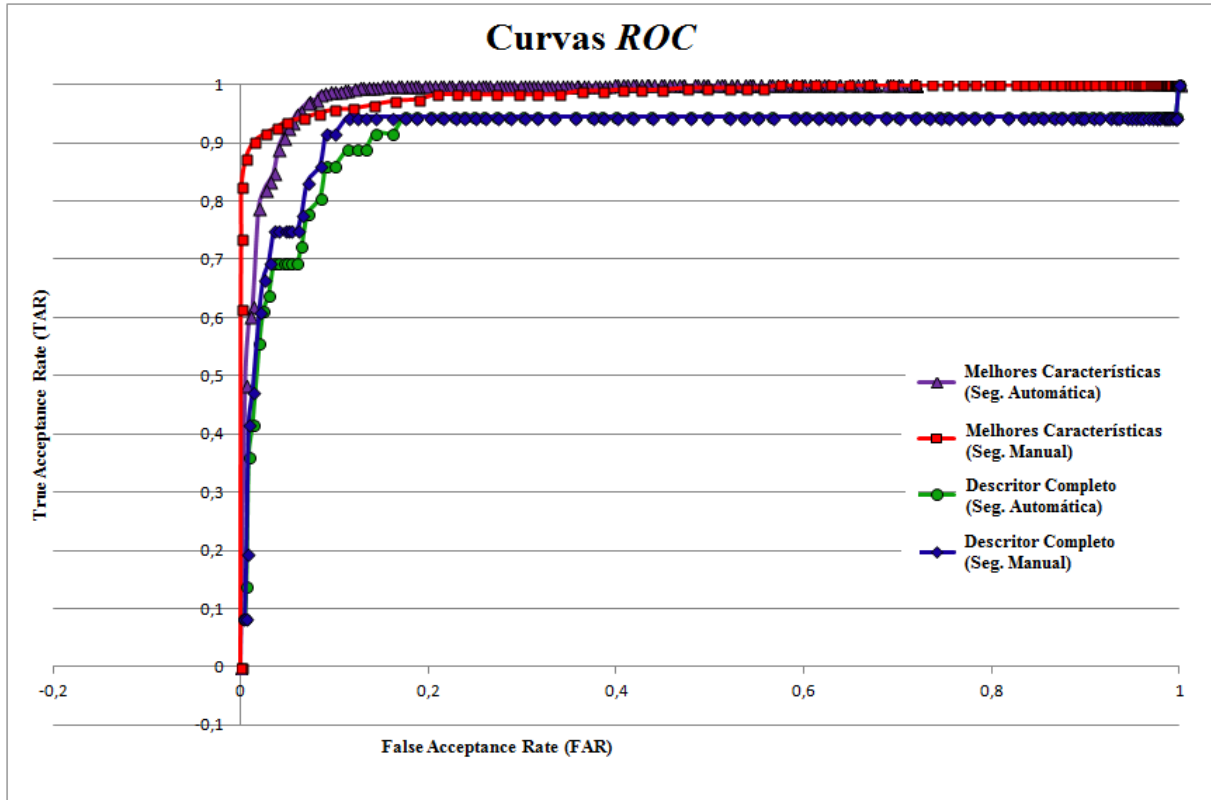


Figura 5.15: Curvas ROC de todos os 4 casos ilustrados para descritores de região: descritores de região completos para segmentações automática e manual e descritores compostos per perímetro e máxima distância, para segmentações automática e manual dos seios frontais.

5.7.3 Descritor de Formas (BAS) para os Seios Frontais

A utilização da análise de formas pelo descritor BAS proporcionou uma nova avaliação para a utilização de características dos seios frontais no reconhecimento biométrico de pessoas. Para a geração das curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores e curvas ROC, a abordagem com extração de características por descritores de forma foi também utilizada para a base segmentada automaticamente e a base segmentada manualmente. Para isto, após a segmentação dos seios frontais, os resultados foram submetidos ao método BAS, que processou o contorno dos hemisférios e gerou valores de pontuações de acordo com os protocolos definidos para as comparações genuínas e impostoras. Os resultados foram normalizados e as curvas de distribuições de pontuações dos casamentos genuínos e impostores, cálculo do valor de EER e geração de curvas ROC foram realizados para esta abordagem de extração de características.

A Figura 5.16 ilustra as curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando as características geradas pelo descritor BAS sobre as imagens segmen-

tadas automaticamente. Já a figura 5.17 ilustra as distribuições das pontuações de genuínos e impostores utilizando características geradas pelo método BAS, sobre as imagens segmentadas manualmente.

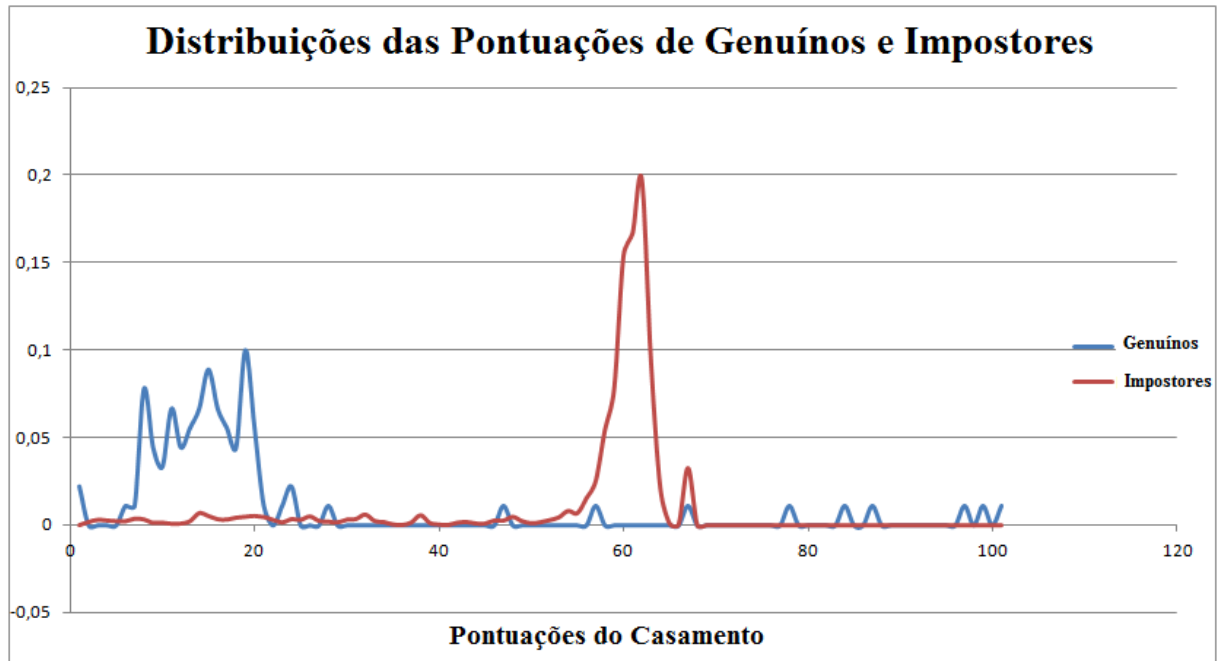


Figura 5.16: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de forma BAS como característica biométrica e segmentação automática dos seios frontais.

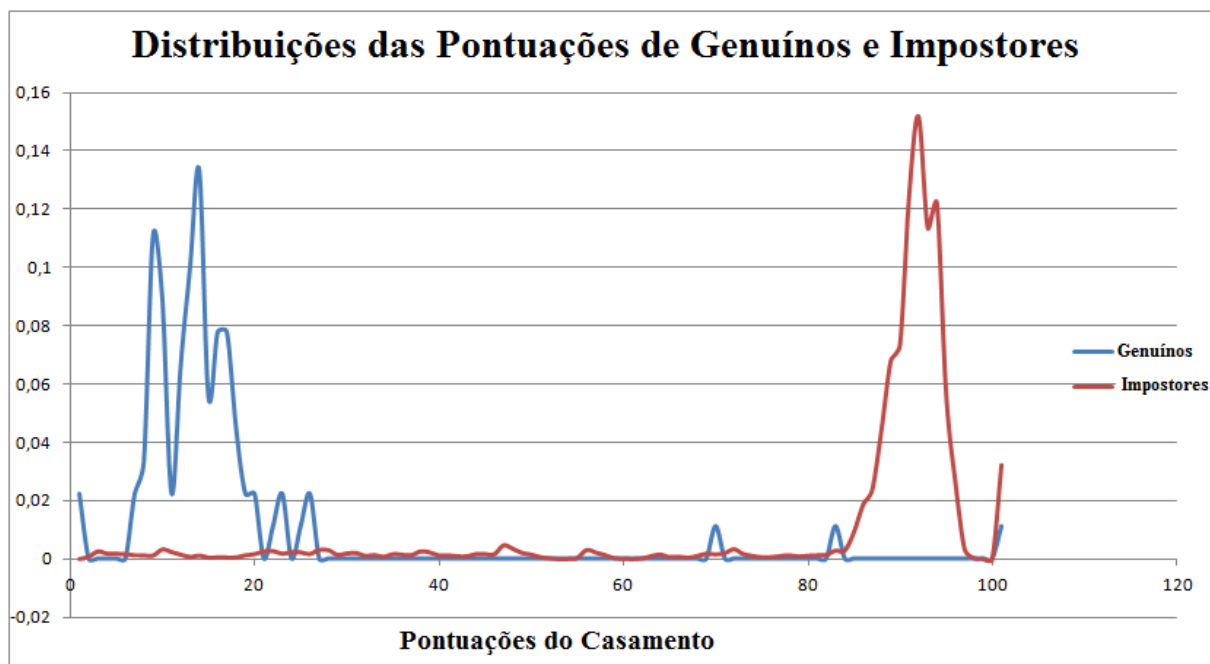


Figura 5.17: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de formas BAS como característica biométrica e segmentação manual dos seios frontais.

Para a segmentação automática dos seios frontais, o valor de EER obtido com a utilização dos descritores de BAS foi de **8,99%**. Para as imagens segmentadas manualmente, o valor de EER obtido foi de **4,04%**. As curvas ROC referentes às segmentações manual e automática dos seios frontais estão ilustradas na Figura 5.18.

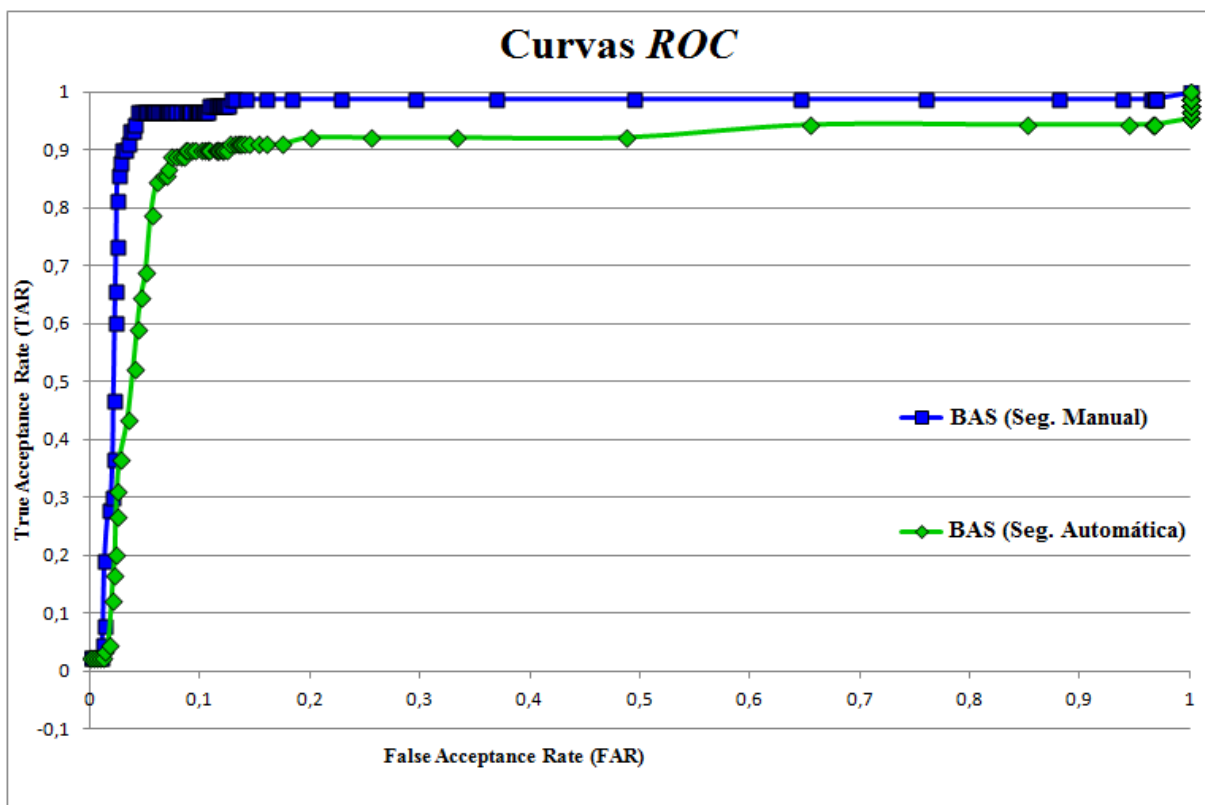


Figura 5.18: Curvas ROC obtidas com o descritor de formas BAS aplicado sobre as imagens segmentadas manualmente (conjunto verdade) e sobre as imagens segmentadas automaticamente pelo método proposto.

5.8 Avaliação da Acurácia do Método Proposto para Identificação Forense de Indivíduos Baseada em Seios Maxilares

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo método proposto para a identificação de pessoas utilizando características dos seios maxilares. Na etapa de segmentação, os resultados listados referem-se às duas abordagens de segmentação: automática e manual. Na etapa de extração de características são apresentados os resultados referentes a utilização dos descritores de região e descritor de formas, para ambas as abordagens de segmentação.

5.8.1 Avaliação da Acurácia da Segmentação Automática dos Seios Maxilares

O método de segmentação automática dos seios maxilares proposto nesta dissertação obteve uma taxa média de segmentação correta das 310 imagens dos seios maxilares igual a 79,30%, com desvio padrão de 0,05970, segundo a métrica Cohens Kappa (MENZE *et al.*, 2012). A Figura 5.19 ilustra o resultado da aplicação da métrica Cohens Kappa (MENZE *et al.*, 2012) para avaliação de cada caso dos seios maxilares segmentado na base de dados, utilizando como parâmetros de comparação: imagens segmentadas automaticamente e suas imagens correspondentes segmentadas manualmente.

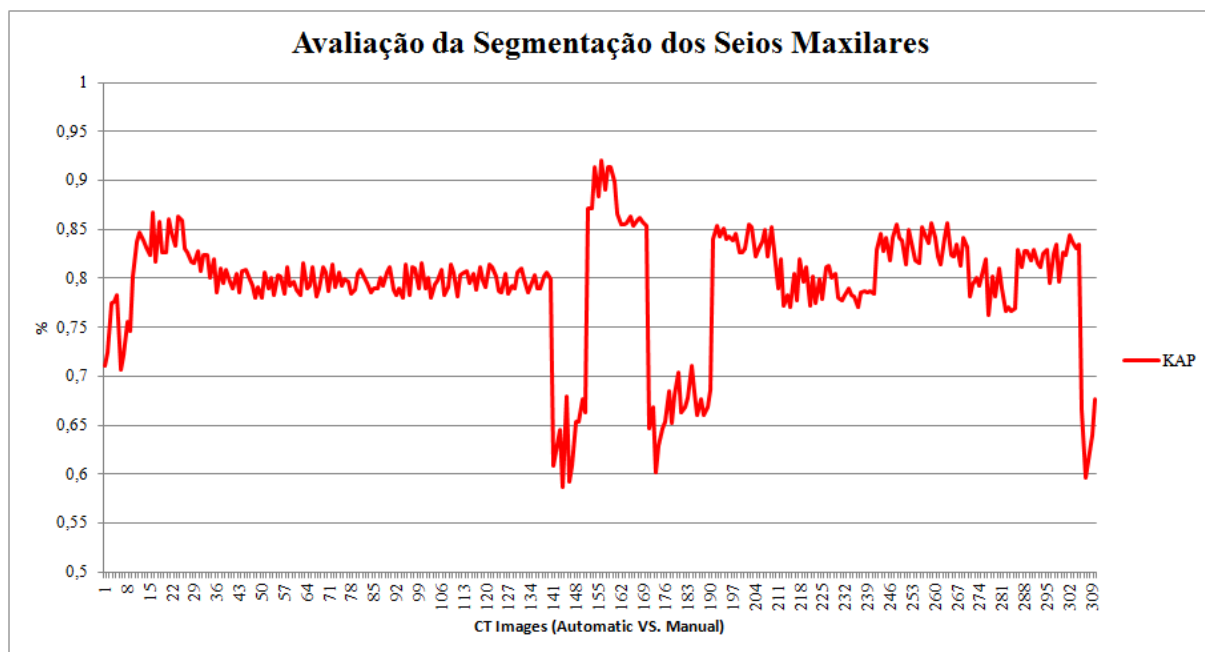


Figura 5.19: Métrica *Cohens Kappa* (MENZE *et al.*, 2012) utilizada para a comparação entre as segmentações automática e manual de cada imagem de TC dos seios maxilares.

A Figura 5.20 ilustra um caso onde a segmentação automática não pode ser realizada corretamente. O método proposto nesta dissertação para segmentação automática de seios maxilares não obtém bons resultados quando a área dos seios maxilares se conecta, na imagem, com outras áreas vizinhas, como pode ser observado na Figura 5.20. As estruturas dos seios maxilares devem estar totalmente envoltas pelo contorno branco para a segmentação ser realizada corretamente.

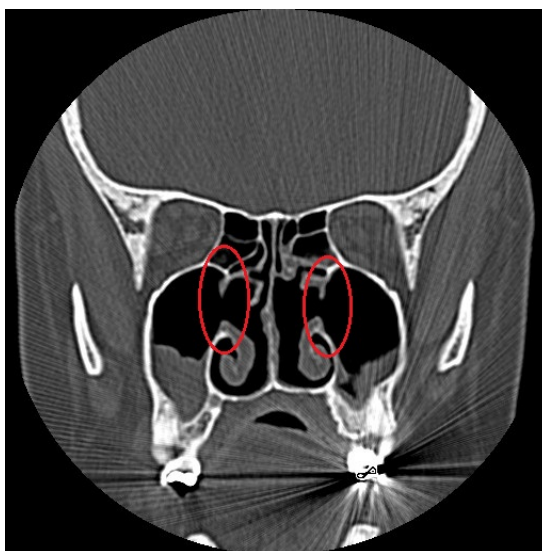


Figura 5.20: Caso em que o método proposto nesta dissertação para a segmentação automática dos seios maxilares falha, pois há conexão entre a área dos seios maxilares com outra regiões da imagem.

5.8.2 Descritores de Região para os Seios Maxilares

Visando avaliar a acurácia dos descritores de região dos seios maxilares, propostos nesta dissertação, utilizando-se o método de segmentação automática dos seios maxilares, também proposto nesta dissertação, foram calculadas as distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores. A partir destas distribuições, foram geradas as taxas FAR e FRR para todos os valores de pontuações e, finalmente, foi gerada a curva ROC e calculado o valor de EER (taxa de erro igual).

O valor de EER obtido foi **36,96%** para os descritores compostos pelas medidas de área, perímetro e máxima distância. As distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores estão apresentadas na Figura 5.21. A curva ROC obtida neste experimento está ilustrada na Figura 5.26. Utilizando-se imagens dos seios maxilares segmentadas manualmente, obteve-se um valor de EER igual a **27,43%**, para os descritores de região completos. As distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores estão apresentadas na Figura 5.22. A curva ROC obtida neste experimento também está ilustrada na Figura 5.26.

Visando uma identificação mais precisa dos seios maxilares, realizou-se uma análise de desempenho individual de cada uma das três características de região e também de todas as suas possíveis combinações. A Tabela 5.2 mostra os valores de EER obtidos para os sete casos.

Como pode-se observar o melhor resultado foi obtido para a combinação das características perímetro e máxima distância, e as Figuras 5.23 e 5.24 ilustram as distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores dos melhores resultados obtidos, respectivamente para as segmentações automática e manual. Estes resultados foram obtidos utilizando o perímetro e a máxima distância na composição dos descritores de características. As curvas ROC obtidas nestes experimentos estão apresentadas na Figura 5.26.

Tabela 5.2: EERs com Descritores de Características obtidos pela abordagem de Região dos seios maxilares.

Características	Área	Perímetro	Máx. Dist.	Área +Perímetro	Área +Max.Dist.	Perímetro +Max.Dist	Área +Perímetro +Máx.Dist.
EER (Auto.) (%)	35,9	40,1	23,7	23,2	31,7	21,00	36,96
EER (Manual) (%)	33,6	38,7	22,9	21,9	28,9	15,40	27,43

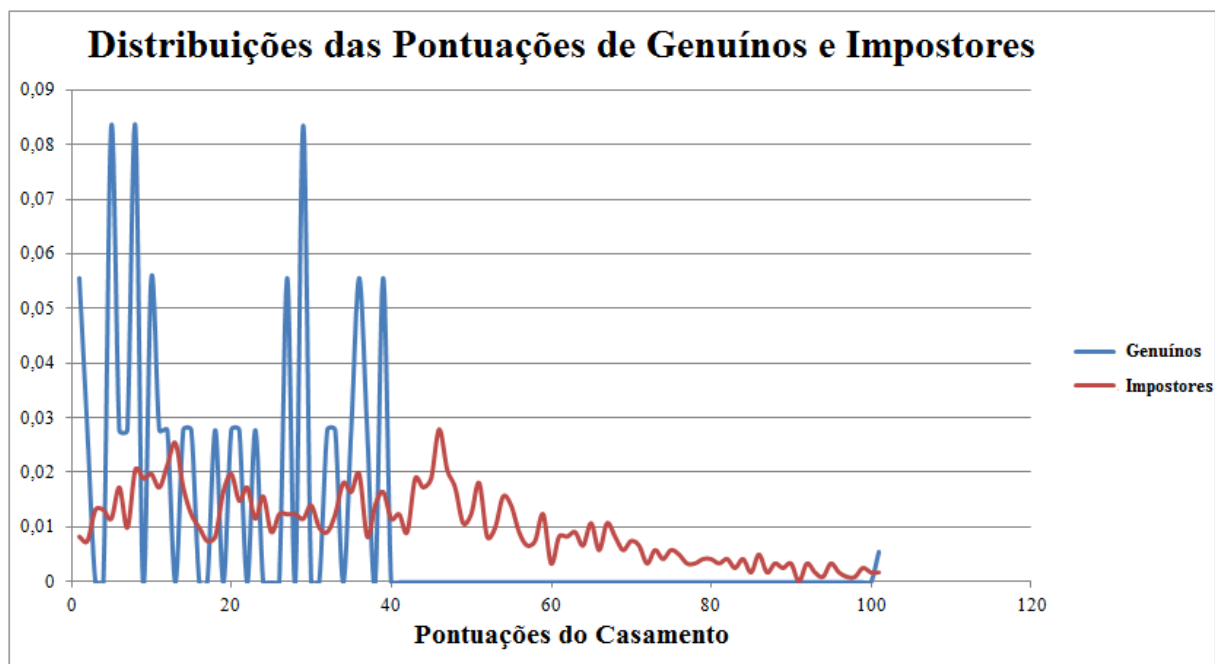


Figura 5.21: Distribuições das pontuações de casamentos genuínos e casamentos impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação automática dos seios maxilares.

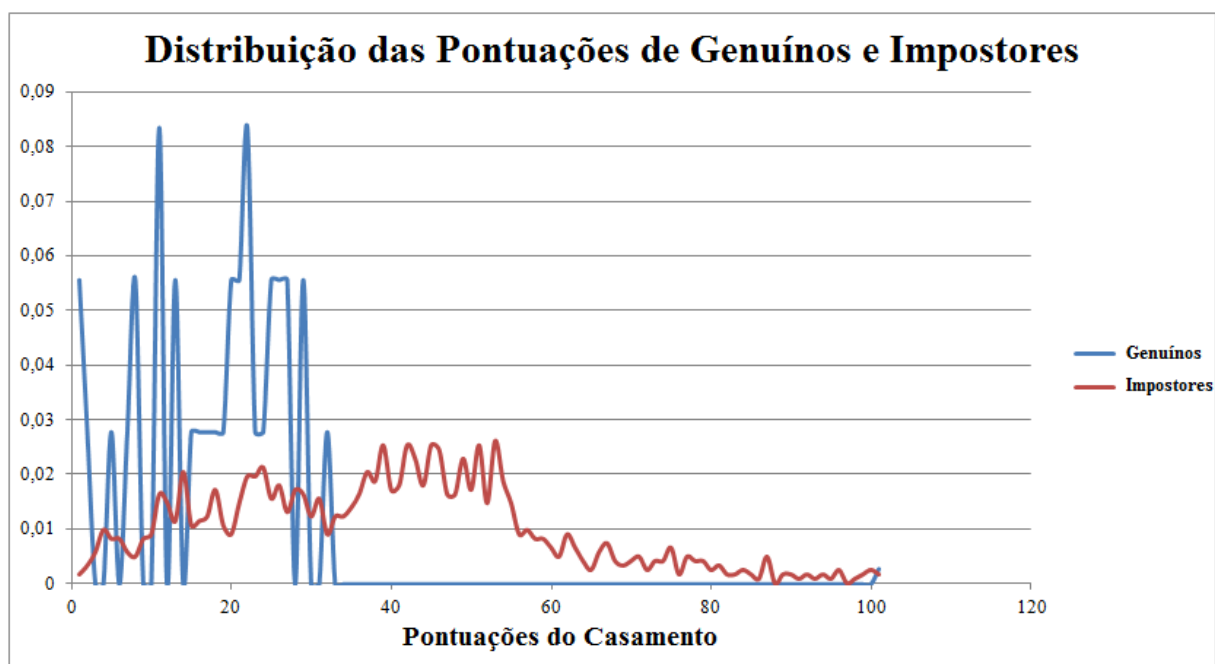


Figura 5.22: Distribuições das pontuações de casamentos genuínos e casamentos impostores utilizando o descritor composto pelas três medidas de região (área, perímetro e máxima distância) como característica biométrica e segmentação manual dos seios maxilares.

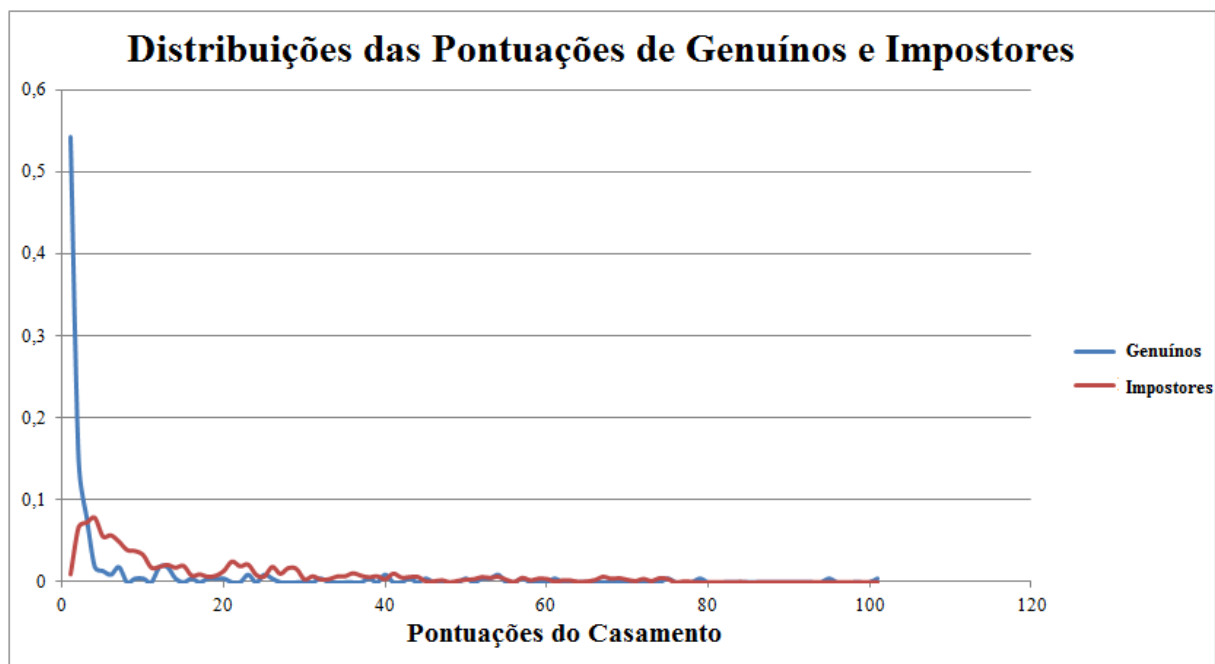


Figura 5.23: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios maxilares com segmentação automática.

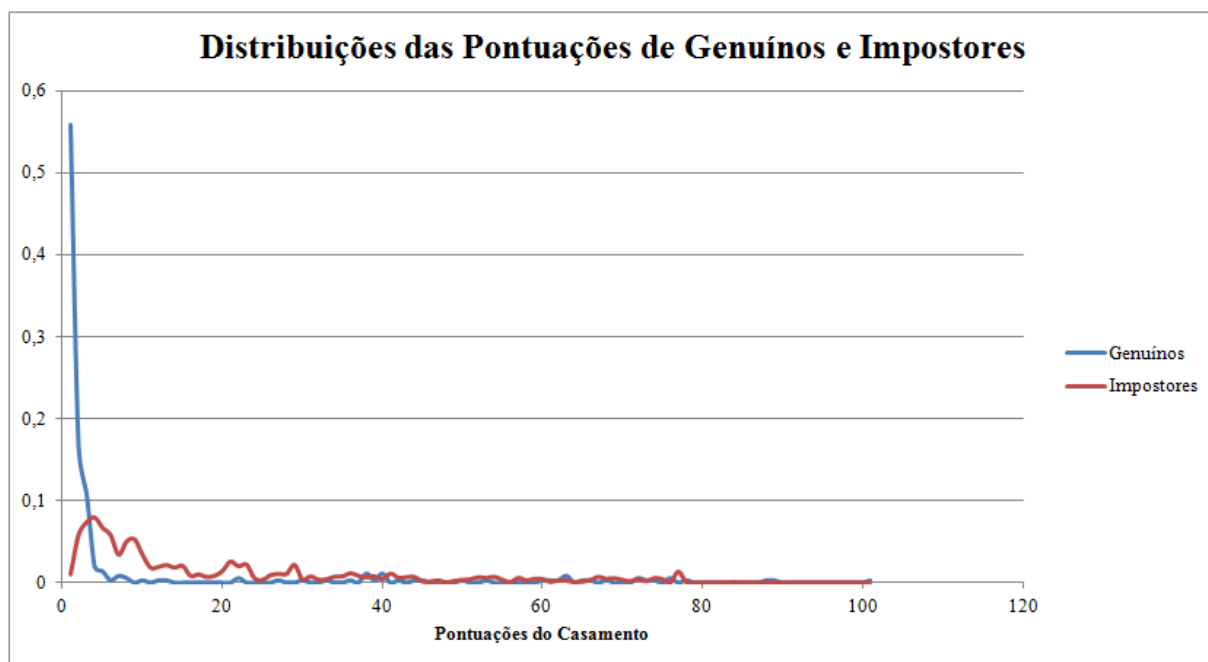


Figura 5.24: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando perímetro e máxima distância para a composição dos descritores de características dos seios maxilares com segmentação manual.

A Figura 5.26 apresenta as curvas ROC obtidas sobre as imagens segmentadas manual e automaticamente, referentes à melhor combinação de características de região (perímetro e

máxima distância), e a combinação das três medidas de região para composição dos descritores de características.

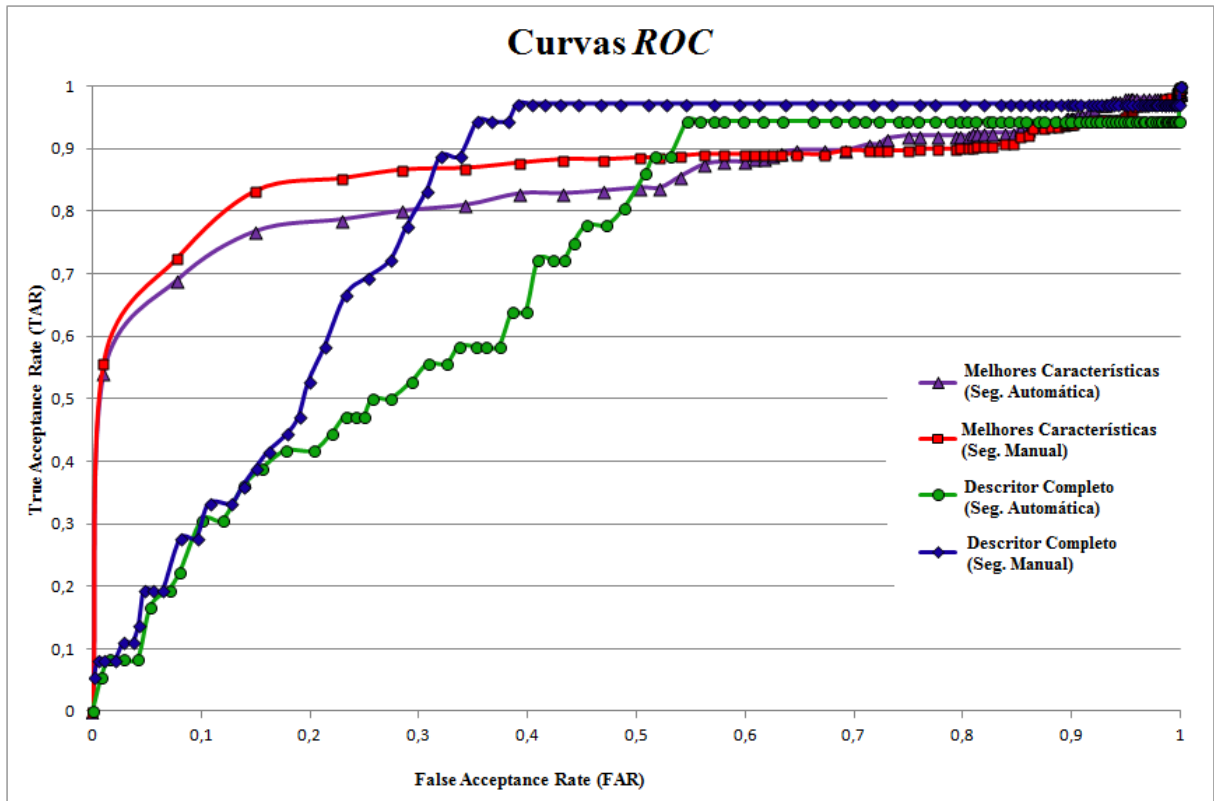


Figura 5.25: Curvas ROC de todos os 4 casos ilustrados para descritores de região: descritores de região completos para segmentações automática e manual e descritores compostos per perímetro e máxima distância, para segmentações automática e manual dos seios maxilares.

5.8.3 Descritor de Formas (BAS) para Seios Maxilares

A utilização da análise de formas pelo descritor BAS proporcionou uma nova avaliação para a utilização de características dos seios maxilares no reconhecimento biométrico de pessoas. Para a geração das curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores e curvas ROC, a abordagem com extração de características por descritores de forma foi também utilizada para a base segmentada automaticamente e a base segmentada manualmente. Para isto, após a segmentação dos seios maxilares, os resultados foram submetidos ao método BAS, que processou o contorno dos hemisférios e gerou valores de pontuações de acordo com os protocolos definidos para as comparações genuínas e impostoras. Os resultados foram normalizados e as curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores, cálculo do valor de EER e geração de curvas ROC foram realizados para esta abordagem de extração de características. A Figura 5.26 ilustra as curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando as características geradas pelo descritor BAS sobre as imagens segmentadas automaticamente. Já a figura 5.27 ilustra as distribuições de pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando características geradas pelo método BAS, sobre as imagens segmentadas manualmente.

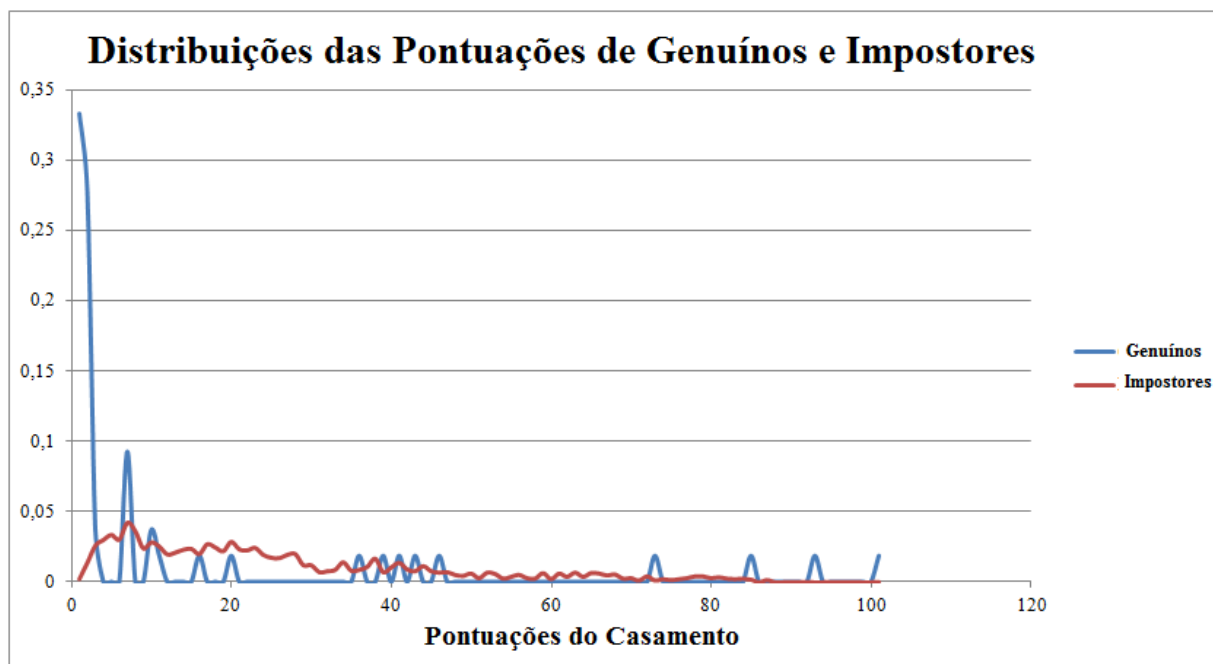


Figura 5.26: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de forma BAS como característica biométrica e segmentação automática dos seios maxilares.

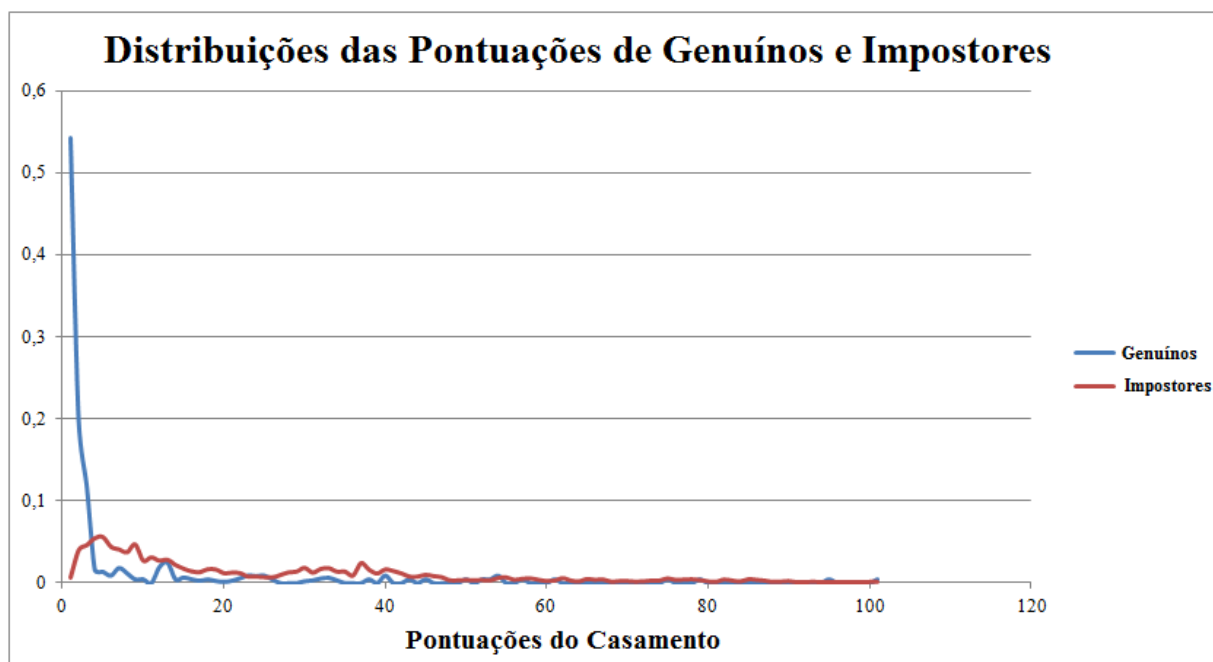


Figura 5.27: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando os descritores de forma BAS como característica biométrica e segmentação manual dos seios maxilares.

Para a segmentação automática dos seios maxilares, o valor de EER obtido com a utilização dos descritores de BAS foi de **24.2%**. Para as imagens segmentadas manualmente, o valor de

EER obtido foi de **21,3%**. As curvas ROC referentes às segmentações manual e automática dos seios maxilares estão ilustradas na Figura 5.28.

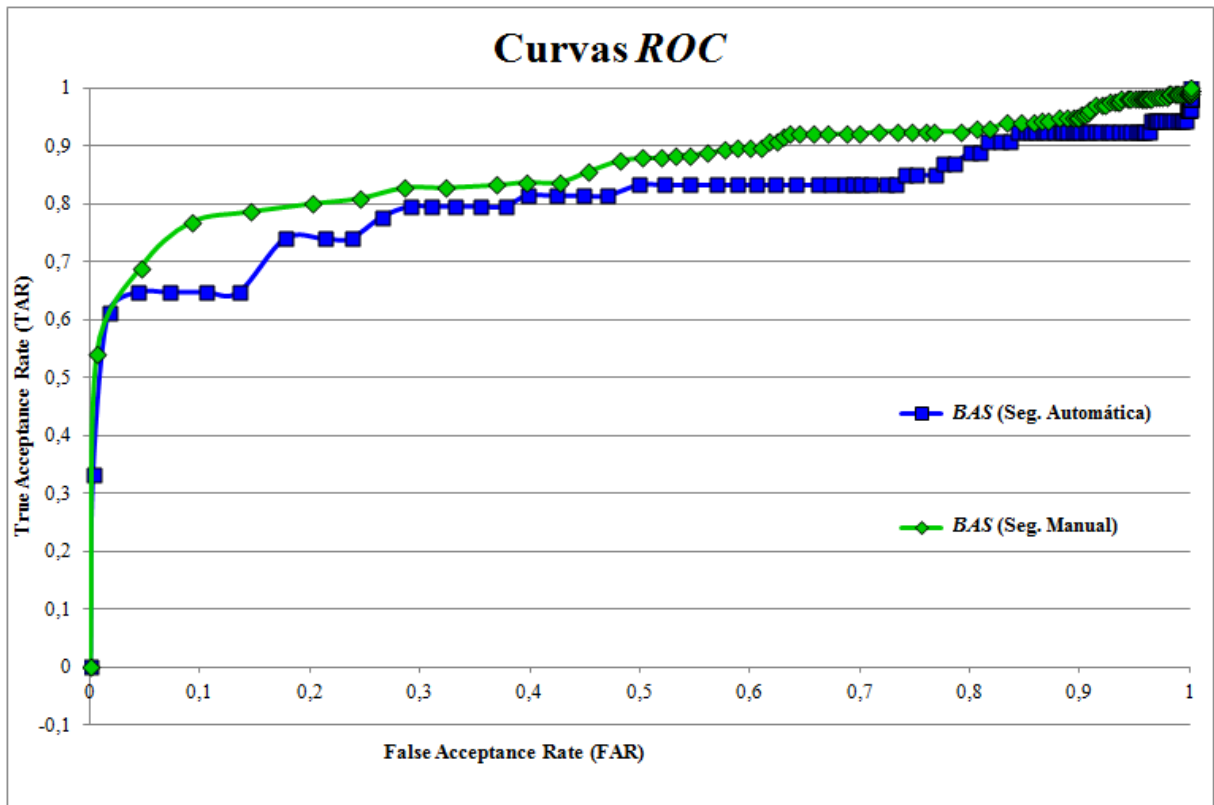


Figura 5.28: Curvas ROC obtidas com o descritor de formas BAS aplicado sobre as imagens segmentadas manualmente (conjunto verdade) e sobre as imagens segmentadas automaticamente pelo método proposto.

5.9 Fusão

Esta seção descreve os resultados obtidos para os dois níveis de fusão implementados nesta dissertação: fusão no nível de características e fusão no nível de pontuação. Como descrito no Capítulo 4, Seção 4.5, a fusão proposta consistiu na soma ponderada dos descritores na abordagem a nível de características e na soma ponderada das pontuações na abordagem no nível de pontuação. Foram construídas curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores e as curvas ROC para ambas as abordagens de fusão.

5.9.1 Fusão no Nível de Características

A fusão no nível de características foi realizada com os descritores completos (área, perímetro e máxima distância), visto que estes foram os descritores propostos para avaliação da região dos seios paranasais nesta dissertação, e com os descritores compostos pelo perímetro e máxima distância. A soma ponderada foi aplicada combinando descritores das duas estruturas avaliadas, seios frontais e seios maxilares, respeitando a combinação de descritores obtidos pela mesma abordagem de segmentação (ou seja, descritores obtidos da mesma maneira de segmentação combinados entre si pela fusão por soma ponderada). O objetivo da fusão foi de encontrar os

menores valores de EER, definindo os pesos quando estes valores fossem encontrados.

O resultado para a fusão a nível de características utilizando a segmentação automática e os descritores completos foi de **17,52%** de EER, com pesos utilizados na soma ponderada de composição do descritor de características iguais a 0,9 para seios frontais e 0,1 para seios maxilares. O resultado para a fusão no nível de características dos descritores completos na abordagem de segmentação manual foi de **15,21%** de EER, com pesos de 0,9 e 0,1 para seios frontais e maxilares, respectivamente.

Avaliando as melhores características, que apresentaram os melhores resultados tanto para a avaliação isolada dos seios frontais quanto para dos seios maxilares, a composição dos descritores de características por perímetro e máxima distância foi realizada e submetida à fusão nível de características. O valor de EER obtido foi de **13,30%**, com pesos iguais a 0,75 e 0,25 para as características dos seios frontais e maxilares, respectivamente, na segmentação automática. Para a segmentação manual, o valor de EER obtido foi de **11,55%**, com pesos iguais a 0,7 para as características dos seios frontais e 0,3 para as características dos seios maxilares. Os valores de *Q-Statistics* calculados para as fusões no nível de características utilizando os descritores compostos por perímetro e máxima distância foram de 0,6921 para a segmentação automática e 0,6886 para a segmentação manual.

Considerando os valores mais baixos de EER, as Figuras 5.29 e 5.30 apresentam as distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de características dos descritores compostos pelas medidas de perímetro e máxima distância, para as segmentações automática e manual, respectivamente. A Figura 5.31 apresenta as curvas ROC, referentes as distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores apresentadas nas Figuras 5.29 e 5.30.

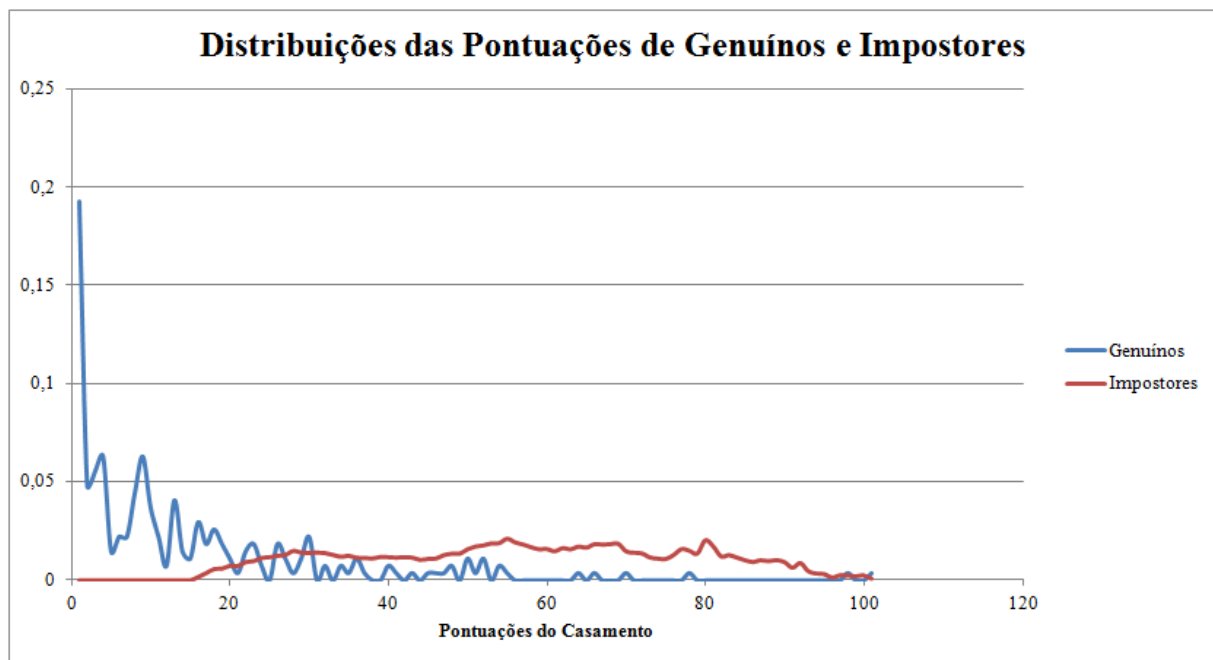


Figura 5.29: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de características dos descritores compostos pelas medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação automática dos seios frontais e seios maxilares.

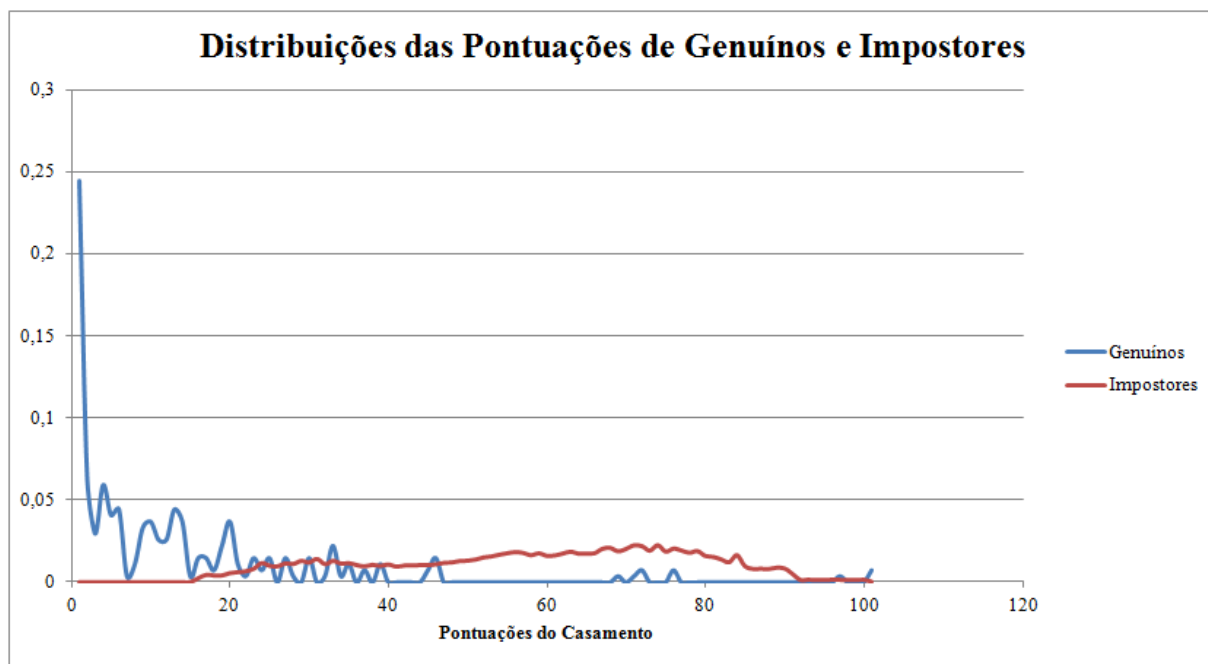


Figura 5.30: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de características dos descritores compostos pelas medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação manual dos seios frontais e seios maxilares.

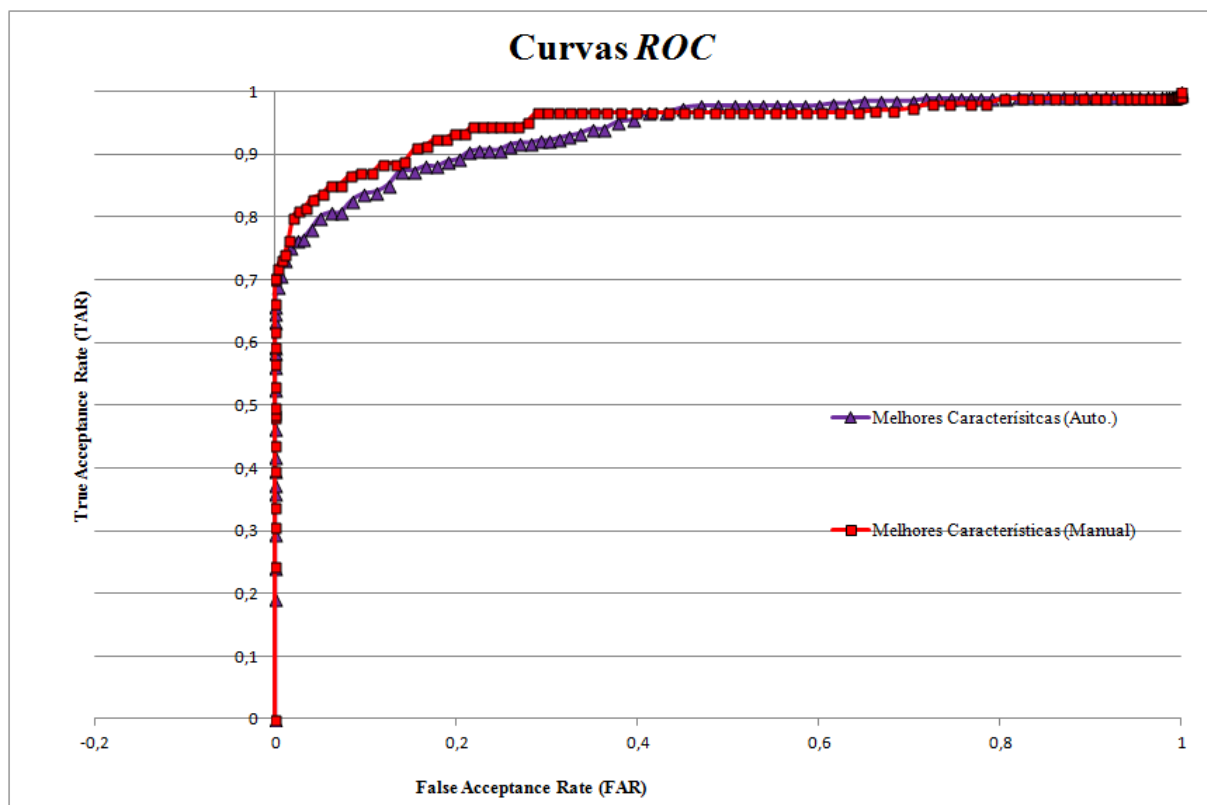


Figura 5.31: Curvas ROC das fusões dos descritores compostos por perímetro e máxima distância, para as imagens segmentadas manualmente (conjunto verdade) e segmentadas automaticamente pelos métodos propostos nesta dissertação.

5.9.2 Fusão no Nível de Pontuação

A fusão no nível de pontuação foi realizada com as pontuações resultantes das comparações dos descritores completos, compostos pelas medidas de área, perímetro e máxima distância, pontuações resultantes dos descritores compostos somente por perímetro e máxima distância, e pontuações resultantes das comparações dos descritores BAS. A soma ponderada foi aplicada combinando pontuações resultantes de comparações de descritores de mesma natureza, normalizados pelo método *Min-Max*, das duas estruturas avaliadas, seios frontais e seios maxilares, respeitando ainda a combinação de pontuações obtidas pela mesma abordagem de segmentação (ou seja, pontuações resultantes da comparação de descritores de região obtidos da mesma maneira de segmentação combinados entre si pela fusão por soma ponderada, e assim analogamente para os demais descritores). O objetivo da fusão foi de encontrar os menores valores de EER, definindo os pesos quando estes valores fossem encontrados.

Para a fusão de pontuações dos descritores completos, utilizando a segmentação automática, o resultado de EER obtido foi de **14,19%**, com peso de 0,85 aplicado as pontuações dos seios frontais e 0,15 aplicado as pontuações dos seios maxilares. Para a segmentação manual, a fusão de pontuações dos descritores completos apresentou valor de EER igual a **9,04%**, com pesos iguais a 0,8 para pontuações dos seios frontais e 0,2 para pontuações dos seios maxilares.

Avaliando as melhores características para ambas as estruturas, seios frontais e maxilares, a fusão de suas pontuações foi realizada (visto que em ambas estruturas, as melhores características foram perímetro e máxima distância na composição dos descritores de região). O valor de EER

obtido foi de **9,71%**, com pesos iguais a 0,9 e 0,1 para pontuações dos seios frontais e maxilares, respectivamente, na segmentação automática. Para a segmentação manual, o valor de EER obtido foi de **5,77%**, com pesos iguais a 0,9 para as pontuações dos seios frontais e 0,1 para as pontuações dos seios maxilares. Os valores de *Q-Statistics* calculados para as fusões no nível de pontuações para os descritores de região compostos pelo perímetro e máxima distância foram 0,2955 para a segmentação automática e 0,3258 para a segmentação manual das estruturas.

Considerando que as fusões no nível de pontuações utilizando os descritores de região compostos por perímetro e máxima distância apresentaram os valores mais baixos de EER, as Figuras 5.32 e 5.33 apresentam as distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores resultantes destas fusões, nas abordagens automática e manual de segmentação, respectivamente. A Figura 5.34 apresenta as curvas ROC, referentes as distribuições das Figuras 5.32 e 5.33.

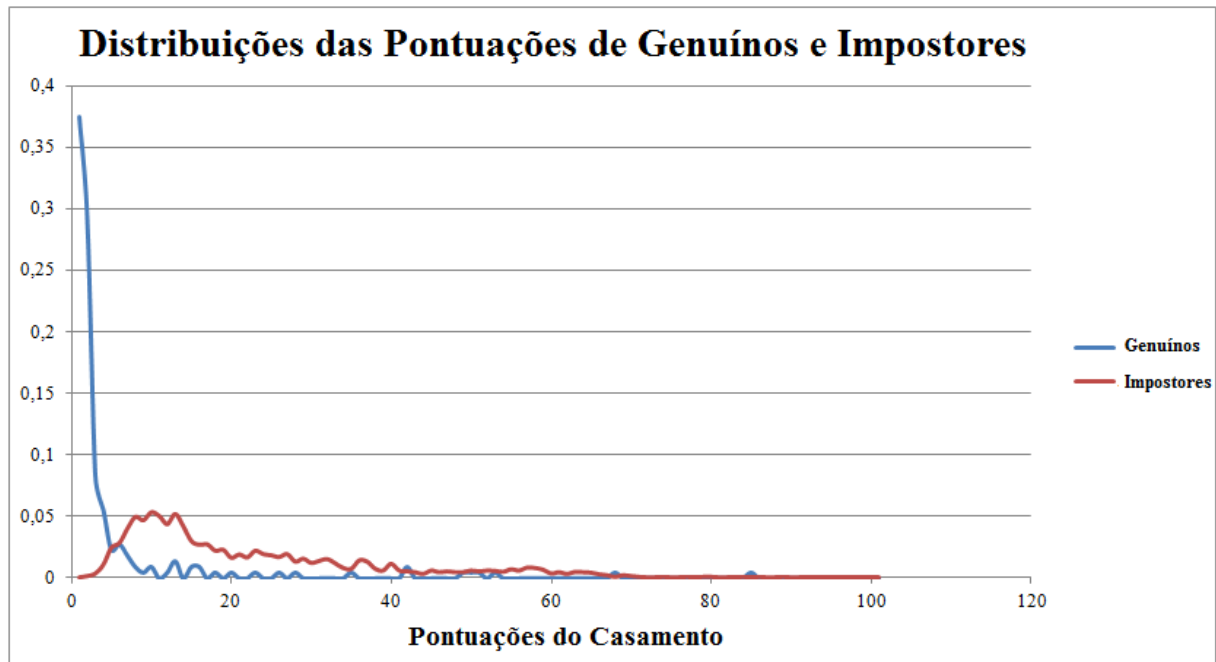


Figura 5.32: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação das medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação automática dos seios frontais e seios maxilares.

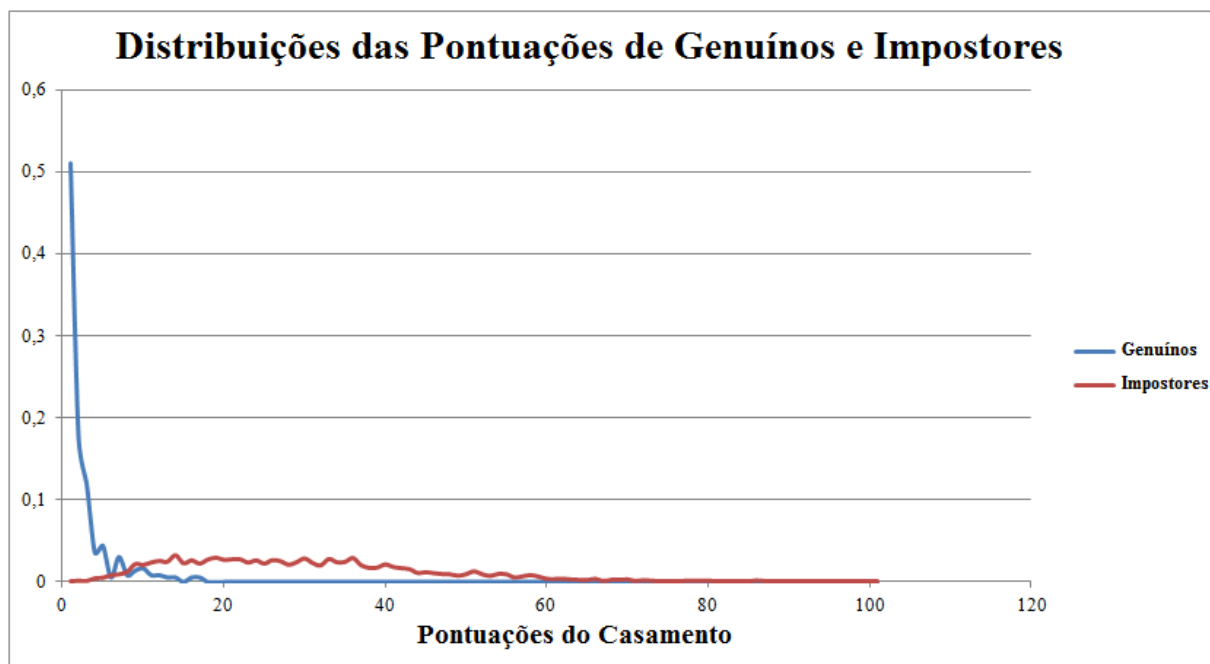


Figura 5.33: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação das medidas de perímetro e máxima distância, e segmentação manual dos seios frontais e seios maxilares.

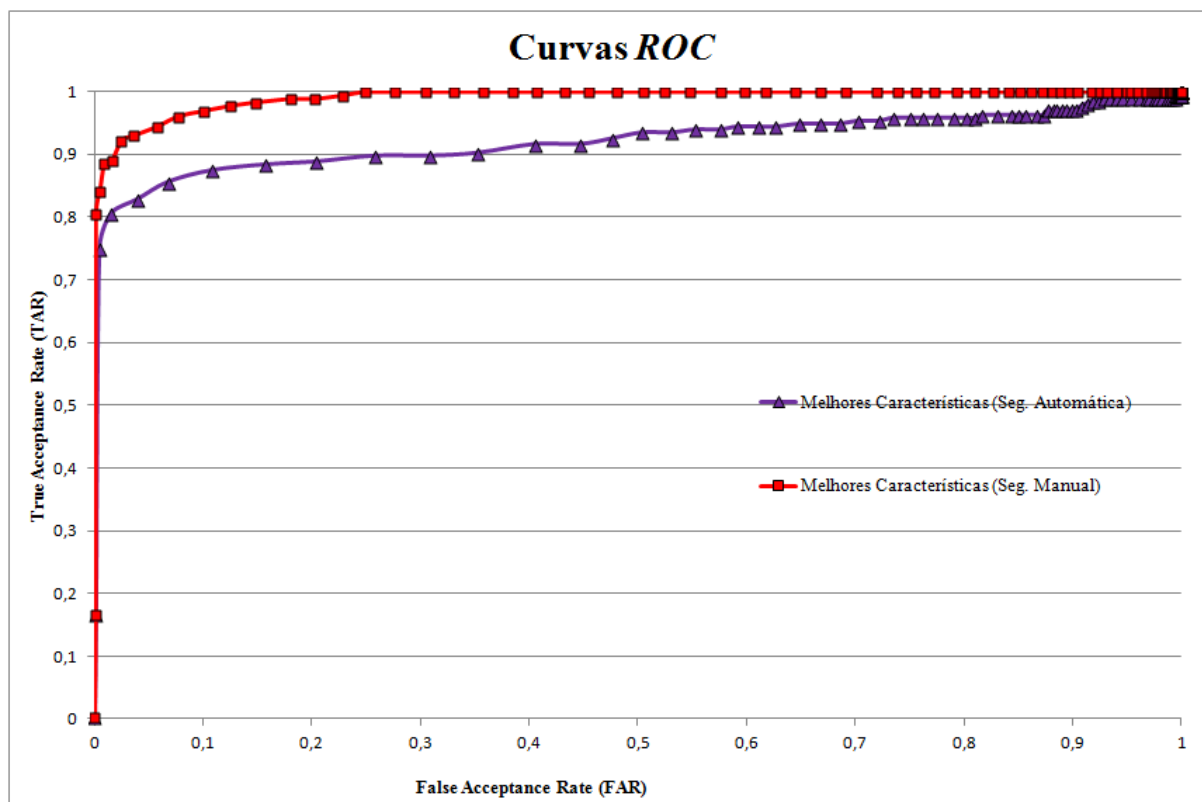


Figura 5.34: Curvas ROC das fusões das pontuações realizadas com descritores de região (perímetro e máxima distância), para abordagens automática e manual de segmentação dos seios frontais e maxilares.

Considerando a utilização das pontuações obtidas pela comparação dos descritores do método BAS para análise de formas, a fusão no nível de pontuações foi realizada para as duas abordagens de segmentação. Na abordagem manual de segmentação, obteve-se valor de EER igual a **13,73%**, com pesos iguais a 0,7 para pontuações obtidas para seios frontais e 0,3 para pontuações obtidas para seios maxilares. Na abordagem automática de segmentação, obteve-se valor de EER igual a **5,72%**, com pesos iguais a 0,75 para pontuações dos seios frontais e 0,25 para pontuações dos seios maxilares. As curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores de cada uma das abordagens de segmentação são, respectivamente, as das Figuras 5.35 e 5.36. As curvas ROC referentes as distribuições estão ilustradas na Figura 5.37. Os valores de *Q-Statistics* calculados para as fusões no nível de pontuação para os descritores de forma foram 0,8713 para a segmentação automática e 0,8904 para a segmentação manual.

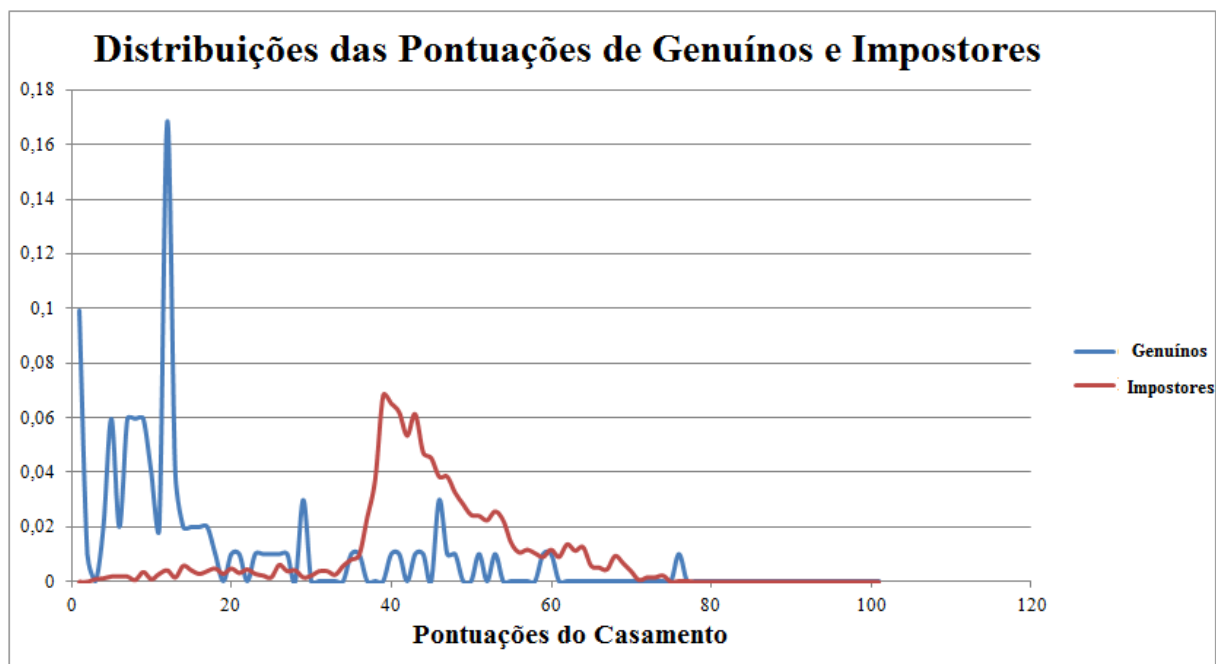


Figura 5.35: Distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação dos descritores de forma BAS, e segmentação automática dos seios frontais e seios maxilares.

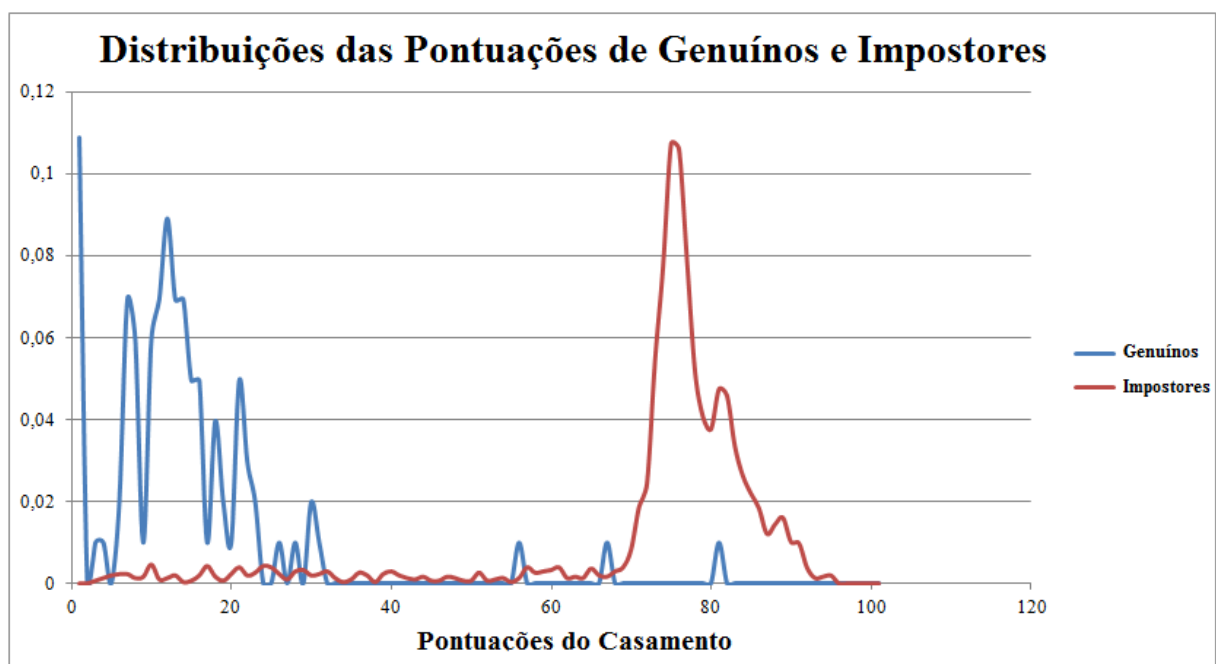


Figura 5.36: Distribuições das pontuações dos genuínos e impostores utilizando a fusão no nível de pontuação dos descritores de forma BAS, e segmentação manual dos seios frontais e seios maxilares.

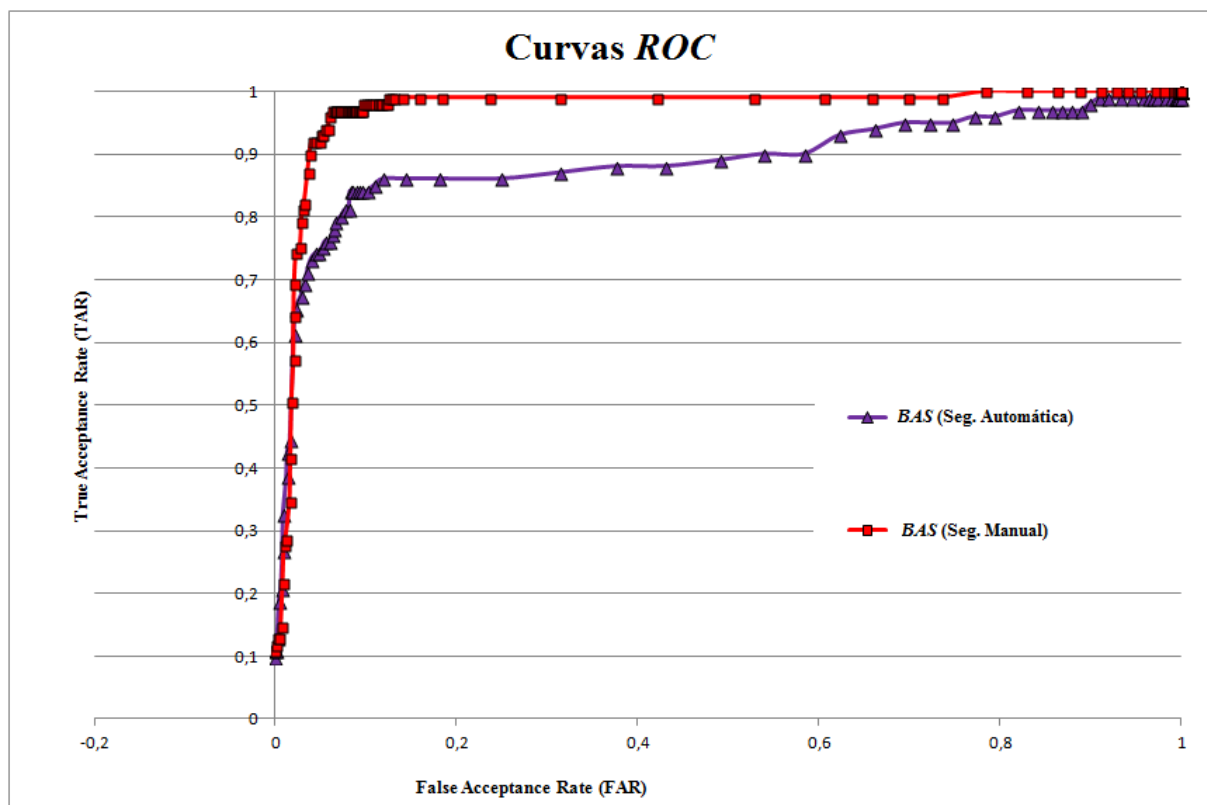


Figura 5.37: Curvas ROC das fusões das pontuações realizadas com descritores de forma, para abordagens automática e manual de segmentação dos seios frontais e maxilares.

A Tabela 5.3 lista os resultados obtidos para os métodos de fusão implementados pelo método, com os diversos descritores de características e segmentações propostos. Acerca das fusões dos descritores de região nos níveis de características e pontuações, estão descritos os resultados obtidos com a utilização do perímetro e máxima distância na composição dos descritores.

Tabela 5.3: Resultados obtidos para os métodos de fusão implementados pelo método proposto.

Fusão	Região / Características	Região / Pontuação	Forma / Pontuação
EER (Auto.) (%)	13,30	9,71	13,73
EER (Manual) (%)	11,55	5,77	5,72
<i>Q-Statistics</i> (Auto.)	0,3441		0,7773
<i>Q-Statistics</i> (Manual)	0,3602		0,7846

5.10 Considerações Finais

Realizados os experimentos propostos para este trabalho, cabem as devidas considerações finais a respeito dos descritores adotados para avaliação dos seios frontais e maxilares, visando sintetizar o uso e vantagens de suas utilizações.

5.10.1 Considerações Sobre Descritores de Região

Utilizando-se as medidas de área, perímetro e máxima distância isoladamente não se obteve valores satisfatórios de EER, evidenciando não serem características biométricas tão discriminativas quando utilizadas independentemente. Entretanto, quando as medidas de perímetro e máxima distância são utilizadas em conjunto para a criação dos descritores de região, os resultados obtidos apresentaram melhora significativa. É importante realçar que os descritores de região propostos nesta dissertação constituem uma aproximação de volume dos seios paranasais, uma vez que levam em conta os valores das medidas para todo o exame, e não para cada uma das imagens independentemente.

Considerando a etapa de fusão, os valores de EER obtidos para a fusão no nível de características foram inferiores aos encontrados somente para os seios frontais, enquanto que a fusão no nível de pontuação apresentou melhores resultados quando comparados aos valores de EER obtidos pelos descritores para as estruturas independentes.

Os melhores resultados (que utilizaram a fusão dos melhores descritores de região) apresentaram *Q-Statistic* igual a 0,3602 na abordagem manual de segmentação, e 0,3441 na abordagem automática de segmentação, indicando que os descritores apresentam considerável independência entre si. Este valor de *Q-Statistic* é referente tanto a fusão no nível de características quanto no nível de pontuação dos descritores de região, todavia, a fusão no nível de características não apresentou melhora dos resultados, como obtido com a fusão no nível de pontuação.

Por fim, os descritores de região apresentam uma maneira simples de descrição das estruturas dos seios frontais, justificando sua implementação, com bons resultados apresentados.

5.10.2 Considerações Sobre Descritores de Formas

Os melhores resultados foram obtidos com os descritores de forma para os seios frontais, entretanto, não obteve-se o mesmo para os seios maxilares. Os resultados de EER obtidos pelas fusões das pontuações na abordagem por análise de formas também não apresentaram maior viabilidade, visto que os resultados de EER pioraram, com o indicador *Q-Statistics* com valores iguais a 0,7773 (segmentação automática) e 0,7846 (segmentação manual), evidenciando a tendência a erros pelos dois descritores (frontais e maxilares) nos mesmos casos.

Desta forma, constatou-se que para os seios frontais os descritores de forma de BAS são mais discriminativos do que os descritores de região avaliados nesta dissertação, mas o mesmo não foi constatado para os seios maxilares, concluindo-se que para esta estrutura, a forma apresenta menor variabilidade interclasses que para os seios frontais.

Capítulo 6

Discussão

Este capítulo discute os resultados obtidos pelos métodos propostos nesta dissertação para identificação automática de pessoas via características extraídas dos seios frontais e maxilares de imagens de tomografia computadorizada.

6.1 Segmentação e Reconhecimento dos Seios Frontais

Inicialmente, a segmentação dos seios frontais foi implementada sem o tratamento para obstruções, o que gerou um erro de acurácia expressivo quando comparada com a segmentação manual destas estruturas. É de conhecimento que geralmente a realização de exames de tomografia são realizados quando existe algum tipo de disfunção ou problema relacionada a determinada região, e portanto, tende-se a encontrar obstruções nas regiões dos seios paranasais quando exames de TC são realizados a caráter médico.

Após a realização do tratamento das obstruções, a segmentação demonstrou melhora significativa, uma vez que foi possível segmentar os seios frontais mesmo quando há algum tipo de obstrução interna.

Além disso, a execução da segmentação automática foi realizada em tempo médio de 35 minutos para toda a base de dados, enquanto que a segmentação manual exige, além de prévio conhecimento sobre a estrutura dos seios frontais, habilidade manual para sua rápida execução. Para a base de dados utilizada, composta por mais de 300 imagens, a segmentação manual foi realizada em tempo médio de 20 horas. A avaliação da segmentação automática, descrita no Capítulo 5, evidencia a viabilidade desta implementação. A Figura 6.1 ilustra a semelhança nas duas abordagens de segmentação para um caso específico dos seios frontais.

Com relação ao reconhecimento dos seios frontais, os resultados ilustrados evidenciam que a área, o perímetro e a máxima distância, utilizados para a composição do vetor de características, apresentam bons resultados de EER, particularmente quando as medidas do perímetro e da máxima distância da borda dos seios frontais foram utilizados, com 7,43% para a segmentação manual (conjunto verdade) e 10,90% para a segmentação automática obtida pelo método proposto nesta dissertação, conforme descrito no Capítulo 5.

Pode-se concluir, portanto, que os descritores de região podem ser utilizados como descritores biométricos, com apresentação de bons resultados.

Para a avaliação dos seios frontais pela forma, utilizando o método BAS, obteve-se o melhor valor de EER, com 4,04% utilizando a segmentação manual e 8,99% utilizando a segmentação automática. Pelas curvas de distribuições de pontuações dos casamentos genuínos e impostores avaliadas, pode ser observada uma maior presença de *outliers* nas distribuições genuínas quando comparadas as impostoras, para ambos casos de segmentação. Isto deve-se a um fator

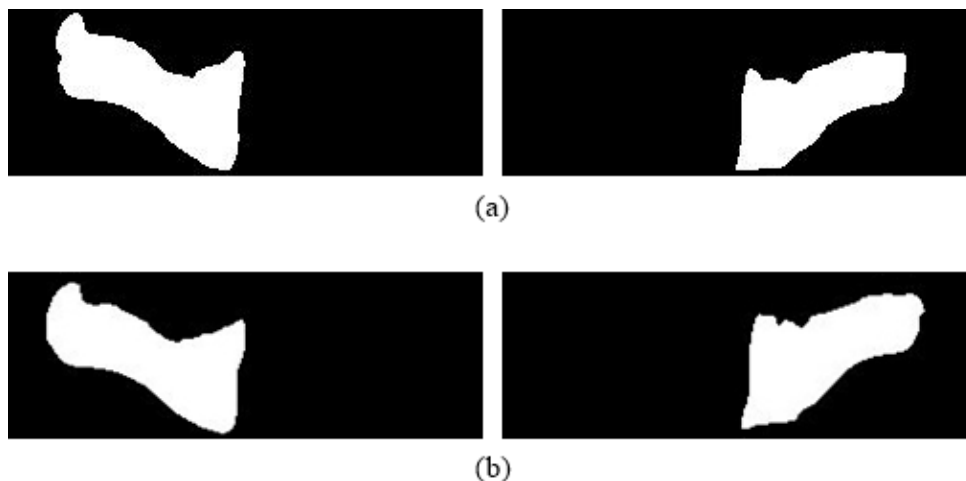


Figura 6.1: Comparação dos resultados de segmentação com: (a) segmentação automática dos hemisférios dos seios frontais e (b) segmentação manual dos seios frontais.

de variabilidade intrínseco a base de dados, onde a realização de exames em momentos distintos não geram exatamente os mesmos resultados, apresentando certas variações, mas não influenciando bruscamente a taxa de EER. A Figura 6.2 ilustra um exemplo onde dois exames de uma mesma pessoa foram realizados. As imagens, uma de cada exame, são parecidas mas não são idênticas. Fica definido, com os resultados obtidos, que a fase de extração de características influenciou mais significativamente o método proposto.

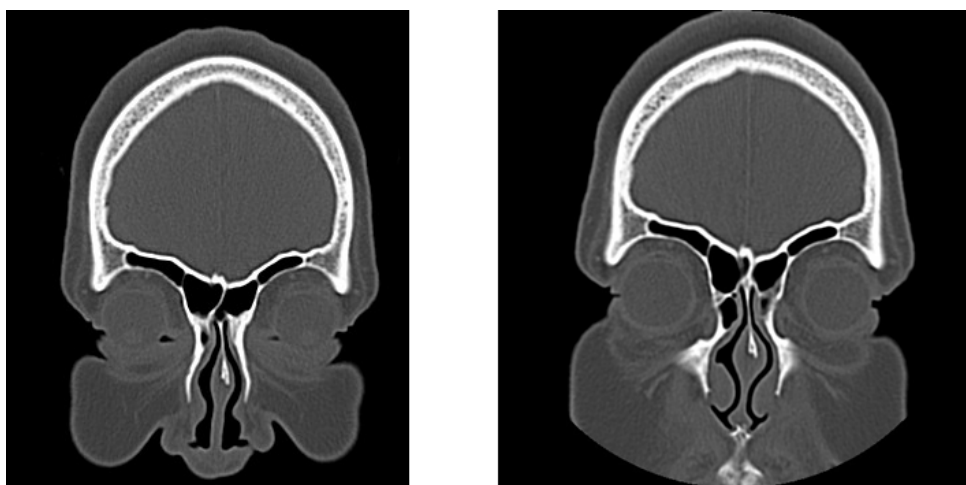


Figura 6.2: Comparação dos resultados de segmentação com: (a) segmentação automática dos hemisférios dos seios frontais e (b) segmentação manual dos seios frontais.

6.2 Segmentação e Reconhecimento dos Seios Maxilares

A segmentação dos seios maxilares também contou com o tratamento de obstruções, pois estas estruturas também apresentam, em sua maioria, obstruções provenientes de alguma natureza, como inflamações na mucosa, por exemplo. As imagens contendo obstruções dos seios maxilares podem ser tratadas sem grandes problemas. A dificuldade na segmentação dos seios

maxilares fica por conta de casos onde, na imagem de TC, a região dos seios maxilares se conecta com regiões de estruturas vizinhas do crânio.

Como ilustrado no Capítulo 5, diversas imagens da base de dados dos seios maxilares apresentam descontinuidades nas bordas, e quando isto ocorre, o método de segmentação proposto nesta dissertação falha. Métodos mais complexos precisariam ser propostos e desenvolvidos para tratar estes casos.

Mesmo com desempenho de segmentação inferior ao obtido na segmentação dos seios frontais, para seios maxilares, também justifica-se a automatização da segmentação, visto que a execução da segmentação automática foi realizada em tempo médio de 32 minutos para a base de dados utilizada, enquanto que a segmentação manual exige, além de prévio conhecimento sobre a estrutura, habilidade manual para sua rápida execução. Para a base de dados utilizada, composta por mais de 300 imagens, a segmentação manual foi realizada, também, em tempo médio de 20 horas, com a ajuda de um especialista da área médica. É pertinente, portanto, a segmentação automática dos seios maxilares, que apresentaram uma boa taxa de segmentação correta, de 79,30%, medida pelo índice Kappa, conforme descrito na Capítulo 5. A Figura 6.3 evidencia a similaridade entre a segmentação manual e a segmentação automática obtida pelo método proposto nesta dissertação para um caso específico dos seios maxilares.

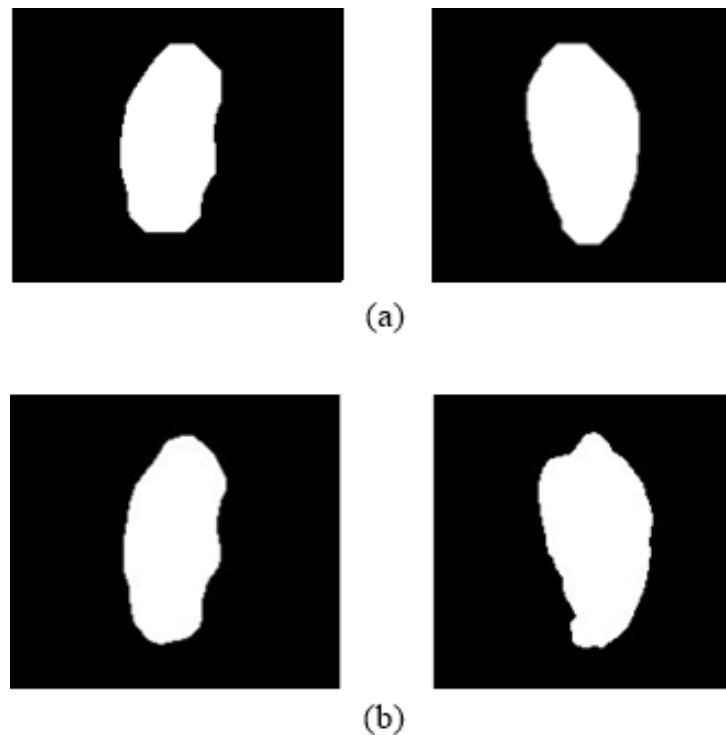


Figura 6.3: Comparação dos resultados de segmentação com: (a) segmentação automática dos hemisférios dos seios maxilares e (b) segmentação manual dos seios maxilares.

Na avaliação independente dos descritores de região calculados dos seios maxilares, os resultados ilustrados evidenciam que a área, o perímetro e máxima distância, utilizadas em conjunto no descritor de características, não apresentam bons resultados, com baixos valores de EER resultantes.

Quando a seleção das melhores características foi realizada, os valores de EER diminuíram, porém, foram piores quando comparados aos dos seios frontais. Pode-se concluir, portanto, que os descritores de região não apresentam a mesma eficiência obtida para os seios frontais.

Para a avaliação dos seios maxilares pela forma, utilizando o método BAS, obteve-se resultados de EER iguais a 24,20% utilizando a segmentação manual e 21,30% utilizando a segmentação automática. Pelas curvas de distribuições das pontuações dos casamentos genuínos e impostores avaliadas, pode ser observada uma maior presença de *outliers* nas distribuições genuínas quando comparadas as impostoras, para ambos os casos de segmentação. Mas para estas estruturas, os valores de EER foram altos, o que evidencia que a forma dos seios maxilares **não** apresenta alto índice de discriminação na identificação biométrica de pessoas. As características também foram o grande diferencial para a obtenção dos resultados de reconhecimento utilizando os seios maxilares.

6.3 Identificação Baseada na Fusão dos Seios Frontais e Maxilares

Na avaliação da fusão no nível de características, não obteve-se melhora nos valores de EER, mesmo com os valores de *Q-Statistics* próximos de 0,35 tanto na abordagem automática quanto na abordagem manual de segmentação. Entende-se, portanto, que a fusão no nível de características não é a melhor alternativa quando utiliza-se estas duas estruturas dos seios paranasais como características biométricas.

Na avaliação da fusão no nível de pontuação, priorizou-se o uso das pontuações resultantes das comparações após a seleção das melhores características, uma vez que com estes obteve-se melhores taxas de EER na utilização independente das estruturas paranasais.

Pode-se obter, utilizando os melhores descritores combinados para as duas estruturas, o valor de EER de 9,04% com segmentação automática, valor este próximo dos obtidos utilizando descritores de forma BAS para os seios frontais. Na abordagem manual, o valor de EER foi de 5,77%.

Aplicando-se a fusão no nível de pontuação nos descritores de forma, obteve-se piora nos resultados de EER, que foram de 13,73% para a segmentação automática e 5,72% para a segmentação manual. Os valores de EER obtidos para os descritores de forma dos seios frontais foram de 8,99% e 4,04% para segmentações automática e manual, respectivamente. Portanto, não justifica-se a fusão dos descritores de forma, dada a baixa eficiência de reconhecimento obtida com estes descritores para os seios maxilares.

6.4 Uso de Tomografias Computadorizadas e Seios Paranasais

Conforme mostram os trabalhos correlatos encontrados na literatura e apresentados no Capítulo 3, os seios paranasais podem ser utilizados com êxito para a identificação de pessoas. Todavia, a utilização conjunta dos seios frontais e maxilares, na identificação biométrica com características adquiridas de tomografias computadorizadas representa uma abordagem ainda não explorada.

Considerando as vantagens e desvantagens do uso de TC, têm-se como vantagens a alta qualidade das imagens resultantes deste exame, facilitando a segmentação dos seios paranasais. Todavia, deve ser considerada a desvantagem da maior emissão de radiação ao paciente, quando comparada aos exames de raios-X.

Com a facilidade da segmentação das estruturas dos seios paranasais, têm-se uma grande contribuição para os especialistas da área médica, que realizam este trabalho exaustivo manualmente. A segmentação manual pode ser afetada por fatores de estresse e cansaço do especialista, gerando resultados diferentes a cada realização da segmentação. Desta maneira, a

segmentação automática proposta pelo método apresenta uma maneira de segmentação exata, que auxilia o trabalho realizado pelos especialistas da área de radiologia, proporcionando uma pré-segmentação das estruturas dos seios paranasais.

A aquisição de características dos seios frontais em imagens de TC não é tão realizada quanto a aquisição de características dos seios frontais em imagens de raios-X. Sendo assim, esta dissertação demonstra a eficiência de imagens de TC para esta aquisição, com maior facilidade de identificação das estruturas componentes dos seios paranasais, e possibilidade de segmentação correta e rápida de maneira totalmente automática. Além disso, o impacto científico é grande e justificável, por se tratar de uma abordagem não convencionalmente aplicada na literatura, mas que ainda sim apresenta resultados satisfatórios.

As dificuldades atreladas a utilização de imagens de TC para os seios frontais ficam por conta da definição dos limites inferiores destas estruturas. A região interno-nasal do crânio, na maioria dos casos, apresenta influência nesta definição, e isso exige a aplicação de técnicas de processamento de imagens para que os seios frontais possam ser encontrados em imagens de TC.

Os seios maxilares apresentam alta utilização na literatura para definição de gênero, com características adquiridas de TCs, porém, quando se trata da identificação de pessoas, os trabalhos literários mostram-se escassos.

Os resultados obtidos para os seios maxilares não garantem que esta é uma estrutura que pode ser utilizada como característica biométrica, seja para descrição de região, seja para descrição de forma. Com o apresentado, os seios maxilares não apresentaram a mesma eficiência obtida para seios frontais. Isto se deve, de fato, a natureza da estrutura, que apresenta comportamento interclasse semelhante, o que não ocorre geralmente com as estruturas dos seios frontais.

A utilização dos seios maxilares para identificação biométrica de pessoas caracteriza uma nova vertente de pesquisa a ser desenvolvida, com a definição de características que venham a ser tão discriminativas quanto as já propostas e justificadas para os seios frontais.

A fusão de características das estruturas componentes dos seios paranasais também descreve uma linha profunda de pesquisa, já que pode apresentar melhoria nas taxas de acertabilidade (EER), como descrito neste trabalho. Diversas outras estruturas dos seios paranasais podem ser avaliadas para a composição de descritores de características mais robustos e fidedignos, combinando as diversas estruturas dos seios paranasais que são únicas para cada indivíduo, como é o caso dos seios frontais.

Capítulo 7

Conclusão

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um método totalmente automático de identificação biométrica de pessoas que utiliza características dos seios frontais e maxilares, obtidas de tomografias computadorizadas. Neste capítulo, portanto, estão listadas as principais contribuições obtidas com a realização deste trabalho, além da sugestão de atividades para a extensão deste estudo.

7.1 Principais Contribuições

Inicialmente, as segmentações automáticas dos seios frontais e maxilares exibiram, de maneira quantitativa, viabilidade em suas execuções. Para os seios frontais, obteve-se taxa de acerto de **88,52%** e para os seios maxilares, obteve-se **79,30%** de acerto, sendo estas medidas avaliadas pela métrica *Cohens Kappa* (MENZE *et al.*, 2012). O tempo necessário para as abordagens de segmentação descrevem uma diferença significativa, uma vez que as segmentações automática demoram, em média, **33,5 minutos** para as duas estruturas, enquanto que as segmentações manuais demoram, com a ajuda de um especialista médico, em média **20 horas**, também para ambas as estruturas. As segmentações, realizadas de maneira totalmente automática, também descrevem a viabilidade de sua implementação pela proximidade dos valores de EER obtidos para todos os casos avaliados para ambas as segmentações. Conclui-se, portanto, que as segmentações automáticas dos seios paranasais são justificáveis, apresentam contribuição científica e resultados satisfatórios.

É importante, ainda considerand a segmentação das estruturas dos seios paranasais, estabelecer que mesmo com a realização de aproximações pelo método, o resultado de segmentação é único, independente do número de vezes de sua realização. O mesmo não pode ser obtido com a segmentação manual destas estruturas, fortemente influenciados por fatores humanos, como estresse e cansaço, uma vez que o processo de segmentação manual é exaustivo quando realizado por um longo período de tempo, sem pausas.

Com relação à identificação de pessoas, os descritores de região para os seios frontais e maxilares apresentaram resultado que merece atenção. Isoladamente, os descritores de área, perímetro e máxima distância não apresentam bom desempenho, todavia, quando empregados em conjunto (pela composição do vetor de características), os resultados obtidos justificam suas utilizações, graças a seu simples e rápido cálculo. Na utilização dos descritores de região, observou-se que a utilização de todas as medidas não apresentam os melhores resultados para esta abordagem, uma vez que a utilização de duas medidas (perímetro e máxima distância) demonstrou resultados superiores, tanto para seios frontais quando para seios maxilares.

Quanto a utilização dos descritores de formas, ficou claro que o com o BAS obteve-se os

melhores resultados para os seios frontais, com valores de EER de **8,99%** para a base de dados segmentada automaticamente, e **4,04%** para a base segmentada manualmente, mas o mesmo não pode ser constatado para os seios maxilares, com valores de EER acima de 20% para ambas as abordagens de segmentação. Concluiu-se, a priori, que a forma componente destas estruturas não apresentam o mesmo grau de discriminação quando comparadas as formas daquelas.

Na realização da fusão no nível de características dos descritores dos seios frontais e maxilares, não obteve-se melhora nos valores de EER, uma vez que estes descritores não apresentam alto valor de independência.

A fusão no nível de pontuações, com a melhor combinação de características, apresentou os melhores resultados para a fusão entre seios frontais e seios maxilares, chegando a valores de EER iguais a **9,07%** na segmentação automática e **5,77%** na segmentação manual, valores estes próximos dos obtidos com análise de formas dos seios frontais. Assim, justificou-se, uma vez mais, a utilização dos descritores de região, visto que o cálculo dos descritores de análise de formas descrevem maior complexidade e necessidade computacional de implementação. Na fusão das pontuações das análises de formas, os valores de EER não apresentaram melhora, visto que para os seios maxilares, a forma não apresentou alto grau de discriminação (justificado pelos valores de EER obtidos), quando comparados aos seios frontais.

Assim, concluiu-se que a fusão no nível de pontuação para descritores de região dos seios frontais e maxilares é eficiente, pois o valor de EER pode ser melhorado quando esta técnica de fusão foi aplicada às pontuações obtidas por descritores das melhores características. A fusão no nível de pontuação para os descritores de forma BAS dos seios frontais e maxilares não apresentou eficiência, uma vez que os resultados obtidos de EER pioraram com a fusão destes descritores.

Os seios frontais, como já foi descrito na literatura, apresentam alto poder de discriminação e podem ser utilizados como características biométricas em sistemas forenses de identificação humana, e o mesmo estende-se para aquisição de suas medidas em tomografias computadorizadas, principalmente com a utilização dos descritores de formas, que apresentaram os melhores valores de EER de todos os experimentos, reforçando a unicidade e aplicabilidade dos seios frontais na identificação biométrica de pessoas. Todavia, uma avaliação mais profunda pode ser realizada para definição de medidas mais discriminativas para os seios maxilares, uma vez que os resultados para estas estruturas utilizando descritores de região não foram satisfatórios, com valores de EER inferiores aos obtidos utilizando os seios frontais. Constatou-se, ainda, que a descrição de forma utilizando o método BAS dos seios maxilares não apresenta valor discriminante, e os valores de EER obtidos utilizando este método para composição dos vetores de características reforçam esta afirmação.

Portanto, além da contribuição referente a segmentação automática destas estruturas, este trabalho apresenta contribuição na utilização de imagens de tomografia para a aquisição de características dos seios paranasais. Seios frontais, segundo a literatura, não apresentam alta usabilidade na modalidade de TC, e com este trabalho, prova-se que esta estrutura apresenta medidas suficientemente discriminativas quando adquiridas nesta modalidade de imagens. Além disso, a aplicação de técnicas de fusão utilizando medidas de duas estruturas dos seios paranasais para a identificação biométrica também apresenta uma contribuição, visto que são escassos os estudos relacionados a fusão de características adquiridas de estruturas diferentes dos seios paranasais, seja para identificação biométrica, ou definição de gênero.

7.2 Trabalhos Futuros

Considerando a grande aplicabilidade do uso dos seios paranasais como características biométricas em sistemas de identificação humana forense, é válida a definição de novas diretrizes para a continuidade deste trabalho, para aprimoramento do uso destas estruturas com o objetivo de criar, futuramente, sistemas que tornem esta realidade de identificação possível, facilitando o trabalho de especialistas forenses na investigação e identificação de indivíduos.

A busca por novos exames para composição de novas bases de dados deve ser realizada inicialmente. A extensão do trabalho pode ser realizada com a aplicação do método em diversas bases de dados de seios frontais e maxilares descritos por imagens de TC. Entretanto, a aquisição deste tipo de imagem apresenta restrições legais, o que dificulta esta extensão.

Tendo em vista os bons resultados obtidos com o descritor de formas BAS, justifica-se a avaliação das formas dos seios frontais ou maxilares por outros descritores de formas, caracterizando novas abordagens de avaliação destas estruturas e possibilitando o confronto dos diversos métodos de descrição de formas para seios paranasais. Os resultados de reconhecimento obtidos nesta dissertação com a utilização dos descritores de forma BAS para os seios frontais apresentaram resultados satisfatórios, entretanto, com a utilização destes descritores para os seios maxilares, não obteve-se bons resultados. Justifica-se, portanto, a aplicação de outros descritores de forma, com o objetivo de avaliar melhor se os seios maxilares atendem a propriedade de unicidade exigida para os descritores biométricos.

A implementação de um sistema que incorpore os métodos propostos nesta dissertação pode ser realizada, tornando o processo de segmentação dos seios paranasais e identificação de indivíduos mais simples e rápido, facilitando o trabalho desempenhado por especialistas da área médica.

Bibliografia

ARAUZ, S. L. *Seno Frontal*. [S.l.]: El Ateneo, 1943.

ARICA, N.; VURAL, F. A perceptual shape descriptor based on the beam angle statistics. In: *International Conference on Pattern Recognition*, v. 24, p. 1627–1639, 2003.

ATTIA, A. M.; EL-BRADAWY, A.; SHEBEL, H. M. Gender identification from maxillary sinus using multi-detector computed tomography. *Mansoura J. Forensic Med. Clin. Toxicol.*, v. 20, n. 1, p. 361–367, 2012.

BELALDAVAR, C. *et al.* Assessment of frontal sinus dimensions to determine sexual dimorphism among indian adults. *J Forensic Dent Sci*, v. 6, n. 1, p. 25–30, 2014.

BESANA, J. L.; ROGERS, T. L. Personal identification using frontal sinus. *Journal of Science Forense*, v. 55, n. 3, p. 584–589, 2010.

BOLZAN, J. D.; TUCUNDUVA, M. J. A. P. S. Estudo radiográfico da cavidade nasal e dos seios paranasais e suas variações. *Science in Health*, v. 3, n. 1, p. 23–31, 2012.

BROGDON, B. G. *Forensic Radiology*. [S.l.]: CRC Press, 1998.

BROUGHT, A. L. *et al.* Post-mortem computed tomography and 3d imaging: anthropological applications for juvenile remains. *Forensic Science Medicine and Pathology*, 2012.

CAVALCANTI, M. G. P. Accurate linear measurements in the anterior maxilla using orthoradially reformatted spiral computed tomography. *Dentomaxillofac. Radiol.*, v. 28, n. 3, p. 137–140, 1999.

CAVALCANTI M. G. P.; RUPRECHT, A.; VANNIER, M. W. Evaluation of an ossifying froma using three- dimensional computed tomography. *Dentomaxillofac. Radiol.*, v. 30, n. 6, p. 342–345, 2001.

CHRISTENSEN, A. M. Assessing the variation in individual frontal sinus outlines. *Am J Phys Anthropol*, v. 127, n. 3, p. 291–295, 2005.

COSTELLO, P.; ANDERSON, W.; BLUME, D. Pulmonary nodule: Evaluation with spiral volumetric ct. *Radiology*, v. 189, p. 875–876, 1991.

ERICSON, S.; KUROL, J. Incisor root resorptions due to ectopic maxillary canines imaged by computerized tomography: a comparative study in extracted teeth. *Angle Orthod*, v. 70, n. 4, p. 276–283, 2000.

FALGUERA, J.; MARANA, A. N. Frontal sinus recognition for human identification. In: *SPIE Defense and Security Symposium, International Society for Optics and Photonics*. [S.l.: s.n.], 2008. ISBN 69440S.

- FUHRMANN, R. A. W. Three-dimensional cephalometry and three-dimensional skull models in orthodontic/surgical diagnosis and treatment planning. *Semin Orthod*, v. 8, n. 1, p. 17–22, 2002.
- FUHRMANN, R. A. W.; BÜCKER, A.; DIEDRICH, P. R. Furcation involvement: comparison of dental radiographs and hr-ct-slices in human specimens. *J Periodont Res, Copenhagen*, v. 32, n. 5, p. 409–418, 1997.
- GARIB, D. G. Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue borne and tooth borne expanders: a computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, v. 129, n. 6, p. 749–758, 2006.
- GARIB, D. G. *et al.* Tomografia computadorizada de feixe cônico (cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na ortodontia. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*, v. 12, n. 2, p. 139–156, 2007.
- HAJEK, M. Normal anatomy of the frontal sinus. In: *Pathology and Treatment of the Inflammatory Diseases of the Nasal Accessory Sinuses*. [S.l.: s.n.], 1943.
- HOLLET, M. D. *et al.* Dual- phase helical ct of the liver: Value of arterial phase scans in the detection of small (1.5 cm) malignant hepatic neoplasms. *AJR*, v. 164, p. 879–884, 1995.
- HUNGRIA, H. *Otorrinolaringologia - Cirurgia de Cabeça e Pescoço*. [S.l.]: Editora Guarabara Kooga, 2012. v. 6^a ed. 270–279 p.
- JAIN, A. K.; ROSS, A.; PRABHAKAR, S. An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v. 14, n. 1, p. 4–20, jan 2004.
- KALENDER, W. A. *et al.* Spiral volumetric ct with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. *Radiology*, v. 181, p. 181–190, 1990.
- KIRK, N. J.; WOOD, R. E.; GOLDSTEIN, M. Skeletal identification using the frontal sinus region: A retrospective study of 39 cases. *Journal of Forensic Science*, 2002.
- KUNCHEVA, L.; WHINTAKER, C. J. Measures of diversity in classifier ensembles and their relationship with the ensemble accuracy. *Machine Learning*, v. 51, p. 181–207, 2003.
- KUNCHEVA, L.; WHINTAKER, C. J. A hybrid wavelt-based fingerprintmatcher. *Elsevier LTD, New York, USA*, v. 40, n. 11, p. 3146–3151, 2007.
- LEITE, C. C.; JR, E. A.; OTADUY, M. G. *Física básica da tomografia computadorizada*. [S.l.: s.n.], 2004.
- LIBERSA, C.; FABER, M. Etude anatomoradiologique du sinus frontal chez l'enf ant. lille med. In: *BucklandWright*, v. 3, n. 296, p. 453–459, 1970.
- MALTONI, D. *et al.* *Handbook of Fingerprint Recognition*. [S.l.]: Springer, 2003.
- MARANA, A. N. *et al.* Towards an automatic frontal sinus identification system. *Anais do II Workshop de Visão Computacional, USP-São Carlos*, p. 93–98, 2006.
- MENZE, B. *et al.* K. v. miccai 2012 challenge on multimodal brain tumor segmentation. *BRATS2012 MICCAI, France.*, 2012. Disponível em: <<http://www2.imm.dtu.dk/projects/BRATS2012/>>.

- NAMBIAR, P.; NAIDU, D.; SUBRAMANIAM, K. Anatomical variability of the frontal sinuses and their application in forensic identification. *Clinical Anatomy*, v. 12, p. 16–19, 1999.
- PAIVA, A. C.; SEIXAS, R. B.; GATTAS, M. *Introdução à visualização volumétrica*. [S.l.]: Monografia em Ciência da Computação, Número 03/99, Departamento de Informática, PUC-Rio., 1999.
- PARKS, E. T. tomography applications for dentistry. *Dent Clin North Am*, v. 44, n. 2, p. 371–394, 2000.
- PASTORE, J.; MOLIER, E. *Identificación de Senos Frontales Mediante Factores de Forma y Descriptores de Fourier*. [S.l.: s.n.], 2004.
- PATIL, N. *et al.* Uniqueness of radiographic patterns of the frontal sinus for personal identification. *Imaging Sci Dent.*, v. 42, p. 213–217, 2012.
- REICHS, K. J. Quantified comparison of frontal sinus patterns by means of computed tomography. *Forensic Science International*, v. 61, p. 141–168, 1993.
- REICHS, K. J.; DORION, R. B. J. D. The use of computed tomography (ct) scans in the comparison of frontal sinus configurations. *Forensic Science*, v. 25, p. 10–16, 1992.
- RIBEIRO, F. A. Q. Standardized measurements of radiographic films of the frontal sinuses: an aid to identifying unknown persons. *Ear Nose Throat J.*, v. 79, n. 1, p. 26–32, 2000.
- RUBIN, G. D. 3d spiral ct angiography of the aorta and its braches. In: *Fishman EK, Jeffrey R. B.. eds, Spiral CT: Principles, Techniques, and Clinical Applications*, p. 361–403, 1996.
- SAUNDERS, W. *Dorland's Illustrated Medical Dictionary*. 25^a. ed. [S.l.]: Ed. Philadelphia, 1974.
- SCHULLER, A. A note on the identification of skulls by x-ray pictures of the frontal sinuses. *Med. Journal Australia*, 2014.
- SEGURA, E. V. *et al.* Enfermedades de los senos paranasales. *Otorrinolaringologia Pratica*, 1943.
- SIDHU, R. *et al.* Forensic importance of maxillary sinus in gender determination: A morphometric analysis from western uttar pradesh, india. *European Journal of General Dentistry*, v. 3, 2014.
- SIEUR, O.; JACOB, O. Des sinus frontaux. In: *Recherches Anatomiques, Cliniques et Operatoires sur les Fosses Nasales et Leur Sinus*. [S.l.: s.n.], 1901.
- SILVA, R. F. *et al.* Associação de duas técnicas de análise radiográfica do seio frontal para identificação humana. *RSBO*, v. 6, n. 3, p. 310–315, 2009.
- SOUZA, G. B.; MARANA, A. N. Hts: A new shape descriptor based on hough transform. In: *IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS*, p. 974–977, 2013.
- TANIGUCHI, M. *et al.* Possible use of nasal septum and frontal sinus patterns to radiographic identification of unknown human remains. *Osaka City Medicine Journal*, v. 49, p. 31–38, 2003.

TESTUT, L.; JACOB, O. Sinus frontaux. In: *Traite d'Anatomie Topographique avec Applications Medico-Chirurgicales*. [S.l.]: Librarie Octave Doin, Gaston Doin Cie, 1929. p. 29–33.

UTHMAN, A. T. *et al.* Evaluation of frontal sinus and skull measurements using spiral ct scanning: An aid in unknown person identification. *Journal of Forensic Science*, v. 56, n. 2, p. 403–408, 2009.

YAMASHINA, A. *et al.* The reability of computed tomography (ct) values ad dimensional measurements of the oropharyngenal region using cone beam ct: comparison with multidetector ct. *Biomed Research International*, v. 13, 2013.

YOSHINO, M. *et al.* Classification system of frontal sinus patterns by radiography: Its application to identification of unknown skeletal remains. *Forensic Science International*, 1987.

YUKIHIRO, N.; YOSHIMURA, K.; TSUI, S. Post-mortem computed tomography imaging in the investigation of nontraumatic death in infants and children. *Biomed Research International*, v. 13, 2013.