

RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DE TERMOGRAFIAS: AVALIAÇÃO DE MODELOS 3D E SIMETRIA DAS MAMAS

Eudoxia L. S. Moura^{1,2}, Aura Conci¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)
Niterói – RJ – Brazil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO)
Campus Ariquemes, RO – Brazil

eudoxia.moura@ifro.edu.br, aconci@ic.uff.br

Abstract. Esta pesquisa realiza a reconstrução digital da mama em 3D a partir de imagens termográficas 2D e desenvolve uma metodologia objetiva para avaliar essas reconstruções, baseada em 24 medidas que consideram comprimentos, áreas e volumes. Os resultados indicaram diferenças no máximo de 7,5% em relação às imagens térmicas e 6% em comparação com escaneamentos. Além disso, propõe-se uma classificação da simetria mamária utilizando 12 índices, com uma taxa de acerto de 60%. O método demonstra potencial para ampliar a forma de avaliação simples dos exames térmicos além de contribuir para a classificação da simetria mamária.

Resumo. This research performs digital breast supervision in 3D from 2D thermographic images and develops an objective methodology to evaluate these reconstructions, based on 24 measurements consider lengths, areas and volumes. The results indicated differences of up to 7.5% in relation to thermal images and 6% in comparison with scans. In addition, a classification of breast symmetry is proposed using 12 indexes, with an accuracy rate of 60%. The method demonstrates potential to expand the way thermal exams are viewed, in addition to contributing to the classification of breast symmetry.

1. Introdução

A mama é um símbolo de feminilidade e autoimagem para muitas mulheres, desempenhando papel estético e funcional. O câncer de mama, principal causa de morte por câncer entre as mulheres, apresenta alta incidência global, com projeções de aumento devido ao envelhecimento populacional [INCA 2023, Ferlay et al. 2024]. No Brasil, estima-se a ocorrência de 73.610 novos casos entre 2023 e 2025 [INCA 2023]. Chama-se termografia a imagem obtida por câmeras infravermelhas (IR), que têm sido utilizadas no auxílio ao diagnóstico precoce desse tipo de câncer, devido às suas características positivas em relação à mamografia, conforme mostrado na Tabela 1 [Silva et al. 2014].

Tabela 1. Comparativo entre Termografia e Mamografia

Critério	Termografia	Mamografia
Custo	Mais acessível.	Alto custo e manutenção.
Conforto	Não invasiva e indolor.	Compressão dolorosa.
Segurança	Sem radiação.	Uso de radiação ionizante.
Confiabilidade	Detecta alterações precoce em mamas densas.	Alta precisão, mas limitada em mamas densas.

A reconstrução de modelos 3D pode beneficiar o tratamento conservador do câncer de mama e as cirurgias plásticas reconstrutivas pós-mastectomia [Mayer 2020, Viana 2016, Moura et al. 2024]. Este estudo propõe um algoritmo para reconstrução automatizada a partir de imagens térmicas, permitindo melhor visualização das termografias e aprimorando a análise médica. Para avaliar a precisão, é proposta uma metodologia objetiva baseada no alinhamento de reconstruções com modelos obtidos por escaneamento 3D, além da extração de medidas lineares, áreas e volumes. São identificados pontos anatômicos em diferentes vistas, possibilitando uma classificação da simetria mamária.

2. Materiais e Métodos

Para as reconstruções foram usadas as imagens termográficas de cinco voluntárias capturadas conforme o protocolo do Visual Lab DMR-IR [Silva et al. 2014]. Foram usadas imagens de cinco ângulos distintos, ver Figura 1(primeira linha). Essas imagens foram capturadas na Divisão de Design Industrial do Instituto Nacional de Tecnologia (INT).

O escaneamento digital, das mesmas voluntárias, foi realizado utilizando um escâner portátil modelo *EVA*. O processo de varredura iniciou-se pela lateral direita do corpo e concluído pela lateral esquerda, com foco nas regiões de interesse, ou seja, das mamas às axilas. A Figura 1 (segunda linha), apresenta a captura do escaneamento no mesmo ângulo das imagens térmicas.

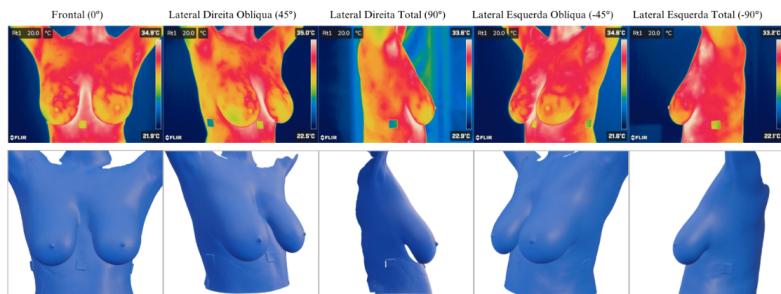


Figura 1. Cinco vistas das imagens termográficas e escaneamento

Para a avaliação da simetria da mama utilizou-se um grupo de 32 exames originais da base de dados DMR-IR e segmentados por rede neural U-net e todas disponíveis no repositório ZENODO¹ [Costa et al. 2023].

2.1. Reconstrução Tridimensional

A pesquisa aprimorou o algoritmo de reconstrução 3D da mama, conforme Costa [Costa et al. 2023], seguindo cinco etapas. Inicialmente, segmentaram-se as imagens térmicas, delimitando as mamas pela região inframamária e altura das axilas. Em seguida, aplicou-se detecção de contornos para destacar a curva inframamária e selecionar três pontos-chave por imagem, usados como referência para rotação e translação.

Esses pontos foram nomeados conforme sua vista (frontal, lateral oblíqua e total) e utilizados no alinhamento geométrico. A vista frontal (0°) definiu a base do plano Z, enquanto as laterais ($\pm 45^\circ$ e $\pm 90^\circ$) foram rotacionadas conforme seus ângulos. Para

¹<https://doi.org/10.5281/zenodo.11073040>

ajuste no eixo X, os pontos-chaves selecionados foram alinhados na origem, e contornos auxiliares do sulco intermamário rotacionados em $\pm 135^\circ$. Assim, garantiu-se precisão na reconstrução tridimensional.

Para acentuar a curva inframamária lateral, foram removidos pontos com coordenada Z (**MZ90**) acima da média dos dois pontos-chaves finais das laterais totais. Isso torna os contornos curvas representando a parte anterior do plano frontal. Para modelar o tórax, criam-se duas curvas laterais a partir da vista de 0° , transladas para **MZ90**, ampliando o formato 3D da mama.

O processo gera nove curvas, incluindo frontais, laterais e auxiliares (Figura 2a). Ajustadas com B-Splines, seus pontos de controle aparecem em azul (Figura 2b). A superfície 3D, criada com NURBS, usa curvas spline de grau 5 nas direções U e V, com incremento de 0,01 [Bingol and Krishnamurthy 2019]. A (Figura 2b) mostra os pontos de controle das splines representado pelos pontos verdes, sendo o modelo final visto no Blender (Figura 2c).

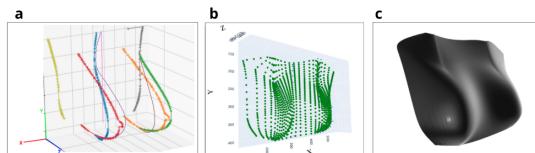


Figura 2. a) Nove curvas b) Superfície Nurbs c) Modelo 3D

2.2. Avaliação das Reconstrução

Este estudo propõe métricas objetivas para avaliar reconstruções mamárias, comparando modelos 3D escaneados e imagens térmicas 2D. A metodologia incluiu seis etapas: alinhamento tridimensional, captura de vistas, segmentação, detecção de pontos, cálculo de medidas (lineares, áreas e volumes) e comparação dos modelos.

O alinhamento foi realizado na Figura 2(c), e a avaliação usa quatro tipos de avaliadores: medidas lineares, área em pixels e elipse, além de volume baseado em elipsoide. Foram definidos 11 pontos de referência nas vistas frontais e laterais.

Na lateral esquerda, o mamilo é identificado pelo ponto mais à direita (**LME**) e a prega inframamária pelo ponto mais abaixo (**LIE**). No lado direito, aplica-se o mesmo método invertido (**LMD**, **LID**). Na vista frontal, sete pontos foram definidos para avaliar na avaliação, a junção das mamas (**FJM**), pregas inframamárias (**FIE**, **FID**), extremidades do tórax (**FTE**, **FTD**) e pontos centrais (**FCE**, **FCD**).

Com a identificação dos pontos de avaliação, é possível calcular as distâncias horizontais e verticais. A avaliação das áreas é realizada ajustando as mamas a elipses e comparando as áreas resultantes entre reconstrução e escaneamento. Para as vistas frontais, calcula-se a quantidade de pixels brancos abaixo do ponto de junção intermamária, separando as áreas das mamas esquerda e direita. O volume das mamas é estimado com base no volume de um elipsoide, formado por combinações de distâncias lineares extraídas das imagens frontais e laterais. São testadas duas abordagens: uma baseada em medidas frontais e outra em medidas laterais, garantindo uma avaliação detalhada das diferenças entre reconstrução e escaneamento, ver Figura 3.

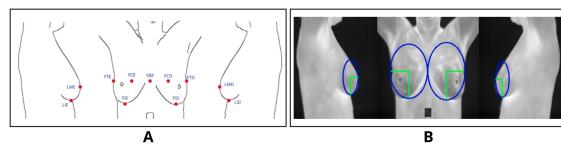


Figura 3. (A)Pontos de avaliação. (B)Elipses ajustadas à mama

2.3. Classificação da Simetria

A metodologia de avaliação proposta baseia-se na abordagem previamente utilizada para reconstrução, mas agora comparando a mama direita e a esquerda da mesma voluntária, em vez de modelos distintos. A análise de simetria foi realizada a partir das segmentações de imagens obtidas nas vistas frontal, lateral direita total e lateral esquerda total, utilizando um conjunto de dados composto por 27 voluntárias do banco de dados Visual Lab. As imagens foram redimensionadas para 256×256 pixels e segmentadas semanticamente com uma redes neurais convolucionais (U-Net), conforme estudos anteriores [Costa 2020, Henriger and Pinto 2022].

Foram analisadas sete medidas lineares, três de área e duas de volume, a diferença entre as mamas foi calculada. Para corrigir variações na distância entre a voluntária e a câmera, utilizou-se um adesivo isolante térmico de referência (2,5 cm de lado), permitindo a normalização das medidas. A validação do método contou com a opinião e 28 pessoas especialistas em termografia mamária, que classificaram as imagens em três categorias: simétricas (S), assimétricas (A) e dúvida (D). Entre as 34 voluntárias analisadas, 9 foram classificadas como simétricas, 6 como assimétricas e 19 permaneceram no grupo de dúvida, evidenciando a necessidade de estudos adicionais sobre o tema.

3. Resultados

Uma avaliação subjetiva pode ser feita comparando “mama a mama” nos resultados finais das reconstruções com as imagens de infravermelho térmico e escaneamento. A Figura 4 mostra as reconstruções sobrepostas ao escaneamento: à esquerda, a reconstrução anterior (cinza) e à direita, a reconstrução proposta nessa metodologia (verde). Comparando visualmente, observa-se que não houve mudanças significativas na forma da superfície das reconstruções, mas sim no volume da superfície geral da mama.

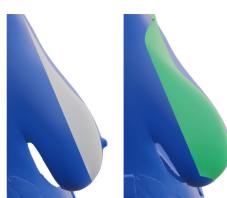


Figura 4. Alinhamento das reconstrução com escaneamento

A avaliação objetiva consiste em calcular a diferença relativa das medidas lineares, de área e de volume entre a reconstrução e o escaneamento e entre a reconstrução e a imagem térmica, ver Tabela 2.

A média das diferença relativa entre a reconstrução de [Costa et al. 2023] obteve uma melhoria de 0,5% comparando com a térmica e 0,6% comparando com o escanea-

Tabela 2. Diferença relativa entre os modelos consolidada

Voluntária	Comparação	RM/T	RM/E	RC/T	RC/E	T/E
1	Area	7,5%	5,4%	7,6%	6,1%	2,3%
1	Linear	6,4%	4,8%	6,5%	5,9%	2,7%
1	Volume	1,0%	1,0%	2,0%	1,8%	0,7%
2	Area	1,8%	6,0%	2,2%	6,4%	4,4%
2	Linear	2,3%	4,9%	2,8%	5,3%	3,1%
2	Volume	1,4%	2,3%	2,3%	3,2%	1,1%
3	Area	5,4%	4,6%	5,9%	5,2%	1,3%
3	Linear	5,0%	4,4%	5,8%	5,2%	1,9%
3	Volume	2,1%	1,9%	2,8%	2,6%	0,6%
4	Area	5,3%	3,4%	5,7%	3,7%	2,7%
4	Linear	6,4%	4,2%	6,8%	4,7%	3,3%
4	Volume	3,4%	2,7%	4,0%	3,3%	0,7%
5	Area	5,3%	3,8%	5,2%	4,4%	2,6%
5	Linear	5,5%	3,4%	5,8%	3,9%	3,8%
5	Volume	1,7%	1,9%	2,2%	2,6%	0,5%
Média		4,0%	3,7%	4,5%	4,3%	2,1%

mento. Esses resultados indicam que as melhorias desenvolvidas neste algoritmo trazem benefícios em relação à abordagem anterior.

A metodologia de classificação da simetrica utiliza 12 índices de simetria, onde valores menores indicam maior simetria mamária e valores maiores, maior assimetria. Comparando duas metodologias, houve 59% de concordância (20 classificações idênticas). Das 9 voluntárias consideradas simétricas na avaliação subjetiva, o método objetivo acertou 5 (56%), enquanto para as 6 voluntárias assimétricas, acertou 1 (17%).

Tabela 3. Comparação entre os agrupamentos de medidas

Grupo	Geral	Geral %	Sem D	Sem D %	E	S %	A	A %
Áreas e Volumes	16	47%	7	47%	5	56%	1	17%
Frontal	15	44%	4	27%	2	22%	1	17%
Lateral	13	38%	9	60%	6	67%	3	50%
Lineares	22	65%	4	27%	4	44%	0	0%
Todas	20	59%	7	47%	5	56%	1	17%

4. Conclusão

Ao aprimorar o algoritmo de reconstrução, buscou-se dar continuidade à lacuna de pesquisa identificada por [Costa et al. 2023], visando melhorar a representação do volume das mamas e realizar comparações com modelos obtidos por escaneamento. A principal modificação foi no uso dos pontos de controle das vistas de 90 graus. Anteriormente, pontos com coordenadas Z maiores que as dos pontos-chave que representa a curva inframamária eram descartados. Na abordagem atual, descarta-se os pontos maiores que a média das coordenadas dos pontos finais, melhorando a representação da curva inframamária lateral. Os resultados obtidos representam avanços na reconstrução 3D baseada em computação gráfica, contribuindo para a reconstrução tridimensional da mama e tornando a visualização 3D dos exames termográficos mais acessível. No entanto, é importante dar continuidade às investigações para alcançar resultados ainda mais próximos aos obtidos por escaneamento, explorando a utilização de outras técnicas de segmentação de imagens, como redes neurais convolucionais, a fim de aprimorar a precisão da segmentação das mamas. Por fim desenvolveu-se uma metodologia de avaliação comparando as reconstruções com modelos obtidos por escaneamento que obteve um resultado com até 56% de acerto se comparado com a resposta dos especialistas.

AGRADECIMENTOS

E.L.S.M. é apoiada pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO). A.C. é apoiada em parte pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (pro-

jeto INCT - MACC), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob o processo 307638/2022-79, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) através dos projetos CNE, e-Health Rio e Digit3D (“temáticos”) [Digit3D projects 2023].

Referências

Bingol, O. R. and Krishnamurthy, A. (2019). An open-source object-oriented NURBS modeling framework in Python. *SoftwareX*, 9:85–94.

Costa, G. (2020). Construção automatizada de modelos tridimensionais da região das mamas a partir de imagens térmicas. Master’s thesis, Universidade Federal do Maranhão.

Costa, G., Moura, E., Borchartt, T., and Conci, A. (2023). Modeling the 3d breast surface using thermography. In Kakileti, S., Manjunath, G., Schwartz, R., and Frangi, A., editors, *Artificial Intelligence over Infrared Images for Medical Applications. AIIIMA 2023*, volume 14298 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Cham.

Digit3D projects (2023). Digit3d projects. Acessado em 8 de novembro de 2023.

Ferlay, J., Laversanne, M., Ervik, M., Lam, F., Colombet, M., Mery, L., Piñeros, M., Znaor, A., Soerjomataram, I., and Bray, F. (2024). Observatório global do câncer: Câncer amanhã (versão 1.1). <https://gco.iarc.fr/tomorrow>. Acessado 15 de abrel de 2024.

Henriger, G. P. and Pinto, S. C. D. (2022). Segmentação multi-classes em termografias mamárias utilizando redes profundas.

INCA (2023). *Estimativa 2023: incidencia de câncer no Brasil*. INCA, Rio de Janeiro. Ilustrado.

Mayer, H. (2020). O uso de um software simulador 3d e biomodelos impressos em 3d para auxiliar na reconstrução autóloga da mama. *Aesth Plast Surg*, page 1396–1402.

Moura, E., Costa, G., Borchartt, T., and Conci, A. (2024). A tool for 3d representation of the 2d thermographic breast acquisitions. In *Nos Anais da 19ª Conferência Conjunta Internacional sobre Visão Computacional, Teoria e Aplicações de Imagens e Computação Gráfica - Volume 4: VISAPP*, pages 138–146. SciTePress.

Silva, L., Saade, D. C. M., Sequeiros, G. O., Silva, A. C., Paiva, A. C., Bravo, R. S., and Conci, A. (2014). A new database for mastology research with infrared image. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 4(1):92–100.

Viana, M. (2016). *Reconstrução Tridimensional da Mama Feminina a partir de Imagens Médicas por Infravermelho com Auxílio de Geometrias Substitutas*. PhD thesis, Universidade Federal de Pernambuco.