



ADRIANO RIBEIRO ORTIZ

**TERMOGRAFIA APLICADA AO DIAGNÓSTICO DE CÂNCER DE MAMA:
PROPOSTA DE UMA NOVA ABORDAGEM METODOLÓGICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

São José dos Campos, junho de 2022

ADRIANO RIBEIRO ORTIZ

**TERMOGRAFIA APLICADA AO DIAGNÓSTICO DE CÂNCER DE MAMA:
PROPOSTA DE UMA NOVA ABORDAGEM METODOLÓGICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da
Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica

Orientador: Prof. Dr. Leandro P. Alves
Universidade Anhembi Morumbi

São José dos Campos, junho de 2022.

ADRIANO RIBEIRO ORTIZ

**TERMOGRAFIA APLICADA AO DIAGNÓSTICO DE CÂNCER DE MAMA:
PROPOSTA DE UMA NOVA ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica aprovada pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leandro P. Alves

Orientador
Mestrado em Engenharia Biomédica
Universidade Anhembi Morumbi

Prof.^a Dra. Diana Renata Gonçalves Gama

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP

Prof. Dr. Carlos José de Lima

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Renato Amaro Zângaro

Universidade Anhembi Morumbi

Prof.^a Dra. Adriana Barrinha Fernandes Moretti

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Henrique Cunha Carvalho

Associação Centro de Inovação, Tecnologia e Educação, CITÉ, Brasil.

São José dos Campos, junho de 2022.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da Universidade, do autor e do orientador.

ADRIANO RIBEIRO ORTIZ

Engenheiro em Eletrônica, formado pela Universidade Paulista UNIP em janeiro de 2015.
Coordenador do Depto. de Engenharia Clínica e Hospitalar do Hospital São Francisco de Assis de maio de 2012 até o momento.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca UAM com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

77t Ortiz, Adriano Ribeiro
Termografia aplicada ao diagnóstico de câncer de mama: proposta de uma nova abordagem metodológica / Adriano Ribeiro Ortiz. - 2022.
63f. : il.; 30cm.

Orientador: Leandro Procópio Alves.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Anhembi Morumbi, São José Dos Campos, 2022.
Bibliografia: f.60

1. Engenharia Biomédica. 2. Termografia. 3. Câncer de Mama.
4. Métodos Diagnósticos. 5. Diagnóstico Precoce.
CDD 610.28

Aleksandra Oliveira - CRB 8/6302

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Ariane A. M. Ortiz por seu apoio, amor e dedicação, aos meus filhos Joaquim Leal, Victor Leal e Isadora Leal, pela paciência e compreensão de minha ausência, para que eu pudesse me dedicar a este trabalho.

Agradeço a minha irmã Flávia Aparecida R. Ortiz e minha mãe Maria José Ribeiro pelo amor e apoio.

Agradeço ao Hospital São Francisco de Assis, principalmente a Mara C. de V. Liberato, Sergio S. Leite e Dra. Elizabeth K. Cerqueira por me apoiarem, por me indicarem para a bolsa de estudos e permitirem que eu pudesse realizar este trabalho, por vários momentos tendo o período conflitante com minhas atividades profissionais.

Também agradeço ao Prof. Dr. Leonardo G. Secco por sua contribuição e as técnicas em radiologia Isadora Castro, Edileuza A. de O. Silva e Fabiana Santos que foram fundamentais para a coleta dos termogramas obtidos neste estudo.

Agradeço aos amigos e companheiros de equipe da Engenharia do HSFA de Jacareí.

Agradeço ao meu orientador Leandro P. Alves por todo o apoio, parceria e dedicação em dividir seu conhecimento, me orientar e ajudar durante todo o percurso.

Agradeço a empresa Teledyne Flir, em especial ao Sr. Bruno Cunha por me ceder a licença gratuitamente dos softwares ResearchIR e Flir Research Studio pelo período de 1 ano para a realização desta pesquisa.

Não posso deixar de agradecer as pacientes voluntárias, que contribuíram de maneira tão generosa e sensível para que pudéssemos conduzir este trabalho.

Agradeço à Universidade Anhembi Morumbi pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

O câncer de mama é um dos tipos de câncer que mais acomete as mulheres no Brasil e no mundo, estimativas publicadas pelo INCA (2019), apontam ainda que para cada ano do triênio de 2020 a 2022, deverão ocorrer algo em torno de 66 mil novos casos de câncer de mama, correspondendo a um risco estimado de cerca de 62 casos para cada 100.000 mulheres. Seu diagnóstico precoce é fundamental para um bom prognóstico, favorecendo o tratamento e recuperação. No entanto o câncer de mama tem por uma de suas características ser uma doença silenciosa, que pode evoluir sem que haja sintomas facilmente perceptíveis. Um dos problemas encontrados para a realização do diagnóstico precoce, é a dificuldade em se obter, pelos métodos tradicionais o diagnóstico para mamas de mulheres mais jovens, que possuem maior densidade dificultando a obtenção de imagens com boa qualidade. A termografia surge então como alternativa para buscar contribuir para o diagnóstico, mas encontra fatores delimitantes, dentre eles a sobreposição de tecidos causada pela própria gravidade, já que nos métodos tradicionais os registros termográficos são realizados com a paciente em posição vertical, podendo ocorrer a presença de artefatos térmicos; O objetivo deste trabalho foi testar a eficácia de uma nova abordagem metodológica, na qual se buscou, através de um aparato adequado, realizar registros termográficos com as pacientes em posição de decúbito ventral, através de uma maca adaptada, com uma abertura na região das mamas; as imagens termográficas foram obtidas então de maneira que, com as mamas para baixo, a sobreposição tecidual das mamas fosse anulada, além de contribuir para o resfriamento homogêneo das mamas, fator determinante para melhorar o contraste térmico entre as regiões saudáveis e aquelas acometidas por lesões. O método proposto foi comparado com o protocolo tradicional de termografia em mamas. Para avaliar se houve melhoria de contraste nas regiões de hiper radiância, foram utilizados gráficos do tipo *box-plot* e histogramas. O resultado apresentou diferença significativa e visualmente perceptível, além de ter sido demonstrado pelos gráficos, que se obteve uma maior distribuição de frequências no espectro de temperaturas.

Palavras Chave: Engenharia Biomédica, Termografia, Câncer de Mama, Métodos Diagnósticos, Diagnóstico Precoce.

THERMOGRAPHY APPLIED TO BREAST CANCER DIAGNOSIS: PROPOSAL FOR A NEW METHODOLOGICAL APPROACH

ABSTRACT:

Breast cancer is one of the types of cancer that most affects women in Brazil and in the world. Statistics published by INCA (2019), also indicate that for each triennium year from 2020 to 2022, something around 66 thousand new cases of breast cancer will occur, reaching an estimated risk of 61.61 cases per 100,000 women. Its early diagnosis is essential for a good prognosis, favoring treatment and recovery. However, breast cancer used to be a silent disease as its main characteristic, which can evolve without easily perceptible symptoms. One of the encountered problems in carrying out an early diagnosis, is the difficulty in obtaining, by traditional methods, an accurate diagnosis for younger women breasts, whose higher density characteristic, makes it difficult to obtain good quality images and therefore, crucial to the diagnosis. Thermography emerges as a very good alternative associated with seeking a diagnosis, but it finds delimiting factors, among them the overlapping of tissues caused by gravity, since in traditional methods, thermographic records are performed with the patient in an upright position, sitting or standing, and the presence of thermal artifacts may occur; The objective of this work is to propose and test the effectiveness of a new methodological approach, in which it was sought, through an adequate apparatus, to perform thermographic records with the patients in the prone position, through an adapted stretcher, with an opening in the breasts region. So, the thermographic images were then obtained with the breasts down to cancel the tissue overlap of the breasts. In addition, it contributes to the homogeneous cooling of the breasts, a factor that is decisive to improve a thermal contrast between the healthy regions and those affected by injuries. The proposed method was compared with the traditional breast thermography protocol. To evaluate whether there was an improvement in contrast in the regions of hyper radiance, box-plot and histograms were used. The result showed a significative and visually perceptible difference, in addition to having been demonstrated by the graphs, a greater distribution of frequencies in the temperature spectrum was obtained.

Keywords: Biomedical engineering, thermography, breast cancer, diagnostic methods, early diagnosis.

SUMÁRIO

1	Introdução	13
2	Objetivo	16
2.1.	Objetivo geral	16
2.2.	Objetivos Específicos	16
3	Fundamentação Teórica.....	16
3.1.	Anatomia e composição da mama	17
3.2.	Tipos de mamas	18
3.3.	Doenças da mama	19
3.4.	Câncer de mama	21
3.5.	Métodos de diagnóstico por imagem.....	23
3.6.	Diretrizes atuais para rastreamento e diagnóstico precoce de câncer de mama no Brasil	26
3.7.	Termografia	28
3.8.	Termografia e câncer de mama.....	30
3.9.	Protocolos por Método Estático.....	32
3.10.	Protocolos por Método Dinâmico.....	32
4	Metodologia.....	33
4.1.	Projeto do aparato para realização do protocolo 2	34
4.2.	Testes para determinação da superfície refletora	35
4.3.	Testes para determinação do fator de correção para as temperaturas refletidas. 36	
4.4.	Testes de posicionamento da paciente na maca e da posição da câmera.	38
4.5.	Pré-requisitos e preparações:.....	38
4.6.	Protocolo 1	40
4.7.	Protocolo 2	42
4.8.	Processamento das Imagens	43
5	RESULTADOS	44
5.1.	Aparato construído para realização do protocolo 2	44
5.2.	Determinação da Superfície Refletora.....	45

5.3.	Determinação do fator de correção	47
5.4.	Registro termográfico das mamas.....	50
5.5.	Geração de gráficos e tabela dos termogramas.....	52
6	Discussão	56
7	Conclusão	58
8	Trabalhos futuros.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Anatomia da Mama	18
Figura 2: Imagens mamográficas de padrões mamários quanto ao tipo de concentração de tecido adiposo: (A) mama adiposa; (B) mama predominantemente adiposa; (C) mama predominantemente densa. (D) mama densa. Fonte: (BRASIL, 2018)	19
Figura 3: Esquema ilustrativos dos tipos de tumores quanto a malignidade.	22
Figura 4: Ilustração do procedimento de mamografia com a compressão da mama.	24
Figura 5: Distribuição de potência de emissividade e comprimento de onda.	29
Figura 6: Termograma das mamas obtido através do método tradicional.	31
Figura 7: Esquema do aparato projetado para realização dos exames. A- Superfície refletora inclinada a 45 C° do piso. B- Abertura para posicionamento das mamas. C- Maca adaptada. D- Câmera posicionada para vista frontal e E- Câmera posicionada para vista lateral. Fonte: Autor.....	35
Figura 8: Teste para definição da superfície refletora. A- Obtenção da imagem termográfica direta. B- Obtenção da imagem termográfica refletida. Fonte: Autor...	36
Figura 9: Teste para definição do fator de correção das temperaturas refletidas. Fonte: Autor.....	37
Figura 10: Determinação dos ROI's para determinação do fator de correção	37
Figura 11: Esquema do posicionamento da paciente para o protocolo 1	40
Figura 12: Demarcação do piso para referência do posicionamento da paciente. Fonte: Autor.....	41
Figura 13: Posicionamento das pacientes no protocolo 1. (a)- vista frontal. (b)- vista lateral esquerda. (c)- vista lateral direita. (d)- vista oblíqua esquerda. (e)- vista oblíqua direita. Fonte: Autor.	41
Figura 14: Esquema do posicionamento da paciente na maca para o protocolo 2. Fonte: Autor.....	42
Figura 15: Aparato utilizado para realização do exame durante o protocolo 2. Fonte: Autor.....	44
Figura 16: Termogramas comparativos de um objeto aquecido com temperatura constante. (a)Termograma direto. (b)Termograma refletido no vidro. (c)Termograma refletido no alumínio. (d)Termograma refletido no aço inox. Fonte: Autor.....	45

Figura 17: Determinação do ROI para comparação das imagens.....	46
Figura 18: Box-plots das matrizes termográficas para os diferentes materiais utilizados.	46
Figura 19: Histograma da distribuição das temperaturas (em °C).....	47
Figura 20: Imagens de registro termográfico diretos e refletidos para obtenção do fator de ajuste. (a) Imagem Direta Voluntario 1, (b) Imagem Refletida Voluntário 1, (c) Imagem Direta Voluntario 2, (d) Imagem Refletida Voluntário 2. Fonte: Autor.....	48
Figura 21: Termogramas protocolos 1 e 2. (a) Paciente 2, protocolo 1. (b) Paciente 2, protocolo 2. (c) Paciente 07, protocolo 1. (d) Paciente 07, protocolo 2. (e) Paciente 11, protocolo1. (f) Paciente 11, protocolo 2. (g) Paciente 12 protocolo 1. (h) Paciente 12 protocolo 2. Fonte: Autor.	51
Figura 22: Redução da hiper radiância. (a) Protocolo 1 com hiper radiância. (b) Protocolo 2 hiper radiância reduzida. Fonte: Autor.....	52
Figura 23: Box-plots das matrizes térmicas obtidas dos ROI's: à esquerda de cada par de box-plots a representação dos dados obtidos com o protocolo 1 e à direita com o protocolo 2. Fonte: Autor.	53
Figura 24: Histogramas comparativos pacientes 1 a 8. Em cinza o histograma resultante do protocolo 1 e em azul o histograma referente ao protocolo 2. Fonte: Autor.....	54
Figura 25: Histogramas comparativos pacientes 9 a 14. Em cinza o histograma resultante do protocolo 1 e em azul o histograma referente ao protocolo 2. Fonte: Autor.....	55

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1: Código dos registros e respectivos ROI's. Fonte: Autor	44
Tabela 1: Comparação das temperaturas direta e refletida dos ROI's em ambos voluntários.	49
Tabela 2: Variação percentual dos parâmetros estatísticos entre o protocolo 1 e protocolo 2.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP Comitê de Ética em Pesquisa

CONEP Comissão Nacional de Ética em Pesquisa

CSV Comma Separated Values (valores separados por vírgulas)

MC Posição de decúbito ventral sobre a maca (protocolo 2)

MD Mama Direita

ME Mama Esquerda

PE Posição em pé (protocolo 1)

ROI Region of Interest (Região de Interesse)

SUS Sistema Único de Saúde

1 Introdução

Estudos recentes apontam o câncer de mama, como um dos tipos de câncer com maior incidência no Brasil e no mundo; no Brasil, considerando-se o público feminino, fica atrás apenas dos cânceres de pele não melanoma, sendo um dos tipos de cânceres com maior taxa de mortalidade entre as mulheres brasileiras, com 16,04 óbitos a cada 100 mil mulheres (OLIVEIRA; SENNA, 2021). Estimativas publicadas pelo INCA (2019), apontaram ainda que para cada ano do triênio de 2020 a 2022, deverão ocorrer algo em torno de 66 mil novos casos de câncer de mama, correspondendo a um risco estimado de cerca de 61,61 casos para cada 100.000 mulheres. Segundo Migowski et al. (2018), nas últimas três décadas ocorreu o aumento da mortalidade por esta doença, cuja maior incidência deve estar associada a urbanização e conseqüentemente às mudanças no estilo de vida da população, o que aumenta a exposição das mulheres aos fatores de risco mais conhecidos: idade avançada da primeira gestação, baixo índice de paridade e períodos mais curtos de amamentação, além do envelhecimento populacional. Tais fatores, por serem de menor possibilidade de atuação dos órgãos de saúde, inviabilizam a prevenção como estratégia de política pública.

Um outro fator desfavorável e característico da doença é a ausência de sintomas iniciais, levando assim a sua evolução silenciosa que muitas vezes acaba por ser descoberta em estágio avançado, o que dificulta o tratamento (MILOSEVIC et al., 2018).

A opção mais efetiva no que tange a ação dos órgãos públicos, passa então a ser o estímulo à detecção e tratamento precoces, uma vez que esta é uma doença cujo diagnóstico em sua fase inicial irá contribuir significativamente com uma maior chance de recuperação (SINGH; SINGH, 2020); No entanto, apesar de todo avanço científico e tecnológico, estudos demonstram que em países de baixa e média renda, os tumores mamários são detectados tardiamente, o que dificulta significativamente o tratamento e portanto as chances de cura; como exemplo, no Brasil os cânceres de mama são detectados precocemente em apenas cerca de 20% dos casos, já em países desenvolvidos como os Estados Unidos, a detecção precoce ocorre em cerca de 60% dos casos (GIOIA, 2017). Considerando ainda a significativa diferença percentual entre estes dois casos, não se pode ignorar que em 40% dos casos,

mesmo em países desenvolvidos como os Estados Unidos, não se obtém o diagnóstico precoce, o que pode determinar desfechos desfavoráveis dada a dificuldade em se tratar e curar tumores malignos avançados, e isso é ainda pior em países com baixo e médio desenvolvimento econômico onde o número de diagnósticos com câncer em estado mais avançados estariam em torno de alarmantes 80%.

É importante distinguir entre exames de rastreamento e diagnóstico precoce: enquanto exames de rastreamento são realizados em mulheres assintomáticas, buscando-se por indícios da doença antes mesmo de manifestações perceptíveis, o diagnóstico precoce é realizado logo nos primeiros sinais manifestados da doença, ou seja, após a manifestação de sintomas iniciais (MIGOWSKI; DIAS, 2015).

O método atualmente recomendado para a realização dos exames de rastreamento do câncer de mama (mulheres assintomáticas) é a mamografia, que utiliza radiação ionizante. A recomendação atual das diretrizes nacionais de rastreamento é que os exames preventivos sejam realizados em periodicidade bienal, em mulheres entre 50 e 69 anos, isso porque os estudos demonstram não haver efetividade fora desta faixa etária (MIGOWSKI et al., 2018). Também devemos considerar o desconforto e a exposição à radiação como fatores relevantes, já que em periodicidade inferior a 2 anos não se tem ganho estatisticamente significativo para a aplicação da mamografia, e estudos demonstraram que existe um aumento do risco associado a radiação ionizante que pode induzir o câncer de mama quando há realização periódica. Este risco pode ser reduzido em até 5 vezes quando realizado em mulheres acima de 50 anos com periodicidade bienal (MIGLIORETTI et al., 2016).

As neoplasias são identificadas nos exames de mamografia, como massas de maior densidade; considerando que em mulheres mais jovens, abaixo de 50 anos, as mamas são normalmente mais densas, pela maior presença de tecido glandular, existe um grande desafio em se identificar tumores para estas mulheres, dificultando assim a possibilidade de diagnóstico precoce (MATOS, 2017).

Uma outra dificuldade está no fato de que o exame de mamografia, por necessitar de uma tecnologia cara e, portanto, restrita a menos centros de saúde, acaba por agravar a situação de pacientes com menos recursos. Estudos apontam que enquanto o intervalo de tempo entre a suspeita do câncer de mama e o diagnóstico é em média de 31,7 dias para pacientes que realizam o exame através de

recursos próprios, para pacientes com convênios este intervalo passa ser em média de até 68,9 dias, e para pacientes que utilizam o Sistema Único de Saúde (SUS) o intervalo está em torno de 93,4 dias (BUZAID et al., 2020).

Apesar da conclusão aparentemente óbvia de que a detecção precoce seria a alternativa mais viável para reduzir os altos e crescentes índices de mortalidade, uma vez que o câncer de mama é mais fácil de ser tratado em sua fase inicial, uma análise mais cautelosa na literatura disponível, aponta não haver sinais de redução significativa de mortalidade com aplicação em larga escala de exames de rastreamento, isso ainda é menos eficaz para mulheres abaixo de 50 anos sem fatores de riscos associados, onde os exames de rastreamento tem se mostrado, segundo os estudos, com mais potencial danoso do que benéfico, considerando os riscos de sobrediagnóstico e sobretratamento, bem como suas consequências físicas e psicológicas (KLARENBACH et al., 2018).

A termografia surge assim como uma importante ferramenta buscando contribuir para a realização do diagnóstico precoce, uma vez que se trata de uma abordagem indolor, sem contato, sem presença de radiação ionizante, e com custo muito inferior quando comparado a mamografia (SINGH; SINGH, 2020). A termografia é um método de representação gráfica da temperatura de uma superfície. O uso da termografia para identificar sinais de tumores nas mamas está relacionado ao aumento de temperatura em tecidos tumorais; este aumento de temperatura é causado por um aumento no metabolismo celular, bem como pelo processo de angiogênese desencadeado pelo tumor (SOCIETY, 2021).

Diversos estudos têm contribuído a fim de buscar melhorias nos resultados que se referem a utilização da termografia para diagnóstico do câncer de mama; os principais métodos utilizados em estudos encontrados na literatura são os métodos por termografia de mama estática e termografia dinâmica, sendo os dois abordados mais adiante no capítulo referente a fundamentação teórica.

Em ambos os casos abordados na literatura, as pacientes ficam em pé para a realização dos registros. Isso nos leva ao principal e mais específico desafio do presente trabalho: pois com a paciente em posição vertical, ocorre uma natural sobreposição dos tecidos mamários ocasionada pela gravidade, causando interferência térmica entre os próprios tecidos mamários, bem como da região inframamária, podendo ocorrer a presença de artefatos térmicos e prejudicando assim

a qualidade dos termogramas de mamas. Estudos anteriores também evidenciaram a relevância da deformação geométrica da mama com relação a interferência na distribuição da temperatura da mama, impondo obstáculos significativos na modelagem necessária para identificação das lesões nas mamas (JIANG; ZHAN; LOEW, 2011).

2 Objetivo

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é propor um novo protocolo para aquisição de termogramas, para complemento diagnóstico do câncer de mama que possibilite um melhor contraste térmico entre os tecidos tumorosos e saudáveis, além de eliminar os artefatos térmicos indesejáveis provenientes da sobreposição de tecidos existente nos métodos atuais.

2.2. Objetivos Específicos

- Projeto e construção de um aparato para realização do protocolo proposto;
- Avaliar a capacidade reflexiva de diferentes materiais;
- Padronizar a coleta de imagens termográficas em posição decúbito ventral;
- Auxiliar na obtenção de banco de dados de imagens termográficas de mamas, para evolução nos sistemas de suporte diagnósticos.

3 Fundamentação Teórica

Para que as próximas etapas deste estudo possam ser melhor compreendidas, é importante o entendimento de alguns conceitos e informações gerais acerca da anatomia da mama, suas possíveis lesões benignas ou malignas, bem como o funcionamento da termografia e sua aplicação na medicina e, mais especificamente o que possibilita os bons resultados alcançados nos estudos que utilizaram a termografia para diagnóstico precoce em câncer de mama.

3.1. Anatomia e composição da mama

As mamas são estruturas glandulares localizadas na região anterior superior do tórax, formadas por: tecido glandular epitelial sendo este a própria glândula ou parênquima; tecido adiposo; tecido fibroso ou estroma que circunda e atravessa o tecido glandular (BERNARDES, 2011).

As mamas femininas possuem mais tecido glandular do que as mamas masculinas, desempenham papel fundamental de nutrição para os recém nascidos, são órgãos glandulares de extrema sensibilidade às alterações hormonais do corpo, além de propiciar prazer sexual (AKRAM et al., 2017).

As mulheres mais jovens possuem mamas mais densas e firmes devido a uma maior quantidade de tecido glandular, na menopausa ocorre então a atrofia do tecido mamário sendo substituído gradativamente por tecido gorduroso ficando alguns resquícios apenas de tecido glandular no período pós menopausa (BRASIL, 2002).

O tecido glandular é constituído por 12 a 20 lobos, estes por sua vez formados por lóbulos os quais são constituídos por ácinos, sendo cada lobo drenado por um canal próprio excretor, chamado de canal lactífero. Os canais lactíferos são independentes e sinuosos, dirigindo-se todos para a papila (mamilo). O tecido glandular possui contornos frequentemente irregulares, com saliências denominadas prolongamentos mamários dentre os quais destacam-se de acordo com sua posição os prolongamentos: superior, axilar medial, inferior ou epigástrico, ínfero-externo e por último o prolongamento mais frequente e bem desenvolvido chamado de prolongamento axilar (BERNARDES, 2011).

O tecido adiposo é subcutâneo e envolve a glândula por completo, pode ser dividido em duas principais partes: a anterior e superficial situada entre a glândula e a pele, e parte posterior ou profunda, denominada bolsa serosa ou espaço retromamário. (BERNARDES, 2011).

O tecido conjuntivo fibroso vai desde a bolsa serosa retromamária até a derme, sendo bem desenvolvida na parte superior da mama auxiliando a sustentação dos lobos o que é denominado de ligamento suspensor da mama (BERNARDES, 2011).

A **Figura 1** , destaca as principais partes mencionadas.

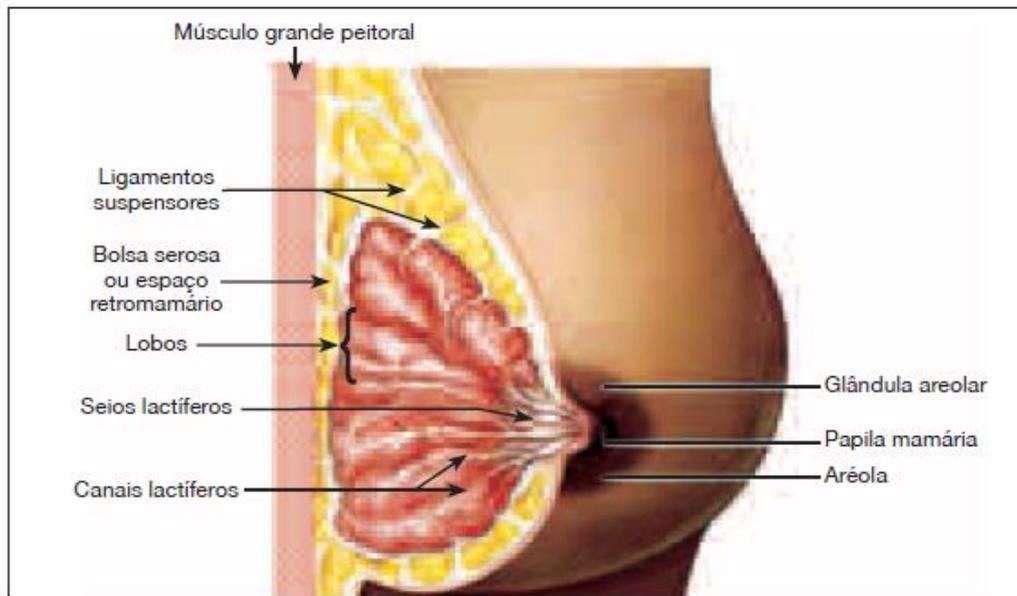


Figura 1: Anatomia da Mama

Fonte: (BERNARDES, 2011).

3.2. Tipos de mamas

O tipo de mama em geral, tendo em vista sua densidade e composição é descrito através de seu grau de substituição tecidual. Sendo que o parênquima, de acordo com a idade involui de maneira progressiva, este é um processo dinâmico e chamado de substituição do parênquima, apesar de não haver substituição de fato, mas sim involução como anteriormente citado (BRASIL, 2018).

Também é possível afirmar que a distribuição dos parênquimas nas mamas apresenta-se em geral de forma simétrica quanto a densidade e morfologia, no entanto podem ocorrer assimetrias em até 3% dos casos, esta anormalidade pode ser causada por alterações cirúrgicas, terapia de reposição hormonal ou mesmo uso de contraceptivos (LOUVEIRA et al., 2004).

O parênquima no caso das mulheres mais jovens ocupa toda a mama. A descrição da tipologia mamária de acordo com a densidade é a seguinte: Mamas densas são mamas com pouca ou nenhuma substituição adiposa; Mamas predominantemente densas são mamas com menos de 50% de substituição adiposa; Mamas predominantemente adiposas são mamas com substituição adiposa superior a 50% e finalmente mamas adiposas, que possuem substituição adiposa quase em sua totalidade (BRASIL, 2018).

Na **Figura 2** pode-se verificar os diferentes tipos de mamas, segundo sua substituição parenquimal.

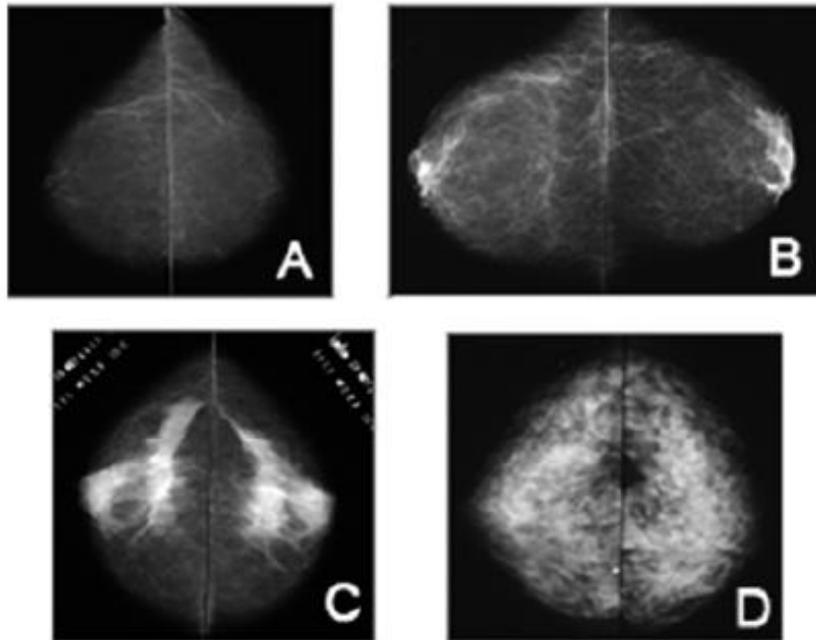


Figura 2: *Imagens mamográficas de padrões mamários quanto ao tipo de concentração de tecido adiposo: (A) mama adiposa; (B) mama predominantemente adiposa; (C) mama predominantemente densa. (D) mama densa. Fonte: (BRASIL, 2018)*

De acordo com a densidade da mama, conforme mencionado anteriormente, pode ocorrer maior dificuldade em se evidenciar alterações durante exames de rastreamento ou diagnóstico precoce através dos métodos atualmente disponíveis, sendo atualmente recomendada a ultrassonografia para mamas mais densas. Porém como veremos adiante, a ultrassonografia de mama possui baixa especificidade e ainda baixa sensibilidade quando utilizada exclusivamente (YUAN et al., 2020).

3.3. Doenças da mama

A mama poderá ser afetada por doenças malignas e benignas, sendo que a maior parte das alterações que podem ocorrer nas mamas são benignas e cerca de 3% dos casos poderão estar associados ao câncer de mama (STACHS et al., 2019)

Para abordar as doenças malignas da mama é necessária uma visão geral das doenças benignas, fundamentando assim uma sistematização diagnóstica, necessária para uma maior especificidade nos métodos diagnósticos disponíveis e propostos.

Alteração funcional: dentre as anomalias benignas que podem ocorrer nas mamas destaca-se aquelas provocadas por alterações hormonais, especialmente o estrogênio, progesterona e prolactina, sendo que, de acordo com a ação hormonal correspondente, o epitélio e o estroma poderão sofrer proliferação ou involução. Por exemplo durante o ciclo menstrual, algumas mulheres se queixam de dor, sendo que estas alterações representam uma resposta fisiológica às alterações hormonais, não sendo, portanto, uma doença real (BRASIL, 2018).

Alterações fibrocísticas: caracterizam-se pelo aparecimento de cistos nas mamas, múltiplos e de tamanhos diversos (BRASIL, 2018). Sua ocorrência é bastante comum podendo afetar até 50% das mulheres a partir dos 30 anos, sendo que cerca de 20% de macro cistos podem acabar gerando sintomas como dor e massa palpável (STACHS et al., 2019).

Doenças inflamatórias e infecciosas: a mastite e os abscessos destacam-se entre as doenças inflamatórias e infecciosas da mama, que são normalmente causadas pela ruptura da interface do epitélio, apresentando-se clinicamente como vermelhidão e aumento da mama, podendo ainda causar febre e dor intensa. Ainda no caso de abscesso poderá ocorrer drenagem espontânea (BRASIL, 2018).

Existem também doenças inflamatórias associadas a lactação, sendo assim definidas como mastite puerperal, as mastites não puerperais mais comuns conforme a literatura são a mastite bacteriana, que ocorre em cerca de 59% dos casos (STACHS et al., 2019).

Alterações neoplásicas: as alterações neoplásicas benignas da mama apresentam proliferação celular sem atipias, ou seja, com células contendo as mesmas características genéticas daquelas encontradas nas células sadias da mama. Podem ser de diferentes tipos, à saber: fibroadenoma, fibroadenolipoma, adenose e lesão esclerosante radial.

Fibroadenoma: tumor benigno que ocorre devido a proliferação de elementos estromais e glandulares, frequente em mulheres jovens (BRASIL, 2018). Tem incidência em cerca de 25% é o tumor benigno mais comum nas mamas e ocorre principalmente nas idades entre 15 e 35 anos (STACHS et al., 2019).

Fibroadenolipoma: proliferação contendo glândula, elementos fibrosos e adiposos, de consistência macia, encapsulado por fina camada conectiva (BRASIL, 2018).

Adenose: caracteriza-se pela mudança das características histológicas de determinado tecido, no caso da mama apresenta-se como aumento do volume dos lóbulos mamários, devido ao aumento do número de ácinos (BRASIL, 2018).

Lesão Esclerosante Radial: constitui-se de elemento fibroso envolvido por elementos epiteliais como ductulos ou túbulos, podendo também ser chamada de cicatriz radial (BRASIL, 2018). Cicatrizes radiais são achados benignos que, se apresentam com aspecto de malignidade; histologicamente se mostram como um núcleo fibroelástico estrelado com ductos aprisionados e estruturas epiteliais radiais (STACHS et al., 2019).

3.4. Câncer de mama

Uma característica natural de algumas células é sua multiplicação, que ocorre de forma natural, e continuamente, por exemplo as células epiteliais que ao longo do tempo crescem, multiplicam-se e morrem de maneira ordenada (BRASIL, 2018).

Câncer é um nome geral atribuído a um conjunto de mais de 100 doenças, cujo fator comum é o crescimento desordenado de células, que ao surgir em determinado tecido pode se espalhar por tecidos e órgãos vizinhos. Este crescimento desordenado está relacionado a alterações no DNA da célula, provocando então uma multiplicação e crescimento descontrolados o qual se denomina neoplasia e forma os tumores. Os tumores podem ser classificados em malignos e benignos, sendo que os tumores benignos possuem um crescimento mais organizado, em geral mais lento e com limitações mais nítidas, enquanto o tumor maligno é capaz de invadir tecidos vizinhos provocando metástase, podendo ser resistente ao tratamento e levando a morte por interferir no metabolismo e funcionamento dos tecidos e órgãos atingidos. Na **Figura**

3 abaixo, há uma representação ilustrativa dos tipos de neoplasias benignas e malignas, considerando a organização celular correspondente (BRASIL, 2018).

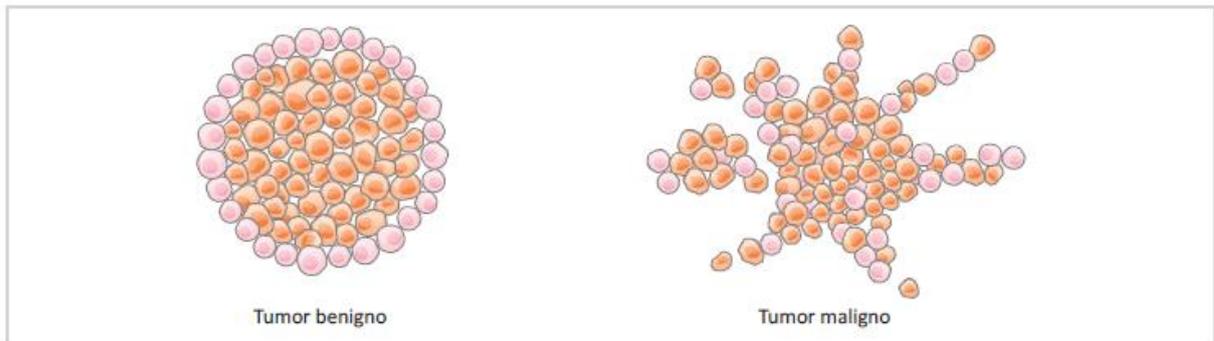


Figura 3: Esquema ilustrativos dos tipos de tumores quanto a malignidade.

Fonte: (BRASIL, 2018)

Assim como nos outros tipos de câncer, o câncer de mama se caracteriza pela multiplicação descontrolada de células causada por alterações genéticas, resultando em uma crescente vascularização no local do tumor para que haja a nutrição destas células em crescimento; também chamado de angiogênese, este aumento de vascularidade permite as células cancerígenas continuarem seu desenvolvimento e crescimento, aumentando a temperatura local devido ao aumento de metabolismo celular (SOCIETY, 2021).

Dentre as principais características do tumor benigno e maligno podemos destacar:

Tumor benigno: normalmente formado por células semelhantes às do tecido normal, ou seja, com a estrutura típica do tecido original, possuem por característica crescimento progressivo com possibilidade de regressão, mitoses normais e com ocorrências raras, possuem massas bem delimitadas sem que ocorre invasão ou infiltração em tecidos adjacentes, não há, portanto a ocorrência de metástase (BRASIL, 2018).

Tumor maligno: é constituído por células diferentes das do tecido original, com formações anaplásicas e atípicas, possui crescimento rápido e desordenado, com ocorrências de mitoses anormais e numerosas, possui delimitação irregular de massa

com comportamento invasivo, ou seja, com a ocorrência de infiltração em tecidos adjacentes (BRASIL, 2018).

Diversos fatores têm sido apontados pela literatura como potenciais fatores de risco associados as causas dos tumores mamários, além de fatores genéticos, destacam-se hábitos alimentares e de comportamento, bem como exposição a substâncias ou fontes de radiação. Dentre os principais fatores que estão associados a uma maior chance de desenvolvimento de câncer mamário podemos citar:

- a) Fatores reprodutivos e hormonais como nuliparidade, menarca precoce, idade avançada da primeira gestação, pouca amamentação ou amamentação ausente (considerando ainda que a amamentação está associada a um menor risco de câncer de mama) (JERÔNIMO; FREITAS; WELLER, 2017);
- b) Utilização de pílulas anticoncepcionais e reposição hormonal, tendo em vista que a mama é uma glândula sensível a alterações hormonais (AKRAM et al., 2017);
- c) Fatores comportamentais como: hábito de fumar, consumo de álcool, sedentarismo, alimentação pobre em vegetais e frutas, sobrepeso ou obesidade, *Stress* (JERÔNIMO; FREITAS; WELLER, 2017);
- d) Fatores genéticos relacionados a câncer de mama presente em familiares e idade avançada; (JERÔNIMO; FREITAS; WELLER, 2017)

3.5. Métodos de diagnóstico por imagem

Mamografia

O método atualmente mais recomendado pelas diretrizes de saúde pública para diagnóstico precoce em câncer de mama é a mamografia, método este que apresenta baixa sensibilidade quando utilizado em mamas mais densas, bem como para tumores muito pequenos (menores que 1cm de diâmetro). As imagens de mamografia são obtidas através de um equipamento chamado mamógrafo, que utiliza a faixa do espectro eletromagnético conhecida como raios-X, uma radiação considerada ionizante. A **Figura 4** ilustra como é feito o posicionamento para realização de um exame de mamografia digital.

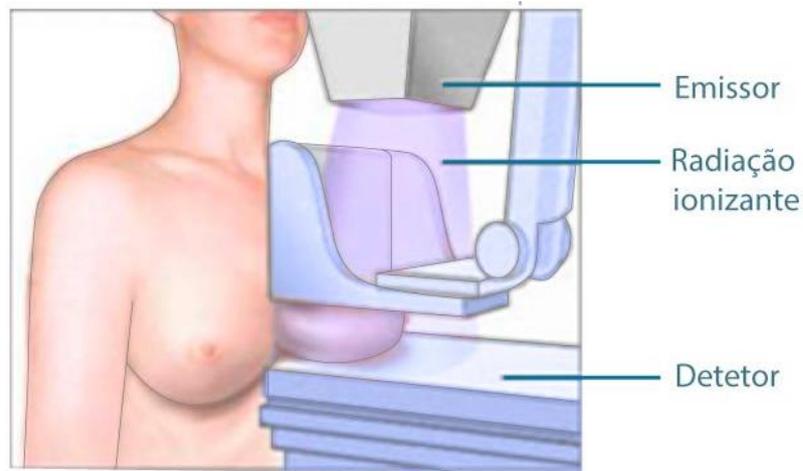


Figura 4: Ilustração do procedimento de mamografia com a compressão da mama.

Fonte: Pagina Saudebemestar¹

As imagens são obtidas normalmente em duas direções: vertical e angular, através da compressão da mama, a qual é necessária para obtenção de imagens com maiores informações da estrutura interna, elevando assim a capacidade diagnóstica, bem como evitando a exposição de tecidos considerados mais finos (MATOS, 2017).

Uma desvantagem de sua utilização é a radiação ionizante emitida pelo equipamento e que, inclusive é o que torna possível a realização deste exame, no entanto representa certo risco a saúde, podendo levar a maiores chances de cânceres radioinduzidos nos casos de exposições sucessivas ao longo dos anos, bem como o desconforto e dor causados pela necessidade de compressão da mama para realização do exame (WANG, 2017).

Ultrassonografia

A ultrassonografia de mama tem sido utilizada como uma ferramenta complementar para auxiliar o diagnóstico de câncer de mama, possui a vantagem de ser um tipo de exame com custo mais baixo, com maior disponibilidade, além de não utilizar radiação ionizante e causar menos desconforto em sua aplicação; é a alternativa atualmente indicada para mamas densas suplementando o exame de

¹ Disponível em: < <https://www.saudebemestar.pt/pt/exame/imagiologia/mamografia/>>. Acesso em: 14 de novembro de 2021.

mamografia, ou como alternativa exclusiva para mulheres que não possam realizar o exame de mamografia tais como as gestantes. Apesar destas vantagens, este tipo de exame não apresenta bons resultados quanto a sensibilidade, (exceto em conjunto com a mamografia, para fins suplementares diagnósticos) e especificidade, podendo assim levar à elevação do número de biopsias desnecessárias; um fator que prejudica sua utilização é o fato de tecidos cancerosos possuírem características acústicas similares a de tecidos saudáveis (WANG, 2017). Estudos demonstraram que a utilização de ultrassonografia aplicada como suplemento ao rastreamento de câncer de mama apresentou resultados positivos muito modestos quando comparados a taxa de danos associados (LEE et al., 2019).

Além disso, apesar de alguns estudos terem apontado um significativo ganho de sensibilidade na utilização de mamografia combinada com ultrassonografia (96% contra 74% na utilização de uso exclusivo da mamografia), a especificidade teve ligeira redução quando utilizada a combinação de exames (93% no uso exclusivo da mamografia contra 87% quando utilizados os dois métodos) (YUAN et al., 2020).

Ressonância magnética

A ressonância magnética, é um tipo de exame mais caro, com menos acessibilidade a população em geral; tanto pelo custo do equipamento quanto pela necessidade de estrutura e pessoal qualificado para sua operação, também apresenta elevado índice de resultados falso positivos, além disso este exame não consegue detectar alguns tipos de câncer como o carcinoma lobular e o carcinoma ductal. Trata-se de uma tecnologia com baixa especificidade, no entanto com boa sensibilidade para detecção de tumores pequenos em indivíduos com elevado risco de câncer (WANG, 2017).

Tomossíntese

A tomossíntese mamária é um exame que se baseia também em radiação ionizante, submetendo a paciente ao mesmo risco com relação a exposição de radiação ionizante, no entanto as doses de radiação são bem menores daquelas exigidas nos padrões de qualidade de mamografia digital, além de produzir imagens

quase tridimensionais. Neste exame a mama é comprimida contra um detector e o tubo gira em torno da mama gerando imagens 2 D, que combinadas irão possibilitar projeções quase tridimensionais, considerando uma limitação no eixo z perpendicular à superfície do detector; ainda com esta limitação em um dos eixos a imagem produz vantagem significativa com relação a mamografia gerando menor taxa de retorno segundo a literatura (EGHTEDARI et al., 2018).

Possui a desvantagem de ser um exame mais caro, no entanto possibilita a coleta de imagens em finas fatias, garantindo maior precisão do posicionamento do tumor sem a sobreposição de tecidos presente na mamografia, além disso estudos demonstraram uma maior acurácia diagnóstica em sua utilização isolada ou em conjunto com a mamografia digital versus a utilização exclusiva da mamografia digital (ALABOUSI et al., 2020).

3.6. Diretrizes atuais para rastreamento e diagnóstico precoce de câncer de mama no Brasil

Alguns métodos auxiliares de exames preventivos de rastreamento ou de apoio diagnóstico, como esforço para detecção precoce já foram abordados em diversos estudos, como autoexame das mamas, exame clínico, rastreamento com ressonância nuclear magnética, ultrassonografia, tomossíntese ou termografia. Porém as recomendações para exames de rastreamento pelas atuais diretrizes para os métodos e faixas etárias disponíveis, considerando a população feminina sem fatores de risco no Brasil atualmente são as seguintes:

Para Mamografia:

- Recomendação contrária forte à realização de exames de rastreamento para mulheres abaixo de 50 anos, pois os possíveis danos superam os possíveis benefícios;
- Recomendação favorável fraca à realização de exames de rastreamento para mulheres entre 50 a 59 anos, pois os possíveis benefícios e danos provavelmente são semelhantes;

- Recomendação favorável fraca à realização de exames de rastreamento para mulheres entre 60 a 69 anos, pois os possíveis benefícios provavelmente superam os possíveis danos;
- Recomendação contrária fraca para realização de exames de rastreamento em mulheres de 70 a 74 anos, pois a diferença entre os possíveis benefícios e danos é incerta;
- Quanto a periodicidade, recomenda-se fortemente que seja realizada em período bienal pois os possíveis benefícios superam os possíveis danos quando comparada a periodicidade inferior (MIGOWSKI et al., 2018).

Para outros métodos de rastreamento:

- Autoexame das mamas: Recomendação contrária fraca, pois os possíveis danos provavelmente superam os possíveis benefícios;
- Exame clínico das mamas: Ausência de recomendação pois a diferença entre possíveis danos e benefícios é incerta;
- Ressonância Nuclear Magnética, Ultrassonografia, Termografia e Tomossíntese a recomendação é contraria forte, pois os possíveis danos provavelmente superam os possíveis benefícios (MIGOWSKI et al., 2018)

Portanto as diretrizes atuais vigentes no Brasil, não recomendam a utilização de outros métodos de rastreamento e diagnóstico, considerando-se a escassez de estudos que identifiquem evidencias científicas da eficácia de sua utilização na redução da mortalidade em exames de rastreamento e diagnóstico, além disso, estudos também demonstraram que no caso de exames de rastreamento com pacientes sem fatores de risco, que os possíveis danos superam os benefícios, uma vez que podem ocorrer efeitos adversos associados a resultados falso-positivos, falso-negativos, identificação de cânceres cujo tratamento acarreta danos mais graves do que aqueles que seriam causados pela própria doença, seja por sua lentidão ou

evolução controlada, levando assim a danos maiores (sobrediagnóstico e sobretratamento) (MIGOWSKI et al., 2018).

Quanto as modalidades de rastreamento, pode-se destacar ainda o rastreamento do tipo oportunístico e rastreamento organizado. Rastreamento oportunístico é aquele em que os exames são realizados a partir da demanda dos próprios indivíduos ou então oferecidos por profissionais de saúde para as pessoas que possam procurar as unidades de saúde por outros motivos. Já o rastreamento organizado ocorre por meio de ações coordenadas onde há o monitoramento da população alvo, e esta é então convidada por periodicidade previamente definida para realização dos exames; os fluxos de investigação diagnóstica e tratamento são bem definidos e os indicadores monitorados periodicamente. Em geral, neste tipo de rastreamento (organizado) existem programas de qualidade associados, relativos ao teste de rastreamento e/ou de confirmação diagnóstica (BRASIL, 2021).

Além das diretrizes do Ministério da Saúde para rastreamento acima mencionadas, considerando o diagnóstico precoce as recomendações são as seguintes: Conscientização para o diagnóstico precoce do câncer de mama, identificação de sinais e sintomas suspeitos e confirmação diagnóstica em um único serviço, ou seja, no mesmo centro de referência (MIGOWSKI et al., 2018).

Os sinais e sintomas suspeitos a serem observados para um diagnóstico precoce em mulheres são os seguintes: a) Qualquer nódulo mamário para mulheres acima de 50 anos; b) Nódulos mamários para mulheres acima dos 30 anos que persistam por mais de um ciclo menstrual; c) Nódulos mamários duros e fixos ou que aumentem progressivamente, em mulheres de qualquer faixa etária; d) Presença de descarga papilar com sangue unilateralmente; e) Lesão da pele eczematosa que não respondam a tratamentos tópicos; f) Linfadenopatia axilar; g) Aumento do tamanho da mama com sinais de edema como por exemplo pele com aspecto de casca de laranja; h) Retração na pele da mama; e i) Mudança do formato do mamilo.

3.7. Termografia

A termografia é um método de mensuração e registro da temperatura de uma superfície através da utilização de um dispositivo sensível a radiação infravermelha, e, que consegue obter esta mensuração sem contato físico (ÁVILA FILHO et al.,

2020). O princípio da termografia se baseia na propriedade de emissão de radiação infravermelha por qualquer objeto que se encontre com temperatura acima do zero absoluto; de acordo com a lei da radiação de Planck, a intensidade desta radiação é proporcional a temperatura deste objeto (SPEAKMAN; WARD, 1998).

O comprimento de onda também varia de acordo com a temperatura do objeto; no espectro de radiação eletromagnética, a luz visível, por exemplo, corresponde a uma estreita parcela do espectro total conforme pode ser visto na **Figura 5**.

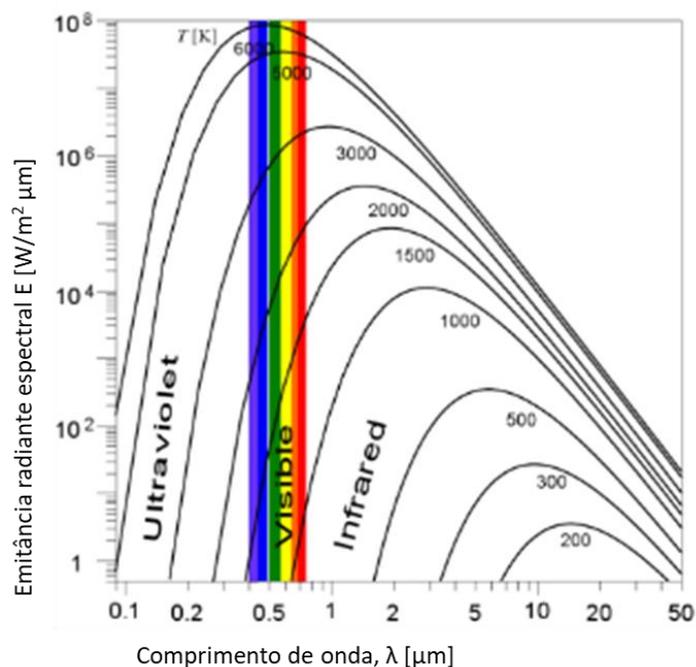


Figura 5: Distribuição de potência de emissividade e comprimento de onda.

Fonte: Adaptado de (Meola, 2012)

Com relação a radiação infravermelha, está situada a uma região entre 700 nm e 1 mm, entretanto para utilização em termografia os dispositivos biomédicos trabalham em geral com comprimentos de onda de 7,5 a 14 μm , considerando a emissividade dos seres humanos. Para outras aplicações, os equipamentos são subdivididos a depender da faixa específica à qual se destinam (USAMENTIAGA et al., 2014).

Um conceito importante com relação a radiação eletromagnética é a emissividade, que pode ser definida como a razão entre a energia radiante emitida por uma determinada superfície física e a energia radiante emitida por um corpo negro

(elemento teórico cuja emissividade possui valor idealmente unitário), conforme pode ser visto na equação 1.

$$\varepsilon = \frac{\text{Energia emitida por um corpo real}}{\text{Energia emitida por um corpo negro}}$$

Equação 1: Equação que determina a emissividade.
Fonte: (SOUSA; DUARTE, 2016)

Com relação a radiação eletromagnética incidente em uma determinada superfície, esta pode ser: refletida, absorvida ou transmitida. A soma das parcelas de refletividade (ρ), absortividade (α) e transmissividade (τ) é igual a 1, conforme pode ser visto na equação 2.

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Equação 2: Soma das parcelas de radiação eletromagnética incidentes em uma superfície.
Fonte: (USAMENTIAGA, et al., 2014)

As câmeras termográficas utilizadas para a realização da termografia são constituídas de sensores, que são sensíveis a radiação infravermelha, e com a utilização de lentes especiais de germânio e zafira (que são transparentes a radiação infravermelha), captam esta radiação e a convertem através de processamento eletrônico em imagens que representam graficamente a temperatura de uma superfície (GONZALEZ-HERNANDEZ et al., 2019).

A termografia passou por significativa evolução nos últimos anos, com o avanço tecnológico nos equipamentos termográficos e ferramentas de processamento computacional das imagens termográficas (OMRANIPOUR et al., 2016).

2.8. Termografia e câncer de mama

A correlação da temperatura e das enfermidades já é conhecida há muito tempo, tendo sido documentada por Hipócrates em 400 a.c., em que se afirmou: “Em qualquer parte do corpo, se houver excesso de calor ou de frio, a doença existe e é pra ser descoberta” (CÔRTE; HERNANDEZ, 2016). A termografia assim se torna

especialmente útil para auxiliar nos métodos diagnósticos, por propiciar vantagens como a possibilidade de medição de temperatura sem contato físico, com observação simultânea em diversos pontos, permitindo assim a comparação entre regiões anatômicas distintas.

Segundo (TELLO-MIJARES; WOO; FLORES, 2019), a utilização de termografia como uma alternativa de apoio diagnóstico para câncer de mama, demonstrou capacidade de detecção muito anterior a da tecnologia convencional por mamografia. Na **Figura 6**, tem-se o exemplo de uma imagem termográfica, onde é possível identificar os diferentes padrões térmicos presentes nas mamas, a escala de cor a direita serve como referência para as diferentes temperaturas representadas.

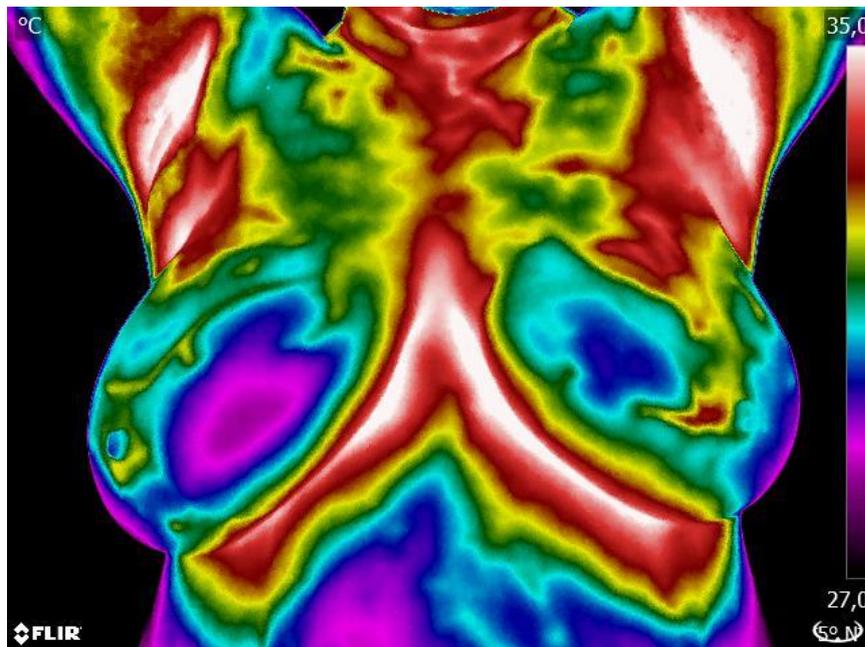


Figura 6: Termograma das mamas obtido através do método tradicional.

Fonte: Autor

A termografia tem sido amplamente estudada como possibilidade de suporte diagnóstico para câncer de mama, e dentre os principais métodos abordados, destaca-se a termografia estática e a termografia dinâmica.

Um desafio importante, no entanto, para tornar esta tecnologia mais difundida está no fato de que, embora a termografia consiga detectar anomalias mamárias com antecedência considerável, possui características delimitantes, como por exemplo o

baixo contraste e ausência de bordas nítidas de contorno (PRABHA; SUGANTHI; SUJATHA, 2015).

3.9. Protocolos por Método Estático

Na metodologia termográfica de obtenção de imagens por método estático, a paciente deve ficar por um período de 10 a 15 minutos com a parte superior do corpo despida com a finalidade de aclimatação da região das mamas, enquanto aguarda a realização dos registros termográficos. O tempo de resfriamento é necessário para anular o aquecimento proveniente de fatores externos ao do corpo da paciente, como roupas, movimentação ou temperatura externa. (KAKILETI; MANJUNATH; RAMPRAKASH, 2017).

A sala onde será realizado o exame deve estar sem ventilação, devendo contar ainda com um termo higrômetro para o monitoramento da temperatura ambiente, a distância entre a câmera e a paciente deve ser de 1 metro, (BHOWMIK et al., 2016). Através do método estático, a pele da paciente estará em equilíbrio térmico com o ambiente, sem que haja alterações significativas da temperatura da pele da paciente durante a realização do exame (BRASILEIRO, 2021).

3.10. Protocolos por Método Dinâmico

A termografia de mamas por método dinâmico se baseia na realização de registros termográficos ao longo de um intervalo de tempo, no qual as mamas são submetidas a um resfriamento, e no intervalo de tempo determinado, que costuma ser algo em torno de 5 minutos, são realizados registros subsequentes a fim de se avaliar o comportamento termorregulador da região das mamas e identificar regiões com menor tendência de resfriamento por vaso constrição (KANDLIKAR et al., 2017).

O método de resfriamento mais comumente utilizado é a ventilação através de um ventilador elétrico convencional, além de reduzir o tempo necessário para o resfriamento das mamas, o resfriamento focalizado acaba por evidenciar melhor a região do tumor, já que as regiões irrigadas pelos vasos sanguíneos tumorais permanecerão aquecidas, isso ocorre porque os vasos sanguíneos produzidos pelo tumor não são dotados de terminações nervosas, de maneira que não respondem ao

estímulo simpático de vaso constrição na presença de resfriamento (RESMINI et al., 2021).

4 Metodologia

Para a realização deste estudo seguiram-se as principais etapas abaixo listadas:

- a. Projetado o aparato utilizado para a realização dos registros termográficos com a paciente em posição de decúbito ventral;
- b. Testes preliminares realizados para identificação de uma superfície refletora para a imagem frontal das mamas sob o aparato;
- c. Testes realizados para obtenção de um possível fator de ajuste para a imagem refletida, considerando eventuais perdas por absorção da radiação infravermelha;
- d. Registros termográficos com uma voluntária saudável para identificação das posições da câmera termográfica, tais como distância e ângulo;
- e. Preparação da sala de exames e dos materiais para início dos registros termográficos;
- f. Registros termográficos para o Protocolo 1;
- g. Registros termográficos para o Protocolo2;
- h. Processamento e análise dos dados obtidos.

Para a realização de todos os termogramas, tanto na etapa de testes preliminares quanto durante os registros obtidos com voluntárias e pacientes a câmera termográfica permaneceu ligada por um período de 10 minutos antes da realização dos registros dos termogramas. Este período foi necessário para estabilização do equipamento. Também foi necessário o ajuste dos seguintes parâmetros iniciais de configuração da câmera termográfica:

- a. Emissividade: para a primeira etapa de testes o ajuste precisou ser de acordo com o objeto escolhido para a realização dos testes, já para as etapas posteriores foi ajustada a emissividade para a pele humana (0,98

- C°), sem variações significativas com relação a pigmentação da pele (M. CHARLTON, 2020);
- b. Temperatura ambiente (temperatura registrada pelo termo higrômetro de referência);
 - c. Temperatura refletida (temperatura que é originária de outras fontes no ambiente e é refletida no objeto de interesse, neste caso como o ambiente deve estar livre de outras fontes de calor, a temperatura refletida deve ser a mesma que a temperatura ambiente) (FLIR, 2021);
 - d. Umidade relativa do ambiente (registrada pelo termo higrômetro de referência).

4.1. Projeto do aparato para realização do protocolo 2

O protocolo tradicional de registros termográficos da mama pelo método estático, não necessita de aparatos elaborados por se tratar de imagens realizadas com as pacientes em pé ou sentadas, (deixando o tronco em posição vertical), de maneira direta e sem fatores adicionais, exceto pelos cuidados necessários para garantir que não haja interferência de fatores térmicos não provenientes das pacientes.

No entanto para o protocolo proposto, as imagens foram registradas com a paciente sobre uma maca adaptada (aparato desenvolvido), em posição de decúbito ventral, sendo que este aparato possui uma abertura na região torácica na qual a paciente acomodou as mamas. As imagens foram obtidas, por baixo da maca, sendo de forma direta na visão lateral das mamas e na região frontal das mamas foi necessária a utilização de uma superfície refletora fazendo com que a câmera registrasse a imagem de forma indireta. A utilização da superfície refletora fez-se necessária para que a câmera pudesse ficar posicionada a uma distância suficientemente apropriada das mamas, e também em uma posição ergonomicamente adequada para sua manipulação.

Caso não fosse utilizada a superfície refletora, seria necessário manter a câmera muito próxima das mamas, e com uma posição ergonomicamente inadequada para o operador da câmera termográfica. Como a alternativa de elevação da maca para aumentar a distância entre as mamas e a câmera termográfica, bem como

favorecer a posição para o registro por parte do operador traria riscos a paciente, optou-se então pelo registro da imagem frontal das mamas por meio de uma superfície que pudesse refletir o infravermelho. A **Figura 7** demonstra o aparato projetado para realização do protocolo 2, logo abaixo da maca é possível observar a superfície refletora para o registro do termograma com a visão frontal das mamas.

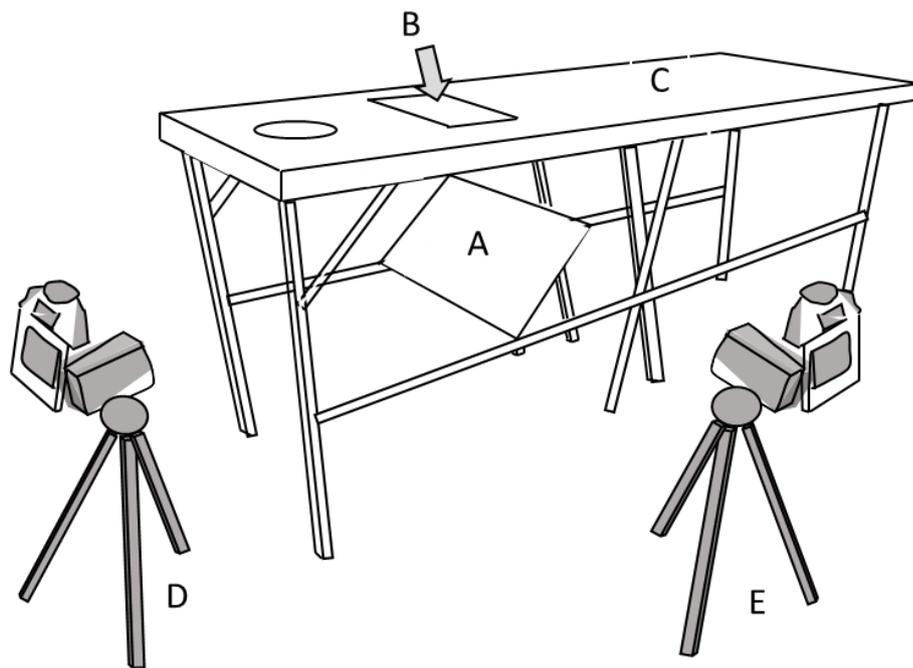


Figura 7: Esquema do aparato projetado para realização dos exames. A- Superfície refletora inclinada a 45 C° do piso. B- Abertura para posicionamento das mamas. C- Maca adaptada. D- Câmera posicionada para vista frontal e E- Câmera posicionada para vista lateral. **Fonte:** Autor.

4.2. Testes para determinação da superfície refletora

Para que se pudesse escolher a superfície refletora mais adequada, foi realizado um experimento com um objeto (ferro de solda) com emissão térmica constante e, portanto, com radiação infravermelha constante. Foram realizados então registros termográficos do objeto diretamente, do objeto refletido em superfície de vidro, refletido em superfície de alumínio e em superfície de aço inox, conforme demonstrado na **Figura 8**.

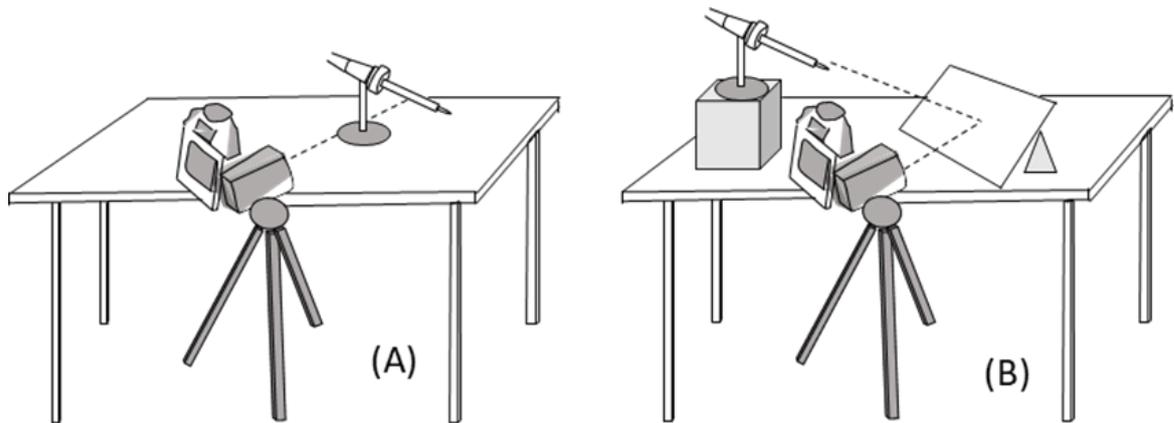


Figura 8: Teste para definição da superfície refletora. A- Obtenção da imagem termográfica direta. B- Obtenção da imagem termográfica refletida. **Fonte:** Autor.

Após a obtenção dos registros termográficos, foi delimitada uma região específica das imagens e, por meio da exportação da matriz termográfica da região de interesse, ou “*Region of Interest*” (ROI) para um arquivo do tipo valores separados por vírgula ou CSV “*Comma Separated Values*” (CSV), realizou-se uma comparação por meio de estatística descritiva e de *box-plots* das imagens obtidas.

4.3. Testes para determinação do fator de correção para as temperaturas refletidas.

Como a imagem frontal das mamas seria obtida por meio da reflexão através da superfície escolhida, fez-se necessária a verificação de eventuais necessidades de utilização de um fator de correção, considerando que a imagem refletida poderia ter perdas relacionadas a absorbância da superfície refletora de infravermelho.

Para isso foi realizado um teste com dois voluntários, no qual foram obtidos registros térmicos da mão esquerda de cada voluntário em dois momentos distintos sendo: um registro direto do termograma da mão e um registro da imagem refletida, conforme demonstrado na **Figura 9**.

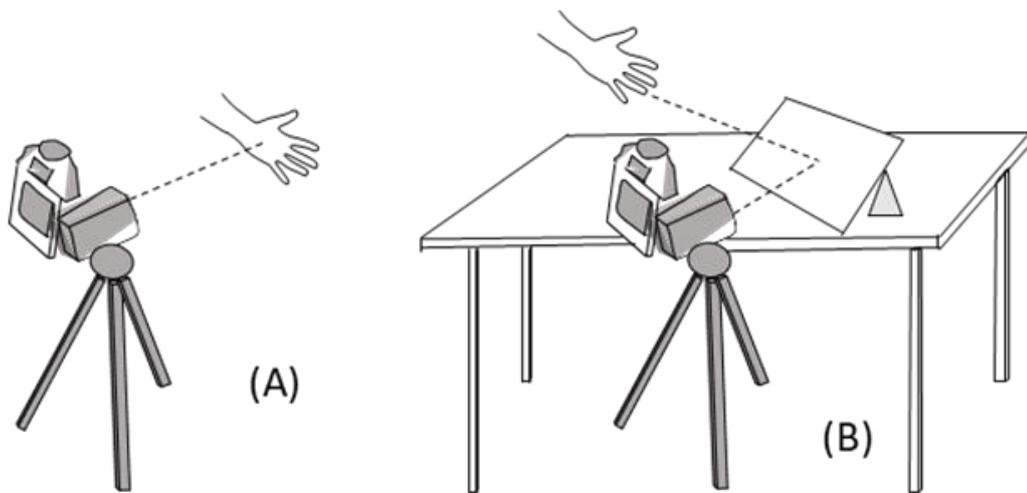


Figura 9: Teste para definição do fator de correção das temperaturas refletidas. **Fonte:** Autor.

O valor encontrado relacionado a média da razão entre a temperatura medida diretamente e a temperatura refletida, é um parâmetro importante para estabelecer a correção da matriz térmica obtida nos testes posteriores com as pacientes, determinando assim o fator de correção necessário para a correspondência das matrizes térmicas das imagens refletidas.

Foram delimitados os ROI's conforme **Figura 10**, a fim de se comparar e verificar se existe diferença entre a temperatura registrada diretamente e aquela registrada pelo termograma refletido em cada voluntário.

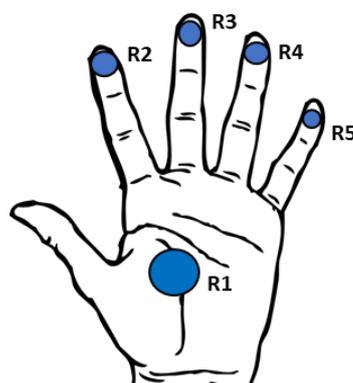


Figura 10: Determinação dos ROI's para determinação do fator de correção

Fonte: Autor

R1 – uma área circular, de mesma medida espacial para cada imagem, considerando uma região central da mão esquerda de cada voluntário;

R2 – uma área circular, de mesma medida espacial para cada imagem, considerando uma região compreendida na extremidade do dedo indicador;

R3 – uma área circular, de mesma medida espacial para cada imagem, considerando uma região compreendida na extremidade do dedo médio;

R4 – uma área circular, de mesma medida espacial para cada imagem, considerando uma região compreendida na extremidade do dedo anelar;

R5 – uma área circular, de mesma medida espacial para cada imagem, considerando uma região compreendida na extremidade do dedo mínimo;

Foram comparados então os termogramas diretos e refletidos dos seguintes parâmetros dos ROI's delimitados de cada voluntário: temperatura mínima, temperatura máxima e temperatura média, a fim de se determinar o fator de correção para o ajuste dos valores obtidos.

4.4. Testes de posicionamento da paciente na maca e da posição da câmera.

Após os testes iniciais, efetuou-se o teste para a determinação das posições da paciente na maca, bem como da câmera considerando as angulações e distâncias.

O protocolo tradicional de termografia por método estático determina a distância de 1 metro entre a câmera e a paciente, no entanto após a realização desta etapa de testes, verificou-se que o aparato prejudicou a vista nesta distância considerando as bordas laterais e frontal da maca, convencionou-se então para o protocolo proposto uma distância total de cerca de 85 cm entre a câmera e uma mama de tamanho médio considerando a posição para vista frontal, sendo uma distância de aproximadamente 65 cm entre a câmera e a superfície refletora mais 20 cm entre a superfície refletora e o centro aproximado de uma mama de tamanho médio. Já para a imagem de vista lateral convencionou-se uma distância de cerca de 65 cm entre a câmera e a mama mais próxima da vista lateral. A angulação da câmera esteve previamente ajustada em 22° com relação ao piso para as imagens laterais e a 0° com relação ao piso para posição refletida.

4.5. Pré-requisitos e preparações:

Para a realização da pesquisa foi necessária previa autorização pelo CEP (Comitê de Ética em Pesquisa), devidamente credenciado pelo CONEP (Comissão

Nacional de Ética em Pesquisa, tendo sido aprovado pelo comitê de ética através do registro: CAAE:22104619.5.0000.5492. Também foram coletadas as assinaturas de cada paciente do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), o qual contém uma explicação detalhada de como ocorreria o procedimento de registro termográfico, além de no momento do exame, ter sido realizada uma explicação verbal sobre os eventuais inconvenientes, riscos, benefícios. Também foram realizadas as anamneses visando responder as perguntas abaixo, as quais possuem relevância e poderiam influenciar nos resultados, conforme os protocolos referências na literatura.

- a- Você fumou no último período de 2 horas que antecederam este exame?
- b- Você consumiu cafeína no período de 2 horas que antecederam este exame?
- c- Você consumiu álcool no período de 2 horas que antecederam este exame?
- d- Você praticou alguma atividade física no período de 2 horas que antecederam este exame?
- e- Você aplicou alguma pomada na região das mamas no período que antecedeu 2 horas da realização deste exame?

Após a assinatura do TCLE e da realização da anamnese, as pacientes voluntárias ficaram em repouso, sentadas, com os braços em um suporte para que se pudesse deixar as mamas livres sem influência de irradiações térmicas de outras partes do corpo, a parte superior do corpo despida, atrás de um biombo, para maior comodidade e privacidade das pacientes. A aclimação foi realizada por um período de 12 minutos antes de se iniciar os registros termográficos dos protocolos.

Os requisitos do ambiente para a realização dos registros termográficos de ambos os protocolos foram os seguintes:

- a- Sala com temperatura controlada a 22 C°, através da utilização de aparelho condicionador de ar, com um termo higrômetro para aferição da temperatura, sendo também anotada a umidade relativa para fins de registros;
- b- Sala sem presença de fontes de calor exceto a da própria paciente e da voluntária que realizará o registro dos termogramas;

- c- Sala com disponibilidade de biombo para garantir a privacidade da paciente;
- d- Disponibilidade de uma cadeira confortável para que a paciente possa aguardar o período de aclimatação antes do início dos registros termográficos.
- e- Disponibilidade de 2 suportes de braço para manter os braços suspensos sem contato com o corpo, propiciando assim melhor aclimatação da região das axilas.

4.6. Protocolo 1

Após o período de aclimatação de 12 minutos, no protocolo 1 os termogramas foram realizados com as pacientes de pé, tendo sido registradas as imagens nas seguintes posições: frontal, 45° lado direito, 90° lado direito, 45° lado esquerdo e 90° lado esquerdo. A câmera foi posicionada a 1 metro da paciente, na mesma altura com relação as mamas da paciente.

Na **Figura 11** é possível ver como ficou o posicionamento da paciente com relação a câmera conforme o protocolo estático demonstrado na literatura (BHOWMIK et al., 2016).

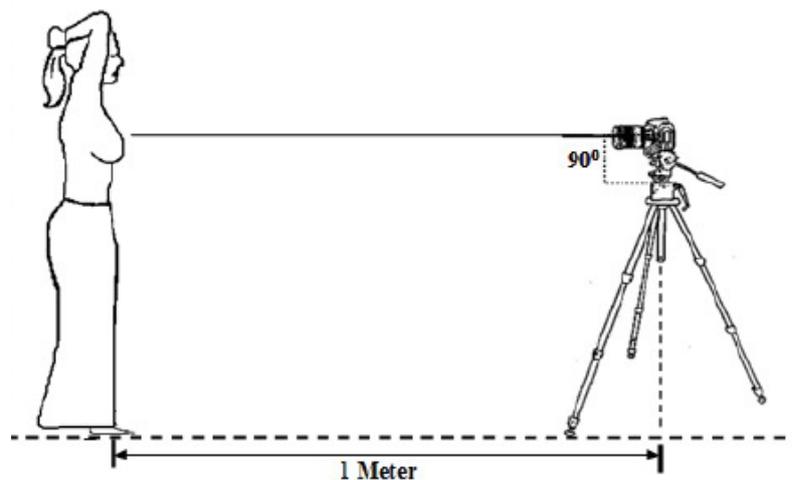


Figura 11: Esquema do posicionamento da paciente para o protocolo 1

Fonte: Adaptado de (BHOWMIK et al., 2016)

As posições da câmera no piso, bem como a posição da paciente foram demarcadas para facilitar a manipulação da câmera e o posicionamento da paciente

durante os registros. O método de obtenção das imagens foi o estático, onde as imagens foram registradas, após aclimatação da paciente, nas três vistas citadas.

A posição da paciente foi demarcada no piso na ocasião da realização do primeiro protocolo conforme pode ser observado na **Figura 12** abaixo, sendo utilizado o quadrado demarcado como referência nas posições supracitadas. Para registro dos termogramas do primeiro protocolo a paciente permaneceu em posição ortostática, com os braços sobre a cabeça.



Figura 12: Demarcação do piso para referência do posicionamento da paciente. **Fonte:** Autor.

O posicionamento das pacientes no protocolo 1 possibilitou as imagens das vistas esquematizadas na **Figura 13**.

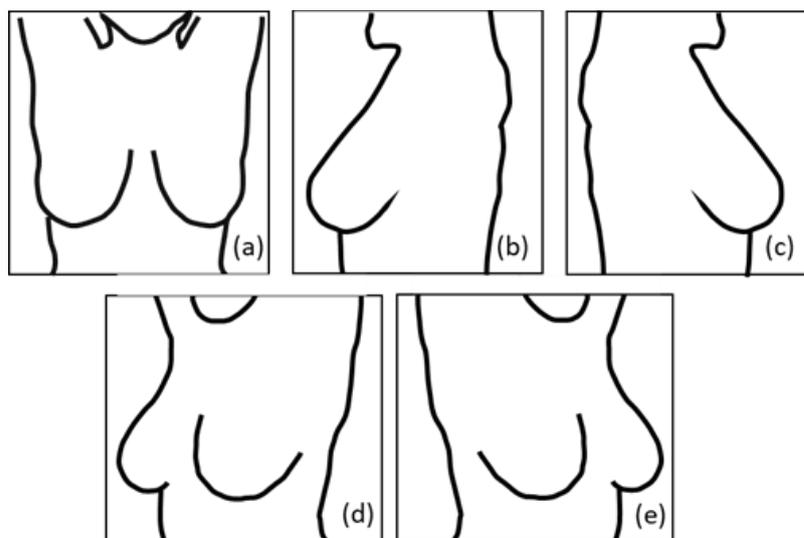


Figura 13: Posicionamento das pacientes no protocolo 1. (a)- vista frontal. (b)- vista lateral esquerda. (c)- vista lateral direita. (d)- vista oblíqua esquerda. (e)- vista oblíqua direita. **Fonte:** Autor.

4.7. Protocolo 2

No protocolo proposto, citado a partir daqui de Protocolo 2, foram coletados termogramas das mamas, com as voluntárias posicionadas em uma maca adaptada, com vãos localizados na altura das mamas, devidamente revestidos, para assegurar o posicionamento sem riscos de injúrias físicas da voluntaria, que permaneceu em posição de decúbito ventral. Logo abaixo do orifício para o posicionamento das mamas foi fixado uma placa de aço inox, para a realização do registro termográfico frontal através da reflexão do infravermelho na placa de aço inox. O protocolo 2 teve como objetivo evitar a sobreposição de tecido mamário, e com isso reduzir a influência das regiões de maior radiação térmica sobre tecidos adjacentes, que devido à gravidade possam estar mais próximos à região de maior radiação, isso se dará devido ao fato das mamas estarem voltadas para baixo da maca. O posicionamento da paciente no aparato pode ser visto na **Figura 14**.

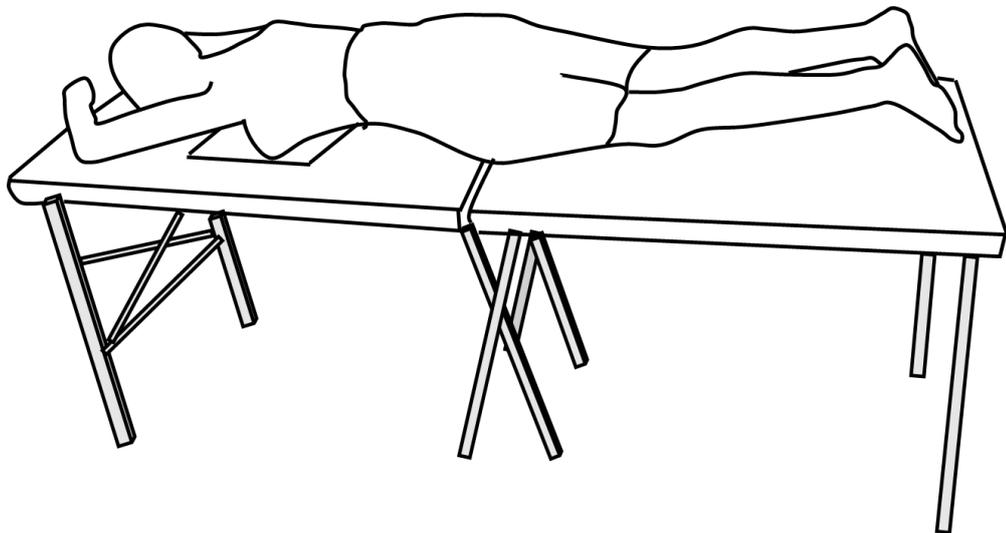


Figura 14: Esquema do posicionamento da paciente na maca para o protocolo 2. **Fonte:** Autor.

A imagem termográfica frontal foi capturada por meio da reflexão do infravermelho da pele através do aço inox polido, este tendo sido então posicionado a um ângulo de 45° do piso, a uma distância de cerca de 65 cm de seu centro até a câmera e estimando-se uma distância de cerca de 20 cm entre o centro da superfície refletora e uma mama de tamanho médio, a câmera esteve ajustada para a imagem frontal em uma angulação de 0° com relação ao piso, ou seja, sem inclinação para a

imagem frontal; já as imagens laterais das mamas foram registradas diretamente, ou seja, sem a utilização da placa de aço inox, ficando a câmera termográfica posicionada a um ângulo de 22° com relação ao piso, sendo este o ângulo utilizado que permitiu o termograma sem a interferência da lateral da maca, a câmera foi então posicionada a uma distância de 65 cm da lateral da mama, repetindo-se o posicionamento nas duas laterais da maca, possibilitando o registro termográfico de ambas as mamas.

Cada voluntária precisou ficar com a parte superior do corpo despida, também sendo necessário um período de aclimatação de 12 minutos, desta vez deitada de bruços sobre a maca adaptada, com o objetivo de reduzir ou mesmo eliminar a influência térmica causada pela sobreposição dos tecidos, eliminando também o aquecimento causado pelo declínio da mama na região do sulco submamário.

4.8. Processamento das Imagens

Após a etapa de registros de termogramas, as imagens foram analisadas por meio de comparação contralateral com o software Flir Research Studio, a fim de se identificar as regiões de hiper radiância. Foram delimitados então ROI's de mesma área nestas regiões (1 ROI por paciente) para a comparação entre as matrizes térmicas obtidas dos ROI's no protocolo 1 e protocolo 2.

Com a determinação dos ROI's foram gerados arquivos CSV das regiões de hiper radiância e com os arquivos obtidos os protocolos foram comparados por meio de estatística descritiva, histogramas e gráficos do tipo *box-plot*, a fim de verificar se houve ganho significativo de contraste térmico com o uso do protocolo 2.

Dependendo da área com a anomalia térmica identificada foi utilizada uma vista específica: lateral ou frontal. Em alguns casos, devido a uma melhor correspondência das áreas comparadas (protocolos 1 e 2), foi utilizada a vista da posição oblíqua. O código atribuído a cada registro e seus respectivos ROI's para sua identificação pode ser verificada no **Quadro 1**.

Ordem do Caracter	Informação	Exemplo
1º e 2º -	ID do Paciente	PC14 (Paciente 14)
3º e 4º -	Referência da Mama	MD (Mama Direita) ME (Mama Esquerda)
5º e 6º -	Referência do Protocolo	PE (Protocolo 1) MC (Protocolo 2)
7º e 8º -	Referência da Vista	FR (Vista Frontal) OB (Vista Oblíqua) LT (Vista Lateral)

Quadro 1: Código dos registros e respectivos ROI's. **Fonte:** Autor

5 RESULTADOS

5.1. Aparato construído para realização do protocolo 2

O aparato projetado para a realização do protocolo 2 foi construído utilizando-se uma maca retrátil, na qual foi feita uma abertura para acomodação das mamas, e adicionadas hastes laterais para fixação da superfície refletora, a qual foi posicionada abaixo da abertura das mamas e inclinada em 45 C° com relação ao piso. Este aparato pode ser visto na **Figura 15**.



Figura 15: Aparato utilizado para realização do exame durante o protocolo 2.

Fonte: Autor.

5.2. Determinação da Superfície Refletora

Para a determinação da superfície refletora mais adequada foram gerados os seguintes registros termográficos, utilizando-se um ferro de solda: (a) Imagem direta. (b) Imagem refletida no vidro. (c) Imagem refletida no alumínio e (d) Imagem refletida no aço inox., conforme pode ser visto na **Figura 16**.

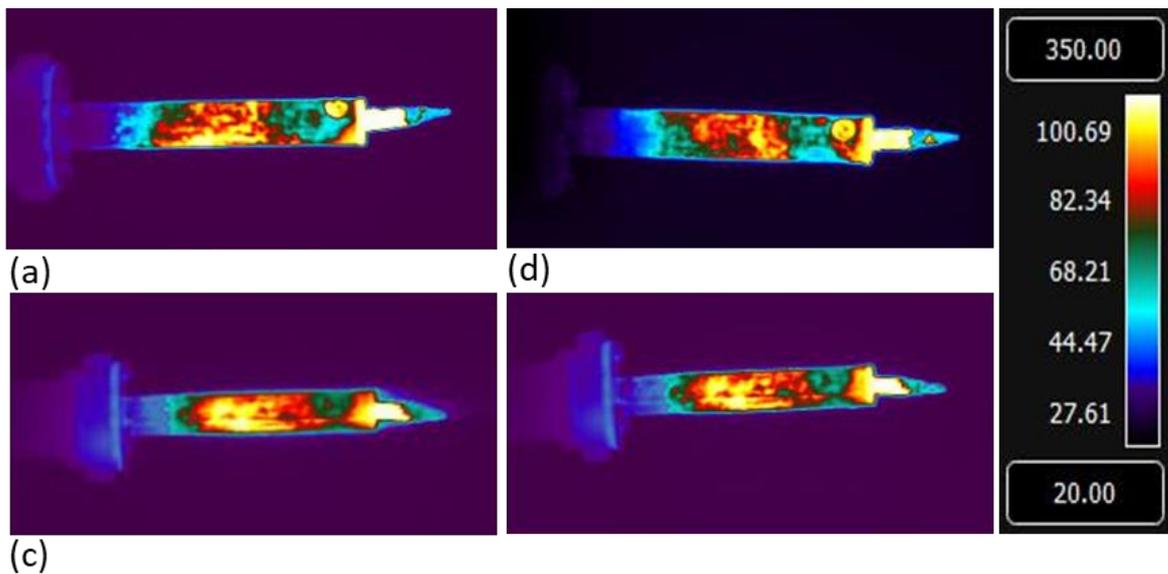


Figura 16: Termogramas comparativos de um objeto aquecido com temperatura constante. (a)Termograma direto. (b)Termograma refletido no vidro. (c)Termograma refletido no alumínio. (d)Termograma refletido no aço inox. **Fonte:** Autor.

Após a obtenção destes termogramas, foi estipulado um ROI para a análise comparativa entre as matrizes de temperatura obtida pela termografia direta e aquelas obtidas pela termografia refletida.

A **Figura 17** mostra a área delimitada para a realização da comparação dos ROI's.

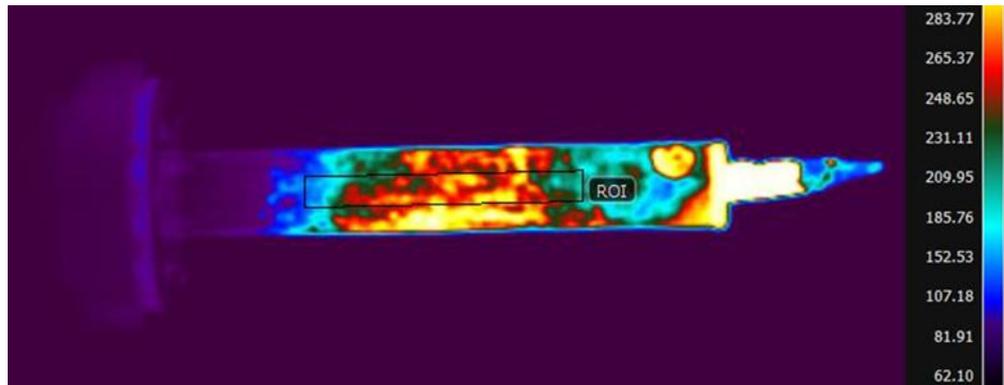


Figura 17: Determinação do ROI para comparação das imagens.

Fonte: Autor

Apesar da imagem da reflexão por meio do vidro aparentemente ter apresentado maior nitidez, não houve correspondência satisfatória no que diz respeito ao espectro de temperatura. Conforme pode ser visto nas **Figura 18** e **Figura 19**, onde se verifica a comparação das temperaturas da imagem direta e das imagens refletidas por meio dos *box-plots* e do histograma respectivamente.

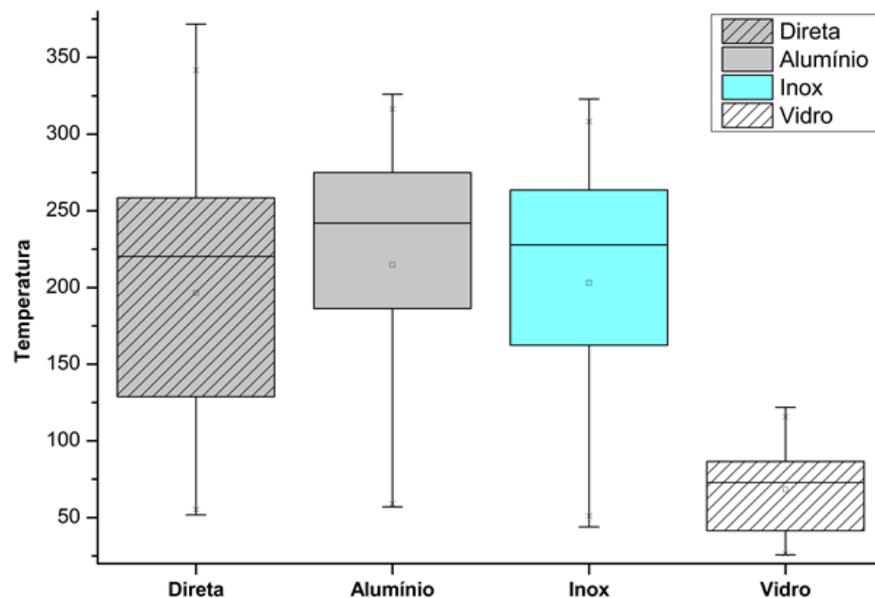


Figura 18: Box-plots das matrizes termográficas para os diferentes materiais utilizados.

Fonte: Autor

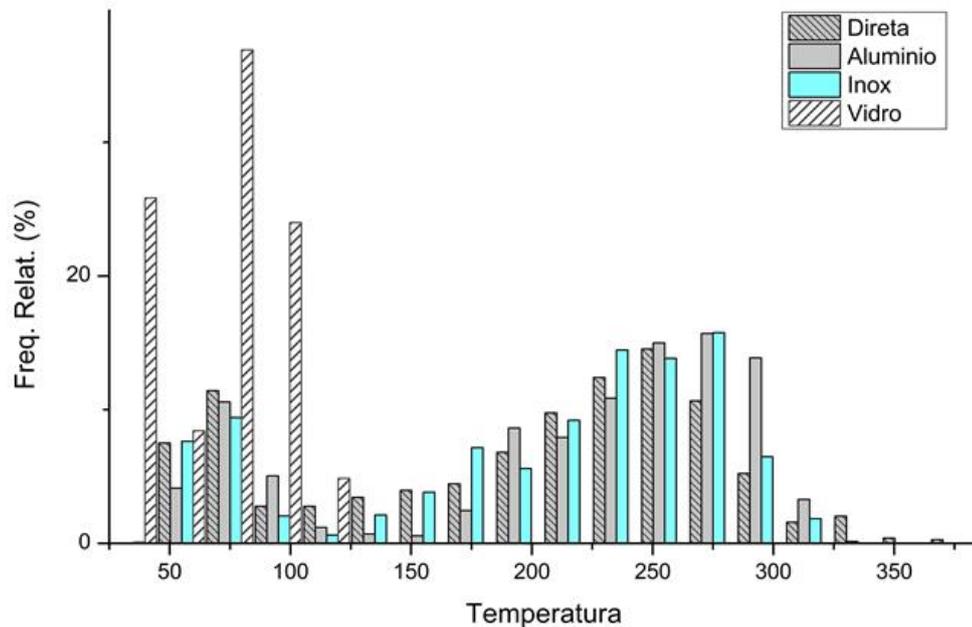


Figura 19: Histograma da distribuição das temperaturas (em °C).

Fonte: Autor

Como pode ser verificado, a superfície refletora que melhor representou a distribuição das temperaturas foi o aço inox. A maior nitidez da superfície de vidro provavelmente se deve a sua maior regularidade superficial.

5.3. Determinação do fator de correção

Após a determinação da superfície refletora, foi necessário a determinação do fator de correção, considerando-se eventuais atenuações provocadas pela superfície refletora, devido a sua absorbância. Por meio das imagens obtidas através da mão esquerda de cada voluntário, conforme pode ser visto na **Figura 20**, obteve-se então as médias dos valores registrados de temperatura para imagem direta e imagem refletida na superfície do aço inox.

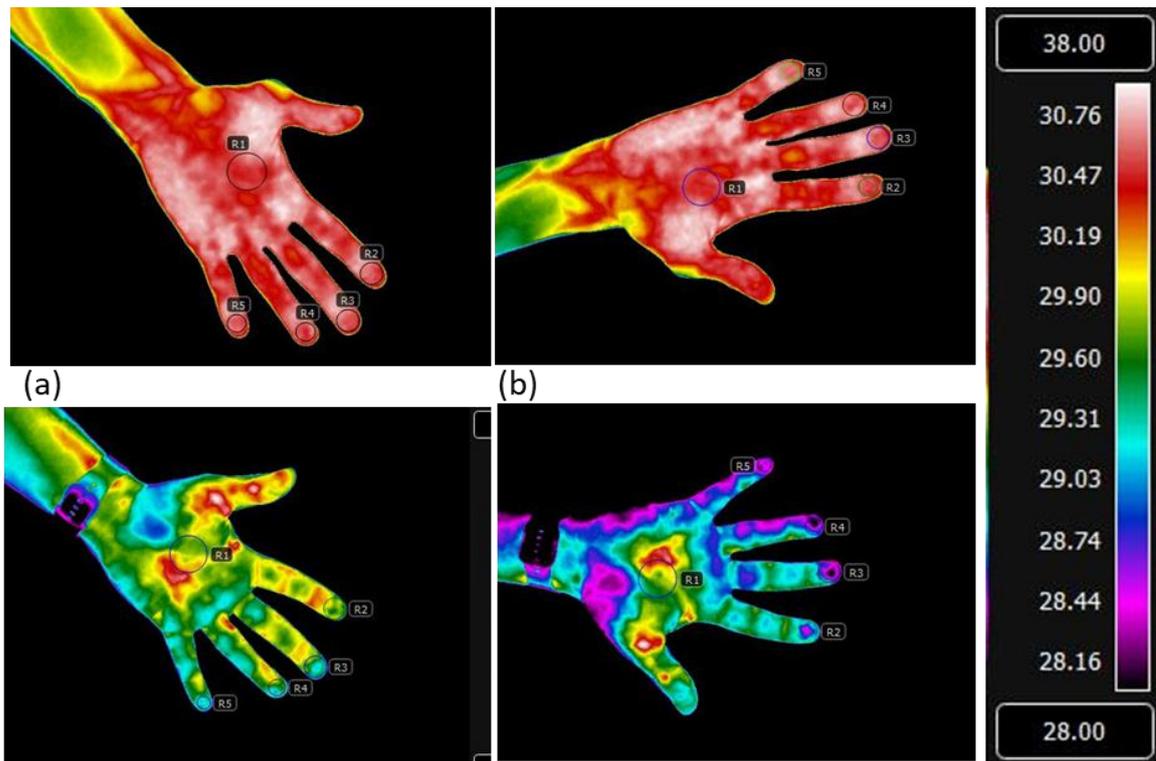


Figura 20: Imagens de registro termográfica diretos e refletidos para obtenção do fator de ajuste. (a) Imagem Direta Voluntário 1, (b) Imagem Refletida Voluntário 1, (c) Imagem Direta Voluntário 2, (d) Imagem Refletida Voluntário 2. **Fonte:** Autor

Através dos valores de: temperatura mínima, temperatura máxima e temperatura média de cada voluntário, tanto para imagem direta como para imagem refletida, obteve-se então a **Tabela 1**, através da qual se pode determinar o fator de correção de 1,06, ou seja, para os valores de temperatura obtidos através da imagem refletida deve-se multiplicar o valor de 1,06 para que haja a correspondência térmica entre a imagem direta e refletida;, este fator de correção foi necessário devido à perda causada pela absorção de parte da radiação infravermelha pela superfície refletora.

Tabela 1: Comparação das temperaturas direta e refletida dos ROI's em ambos os voluntários.
Fonte: Autor

ROI (R) Voluntário (V)	Parametro	Termograma Direto (D) em C°	Termograma Refletido (R) em C°	Razão (D/R)
R1-V1	Temp. Mínima	34,82	32,62	1,07
R1-V1	Temp. Máxima	35,56	33,27	1,07
R1-V1	Média	35,07	32,89	1,07
R2-V1	Temp. Mínima	34,72	32,67	1,06
R2-V1	Temp. Máxima	35,5	33,12	1,07
R2-V1	Média	35,18	32,95	1,07
R3-V1	Temp. Mínima	34,93	32,73	1,07
R3-V1	Temp. Máxima	35,61	33,28	1,07
R3-V1	Média	35,24	33,03	1,07
R4-V1	Temp. Mínima	34,86	32,85	1,06
R4-V1	Temp. Máxima	35,49	33,37	1,06
R4-V1	Média	35,17	33,08	1,06
R5-V1	Temp. Mínima	34,99	32,94	1,06
R5-V1	Temp. Máxima	35,43	33,27	1,06
R5-V1	Média	35,21	33,11	1,06
R1-V2	Temp. Mínima	30,37	29,17	1,04
R1-V2	Temp. Máxima	31,81	30,44	1,05
R1-V2	Média	31,00	29,81	1,04
R2-V2	Temp. Mínima	29,88	28,32	1,06
R2-V2	Temp. Máxima	31,39	29,31	1,07
R2-V2	Média	30,82	28,9	1,07
R3-V2	Temp. Mínima	29,7	27,94	1,06
R3-V2	Temp. Máxima	30,97	29,3	1,06
R3-V2	Média	30,3	28,55	1,06
R4-V2	Temp. Mínima	29,63	27,85	1,06
R4-V2	Temp. Máxima	31,15	29,17	1,07
R4-V2	Média	30,31	28,44	1,07
R5-V2	Temp. Mínima	29,65	28,16	1,05
R5-V2	Temp. Máxima	30,29	28,61	1,06
R5-V2	Média	29,98	28,41	1,06
Média Geral da Razão entre os Valores de Temperatura Diretas e Refletidas				1,06

5.4. Registro termográfico das mamas

Após a determinação da superfície refletora e do fator de correção correspondente a vista frontal refletida do protocolo 2. Iniciou-se então os registros térmicos através dos protocolos 1 e 2 respectivamente. Na **Figura 21** é possível observar algumas das imagens obtidas: à esquerda tem-se a imagem com a paciente em pé, conforme o protocolo 1, e à direita a imagem referente ao protocolo 2. As escalas das imagens refletidas foram ajustadas considerando o fator de correção de 1,06, para haver a correspondência térmica e possibilitar, também, a comparação visual entre os dois protocolos.

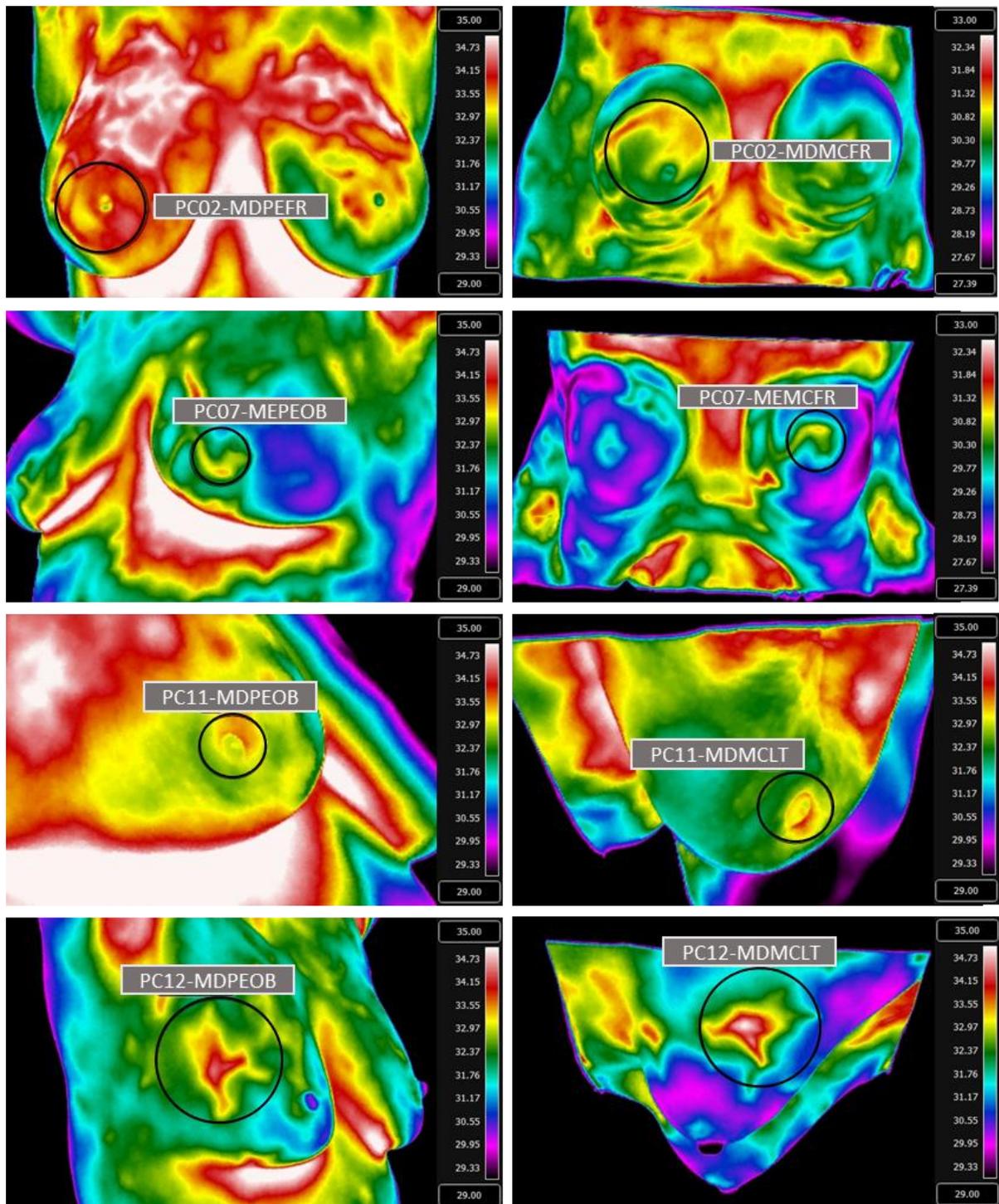


Figura 21: Termogramas protocolos 1 e 2. (a) Paciente 2, protocolo 1. (b) Paciente 2, protocolo 2. (c) Paciente 07, protocolo 1. (d) Paciente 07, protocolo 2. (e) Paciente 11, protocolo 1. (f) Paciente 11, protocolo 2. (g) Paciente 12 protocolo 1. (h) Paciente 12 protocolo 2. **Fonte:** Autor.

Conforme indicado na **Figura 22** com o protocolo 2 obteve-se a redução da hiper radiância na região inframamária, é importante ainda destacar que a escala da

imagem refletida foi ajustada considerando o fator de ajuste de 1,06 para haver a correspondência térmica e assim possibilitar a comparação dos protocolos.

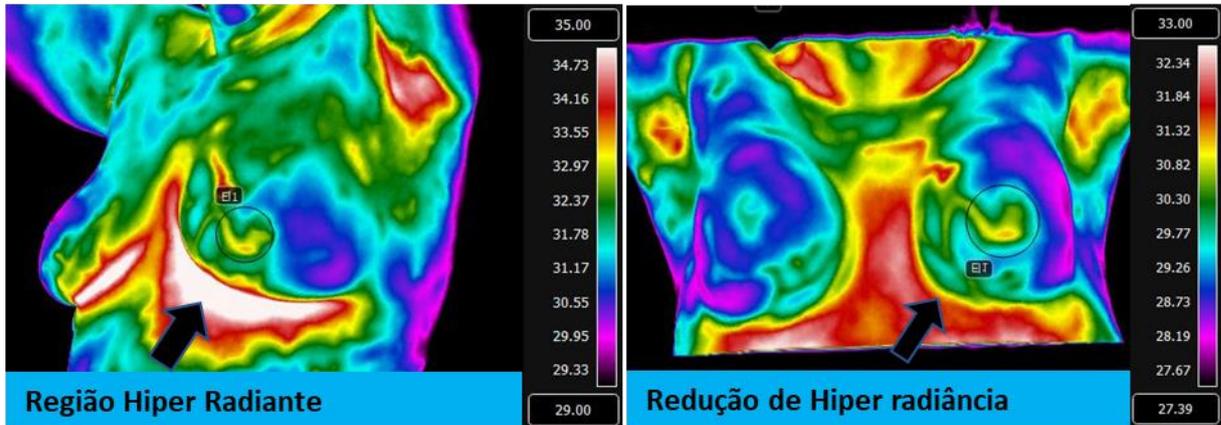


Figura 22: Redução da hiper radiância. (a) Protocolo 1 com hiper radiância. (b) Protocolo 2 hiper radiância reduzida. **Fonte:** Autor

5.5. Geração de gráficos e tabela dos termogramas

Após a obtenção dos arquivos CSV dos ROI's delimitados, foram tratados e analisados os dados através do software Origin 8.5. Foram gerados o gráfico *box-plot* conforme **Figura 23** bem como os histogramas conforme **Figura 24** e **Figura 25**.

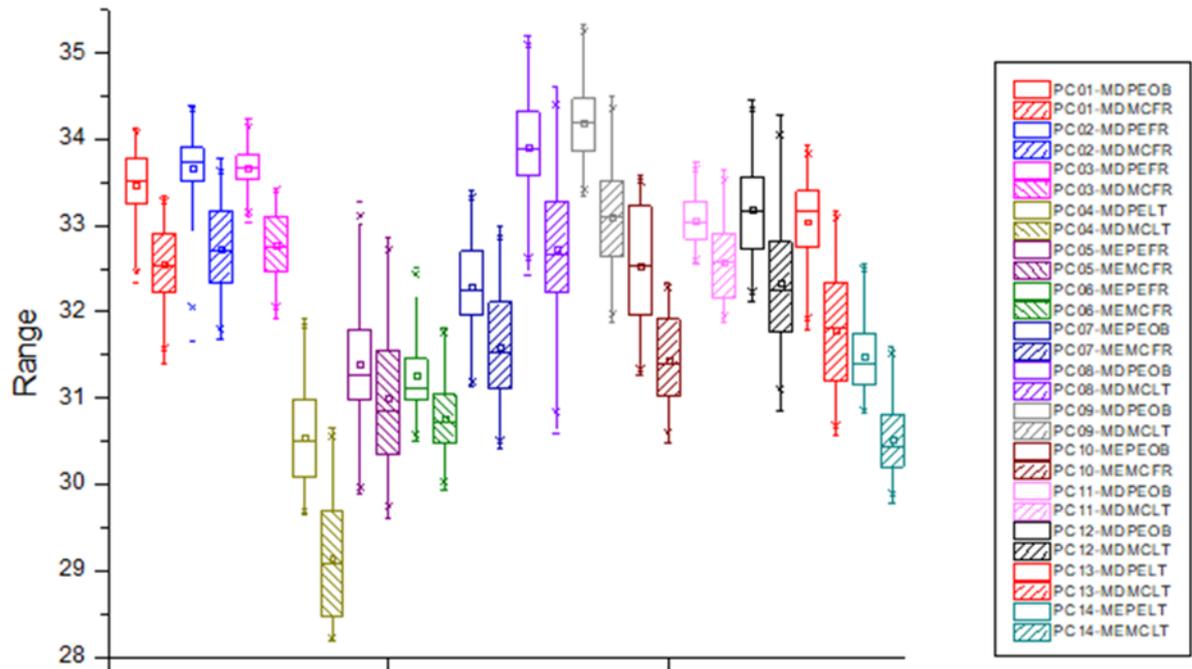


Figura 23: Box-plots das matrizes térmicas obtidas dos ROI's: à esquerda de cada par de box-plots a representação dos dados obtidos com o protocolo 1 e à direita com o protocolo 2. **Fonte:** Autor.

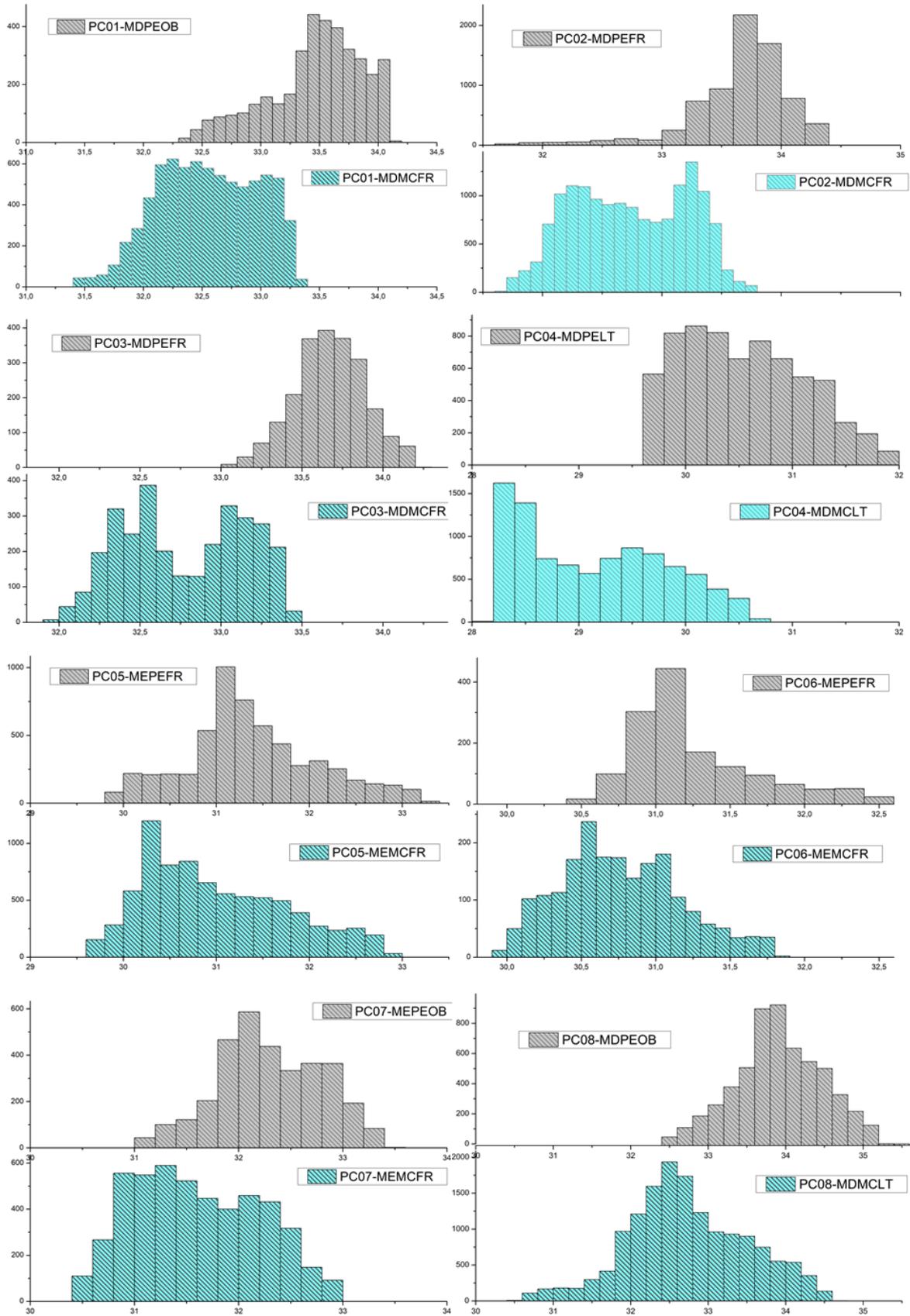


Figura 24: Histogramas comparativos pacientes 1 a 8. Em cinza o histograma resultante do protocolo 1 e em azul o histograma referente ao protocolo 2. **Fonte:** Autor

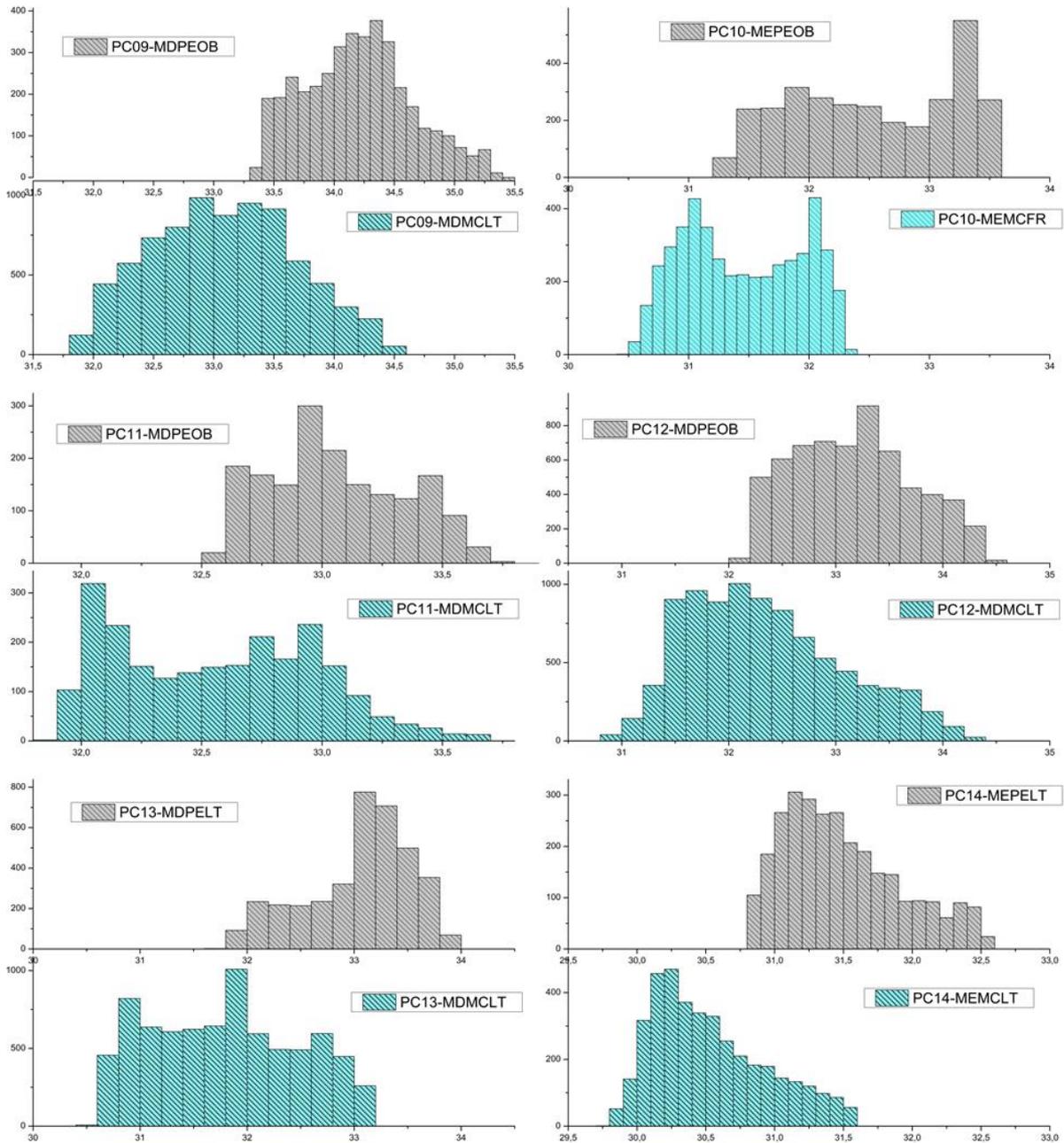


Figura 25: Histogramas comparativos pacientes 9 a 14. Em cinza o histograma resultante do protocolo 1 e em azul o histograma referente ao protocolo 2. **Fonte:** Autor

Também foram gerados através do Origin 8.5, as tabelas dos parâmetros estatísticos relativos aos dados processados. Tais tabelas foram então resumidas considerando a variação percentual que ocorreu em cada um dos parâmetros estatísticos avaliados, comparando-se o protocolo 2 ao protocolo 1. A **Tabela 2** a seguir demonstra a variação ocorrida.

Paciente	Média	Desvio Padrão	Variância	Assimetria	Curtose	Mínima	Média	Máxima
Paciente 01	-2,7%	5,3%	10,8%	-79,3%	374,6%	-3,7%	-2,9%	-2,9%
Paciente 02	-2,7%	15,1%	32,5%	-98,7%	-126,7%	-1,6%	0,1%	-3,0%
Paciente 03	-2,7%	73,8%	202,0%	-70,3%	731,0%	-1,6%	-3,3%	-2,7%
Paciente 04	-4,6%	20,6%	45,5%	-9,2%	36,3%	-4,4%	-4,9%	-4,7%
Paciente 05	-1,2%	6,7%	13,9%	53,4%	542,3%	-2,4%	-0,9%	-1,4%
Paciente 06	-1,6%	-5,7%	-11,0%	-66,8%	-184,3%	-1,4%	-1,9%	-1,3%
Paciente 07	-2,2%	21,4%	47,4%	-543,8%	67,2%	-2,4%	-2,3%	-2,2%
Paciente 08	-3,5%	39,8%	95,4%	-147,7%	-41,6%	-4,4%	-5,7%	-3,7%
Paciente 09	-3,2%	32,3%	75,1%	-57,8%	48,3%	-4,0%	-4,4%	-3,2%
Paciente 10	-3,4%	-27,5%	-47,4%	-169,1%	-3,5%	-3,9%	-2,5%	-3,5%
Paciente 11	-1,5%	46,0%	113,2%	-4,9%	4,1%	-2,7%	-2,1%	-1,4%
Paciente 12	-2,5%	29,3%	67,2%	129,1%	-38,7%	-3,6%	-3,9%	-2,8%
Paciente 13	-3,8%	39,5%	94,6%	-121,7%	155,4%	-4,0%	-3,8%	-4,1%
Paciente 14	-3,1%	-3,3%	-6,5%	1,1%	4,0%	-3,3%	-3,3%	-3,1%
Média das Variações	-2,8%	21,0%	52,3%	-84,7%	112,0%	-3,1%	-3,0%	-2,8%

Tabela 2: Variação percentual dos parâmetros estatísticos entre o protocolo 1 e protocolo 2.

Fonte: Autor

6 Discussão

Após a obtenção dos resultados, foi possível analisar a significativa melhora nos aspectos de contraste das regiões de hiper radiância das mamas para quase todas as pacientes. Esta é uma análise realizada visualmente, porém também demonstrada pelos parâmetros estatísticos que definem aspectos de imagem, principalmente os parâmetros relacionados ao afastamento dos dados em relação ao centro da curva como desvio padrão e curtose.

Os histogramas demonstram que há uma maior abrangência do espectro de temperaturas, o que se evidencia pela maior distribuição das frequências nos intervalos de classes representados. Isso significa que há um ganho de contraste na região de hiper radiância quando se compara o resultado entre a imagem obtida através do protocolo tradicional e aquela obtida através do protocolo proposto.

No que se refere aos histogramas e *box-plots* obtidos, nas imagens registradas pelo protocolo tradicional, observa-se uma maior frequência em torno de uma faixa mais estreita de temperatura, ou seja, para uma mesma área, existe uma maior

homogeneidade térmica, enquanto que para o protocolo proposto, observa-se pelos histogramas e *box-plots* obtidos, uma maior distribuição de frequências, ou seja, uma maior heterogeneidade térmica, fator este que é justamente o que se busca para uma maior definição da região tumoral.

Quando comparamos o protocolo proposto com o protocolo estático, o qual foi utilizado para este estudo, evidencia-se um ganho de contraste que pode auxiliar no suporte diagnóstico para câncer de mama; principalmente se for utilizado em conjunto com ferramentas de automação computacional como para segmentação do ROI e inteligência artificial.

A termografia das mamas que segue o método dinâmico tradicional, tem demonstrado maior especificidade, pois se baseia na propriedade de vaso constricção típica dos tecidos saudáveis, que acentua o contraste existente entre as regiões de tecido saudável (onde ocorre a vaso constricção) e as regiões com lesões mamárias malignas (onde a vaso constricção é prejudicada pela ausência das terminações nervosas), isso porque os tecidos tumorosos, os quais possuem uma vascularização acentuada, não possuem as terminações nervosas que atuam para a termorregulação, sendo assim, quando a região das mamas é submetida a um *stress* térmico, as regiões com tecido saudável tenderão a sofrer um resfriamento maior, ocasionado pelo efeito de vaso constricção, este, por sua vez é possível devido a capacidade de termorregulação na qual as terminações nervosas servem como sensores, que enviam ao cérebro a informação para agir a fim de conter a perda térmica do corpo. Um estudo envolvendo o modelamento tridimensional das mamas e a comparação entre o contraste do tumor comparando-se o método estático e dinâmico confirmou a vantagem do segundo método frente ao primeiro, no entanto identificou que esta vantagem é superior para tumores mais próximos da superfície (GONZÁLEZ; GONZÁLEZ; LÓPEZ, 2019).

De certa maneira o método proposto se assemelha em alguma medida ao método dinâmico, no que se propõem a realçar o contraste entre as regiões de hipertermia com relação as suas regiões adjacentes com temperatura mais baixa, no entanto, na abordagem proposta, é possível um resfriamento mais homogêneo das mamas, devido a maior área de contato com o ar ambiente mais frio, bem como a eliminação da sobreposição de tecidos presente quando utilizado o método tradicional, onde a mama acaba por ficar em uma posição anatômica que prejudica a

homogeneidade da distribuição dos tecidos; sobrepondo-se os tecidos, ocorrendo assim uma interferência térmica ocasionada por esta sobreposição conforme já constatado em estudos anteriores (JIANG; ZHAN; LOEW, 2011).

Fica evidente por exemplo, o quanto a temperatura presente na região submamária, pode interferir na temperatura dos quadrantes inferiores da mama, elevando, portanto, a temperatura nesta região e podendo inclusive atenuar a percepção de uma região hiper radiante.

Em um dos casos (paciente 14) das 14 pacientes submetidas aos protocolos 1 e 2, não se obteve alteração com relação ao contraste, provavelmente devido a região da localização da lesão, isso porque, como a lesão estava localizada na região lateral externa da mama, a qual sofre menor influência de eventuais sobreposições de tecido e interferências térmicas, não se obteve ganho de contraste, porém também não houve perda neste sentido. Em outro caso, (paciente 10) não se observou ganho de contraste pelo histograma, no entanto se obteve maior diferenciação entre as curvas, demonstrando uma maior separação dos grupos de temperaturas mais quentes e mais frias da região hiper radiante e suas adjacências.

7 Conclusão

Após a análise das imagens obtidas pelo método proposto, foi perceptível a melhora com relação ao contraste das regiões de hiper radiância. Também foi possível verificar a melhora com relação aos parâmetros estatísticos que evidenciam a melhora com relação ao contraste térmico. Uma maior distribuição de frequências em torno de temperaturas distintas evidencia uma maior diferenciação de áreas mais quentes com relação a áreas mais frias nas regiões da lesão e adjacências, de maneira que o método proposto se mostrou eficaz em reduzir o efeito térmico causado pela sobreposição de tecidos, além de ter contribuído para um maior resfriamento da mama, evidenciado pela redução da temperatura de forma ampla e para todas as pacientes. Também se alcançou os objetivos secundários, com a obtenção de uma superfície adequada de reflexão, que possibilitou um registro termográfico adequado das temperaturas das mamas, bem como se obteve importante contribuição para padronização do protocolo proposto e obtenção de banco de imagens para estudos futuros em termografia para câncer de mama.

8 Trabalhos futuros

Novos trabalhos poderão ser implementados, podendo integrar o uso de Inteligência Artificial e/ou para automação de segmentações de regiões de interesse, seja a fim de reduzir o tempo necessário para o processamento e análise, ou mesmo para minimizar eventuais falhas humanas durante os procedimentos de processamento e análise. Também pode haver contribuições importantes caso o protocolo proposto seja associado ao método dinâmico de termografia de mamas, podendo-se acentuar os ganhos e resultados obtidos até o momento com a aplicação deste protocolo. Outra possibilidade de trabalhos futuros seria a implementação de localização tridimensional do tumor, associando-se ao método proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKRAM, M.; IQBAL, M.; DANİYAL, M.; KHAN, A. U. Awareness and current knowledge of breast cancer. **Biological Research**, 50, n. 1, p. 1-23, 2017-10-02 2017. ReviewPaper.

ALABOUSI, M.; ZHA, N.; SALAMEH, J.-P.; SAMOILOV, L. *et al.* Digital breast tomosynthesis for breast cancer detection: a diagnostic test accuracy systematic review and meta-analysis. **European radiology**, 30, n. 4, 2020 Apr 2020.

ÁVILA FILHO, Saulo; SANTOS, Thais; SILVA, Luiz. ASPECTOS GERAIS, FÍSICOS E APLICABILIDADES MÉDICA VETERINÁRIA DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 17, n. 34, 2020.

Bernardes, A. (2011). Anatomia da mama feminina. *Manual de Ginecologia*, 2(12), 12-24.

BHOWMIK, M.; GOGOI, U. R.; DAS, K.; GHOSH, A. *et al.* Standardization of infrared breast thermogram acquisition protocols and abnormality analysis of breast thermograms. **undefined**, 2016.

BRASIL. ABC do Câncer: abordagens básicas para o controle do câncer. [S.l.]: Instituto Nacional de Câncer, Ministério da Saúde, 2018. Disponível em < <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files/media/document/livro-abc-4-edicao.pdf>>. [Acesso em: 21/11/2021].

BRASIL. Atualização em mamografia para técnicos em radiologia. [S.l.]: Instituto Nacional de Câncer, Ministério da Saúde, 2018.

BRASIL. Detecção Precoce do Câncer. [S.l.]: Instituto Nacional de Câncer, Ministério da Saúde, 2021. Disponível em :< https://www.inca.gov.br/publicacoes?keys=&field_ano_value=All&field_assuntos_tid%5B0%5D=755&field_tipo_de_publicacao_tid%5B0%5D=829&sort_by=field_ano_value&sort_order=DESC>. [Acesso em 28/11/2021].

BRASIL. Falando sobre câncer de mama. [S.l.]: Instituto Nacional de Câncer, Ministério da Saúde, 2002.

BRASILEIRO, F. R. D. S. **Análise de imagens termográficas para classificação de câncer de mama utilizando Rede Neural Convolutacional**. Orientador: SOUZA, R. M. C. R. D. 2021. 58 f. masterThesis - Centro de Informática Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/40116>.

BUZAID, A. C.; ACHATZ, M. I.; AMORIM, G. L. D. S.; BARRIOS, C. H. *et al.* Challenges in the journey of breast cancer patients in Brazil. **Braz J Oncol.**, 16, n. 0, p. 1-10, 2020.

CÔRTE, A. C. R. E.; HERNANDEZ, A. J. TERMOGRAFIA MÉDICA INFRAVERMELHA APLICADA À MEDICINA DO ESPORTE. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 22, p. 315-319, 2016.

EGHTEDARI, M.; TSAI, C.; ROBLES, J.; BLAIR, S. L. *et al.* Tomosynthesis in Breast Cancer Imaging: How Does It Fit into Preoperative Evaluation and Surveillance? **Surgical oncology clinics of North America**, 27, n. 1, 2018 Jan 2018.

FLIR. **How Does Emissivity Affect Thermal Imaging?** , 2021. Disponível em: <https://www.flir.com/discover/professional-tools/how-does-emissivity-affect-thermal-imaging/>. Acesso em: 27/03/2022.

GONZALEZ-HERNANDEZ, J.; RECINELLA, A.; KANDLIKAR, S.; DABYDEEN, D. *et al.* Technology, application and potential of dynamic breast thermography for the detection of breast cancer. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 2019.

GONZÁLEZ, F. J.; GONZÁLEZ, R.; LÓPEZ, J. C. Thermal contrast of active dynamic thermography versus static thermography. **Biomedical Spectroscopy and Imaging**, 8, p. 41-45, 2019.

JERÔNIMO, A. F. D. A.; FREITAS, Â. G. Q.; WELLER, M. Risk factors of breast cancer and knowledge about the disease: an integrative revision of Latin American studies. **Ciência & Saúde Coletiva**, 22, p. 135-149, 2017.

JIANG, L.; ZHAN, W.; LOEW, M. H. Modeling static and dynamic thermography of the human breast under elastic deformation. **Physics in medicine and biology**, 56, n. 1, 01/07/2011 2011.

KAKILETI, S. T.; MANJUNATH, G.; RAMPRAKASH, H. M. A. V. Advances in Breast Thermography. 2017/10/04 2017.

KANDLIKAR, S.; PEREZ-RAYA, I.; RAGHUPATHI, P.; GONZALEZ-HERNANDEZ, J. *et al.* Infrared imaging technology for breast cancer detection – Current status, protocols and new directions. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 2017.

KLARENBACH, S.; SIMS-JONES, N.; LEWIN, G.; SINGH, H. *et al.* Recommendations on screening for breast cancer in women aged 40-74 years who are not at increased risk for breast cancer. **CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne**, 190, n. 49, 12/10/2018 2018.

LEE, J. M.; ARAO, R.; SPRAGUE, B.; KERLIKOWSKA, K. *et al.* Performance of Screening Ultrasonography as an Adjunct to Screening Mammography in Women Across the Spectrum of Breast Cancer Risk. **JAMA internal medicine**, 179, n. 5, 05/01/2019 2019.

LOUVEIRA, M. H.; KEMP, C.; RAMOS, M. M.; FREITAS, A. *et al.* Densidade mamográfica assimétrica: como investigar? (Revisão de literatura e apresentação de rotina de investigação). **Radiologia Brasileira**, 37, p. 199-205, 2004.

M. CHARLTON, S. A. S., ZOË WHITMAN, V. WENN, T. COATS, M. SIMS, JONATHAN P THOMPSON. The effect of constitutive pigmentation on the measured emissivity of human skin. **undefined**, 2020.

MATOS, C. E. F. **Diagnóstico de câncer de mama em imagens mamográficas através de características locais e invariantes**. 2017. Dissertação -, UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/1324>.

MEOLA, Carosena (Ed.). Infrared thermography recent advances and future trends. 2012.

MIGLIORETTI, D. L.; LANGE, J.; BROEK, J. J. V. D.; LEE, C. I. *et al.* Radiation-Induced Breast Cancer Incidence and Mortality From Digital Mammography Screening: A Modeling Study. **Annals of internal medicine**, 164, n. 4, 02/16/2016 2016.

MIGOWSKI, A.; SILVA, G. A.; DIAS, M. B. K.; DIZ, M. D. P. E. *et al.* Diretrizes para detecção precoce do câncer de mama no Brasil. II - Novas recomendações nacionais, principais evidências e controvérsias. **Cadernos de Saúde Pública**, 34, 2018.

MILOSEVIC, M.; JANKOVIC, D.; MILENKOVIC, A.; STOJANOV, D. Early diagnosis and detection of breast cancer. **Technology and health care : official journal of the European Society for Engineering and Medicine**, 26, n. 4, 2018 2018.

OLIVEIRA, T. N. D.; SENNA, M. D. C. M. Políticas de control del cáncer de mama en Brasil. <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/caminhosdahistoria>, 2021-09-29 2021. Dossiê.

OMRANIPOUR, R.; KAZEMIAN, A.; ALIPOUR, S.; NAJAFI, M. *et al.* Comparison of the Accuracy of Thermography and Mammography in the Detection of Breast Cancer. **Breast care (Basel, Switzerland)**, 11, n. 4, 2016 Aug 2016.

PRABHA, S.; SUGANTHI, S.; SUJATHA, C. An approach to analyze the breast tissues in infrared images using nonlinear adaptive level sets and Riesz transform features. **Technology and health care : official journal of the European Society for Engineering and Medicine**, 23, n. 4, 2015 2015.

RESMINI, R.; SILVA, L. F. D.; MEDEIROS, P. R. T.; ARAUJO, A. S. *et al.* A hybrid methodology for breast screening and cancer diagnosis using thermography. **Computers in biology and medicine**, 135, 2021 Aug 2021.

SINGH, D.; SINGH, A. K. Role of image thermography in early breast cancer detection- Past, present and future. **Computer methods and programs in biomedicine**, 183, 2020 Jan 2020.

SOCIETY, A. C. **What Is Breast Cancer?** , 2021. Disponível em: <https://www.cancer.org/cancer/breast-cancer/about/what-is-breast-cancer.html>.

SOUSA, G. C. P.; DUARTE, Raimundo NC. Radiação Térmica em Superfícies Seletivas, 2016.

SPEAKMAN, J.; WARD, S. (PDF) Infrared thermography: Principles and applications. 1998.

STACHS, A.; STUBERT, J.; REIMER, T.; HARTMANN, S. Benign Breast Disease in Women. **Deutsches Arzteblatt international**, 116, n. 33-34, 08/09/2019 2019.

TELLO-MIJARES, S.; WOO, F.; FLORES, F. Breast Cancer Identification via Thermography Image Segmentation with a Gradient Vector Flow and a Convolutional Neural Network. **Journal of Healthcare Engineering**, 2019, 2019/11/03 2019. Research Article.

USAMENTIAGA, Rubén et al. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. **Sensors**, v. 14, n. 7, p. 12305-12348, 2014.

WANG, L. Early Diagnosis of Breast Cancer. **Sensors (Basel, Switzerland)**, 17, n. 7, 07/05/2017 2017.

YUAN, W.-H.; HSU, H.-C.; CHEN, Y.-Y.; WU, C.-H. Supplemental breast cancer-screening ultrasonography in women with dense breasts: a systematic review and meta-analysis. **British Journal of Cancer**, 123, n. 4, p. 673-688, 2020-06-12 2020. OriginalPaper.