

# Construção de *phantom* de mama a partir de materiais de baixo custo para avaliação da qualidade da imagem por ultrassonografia

## Construction of a breast phantom from low-cost materials for image quality assessment by ultrasound

S. S. V. S. Lima<sup>1</sup>, P. G. O. Santos<sup>3</sup>, A. V. B. Gonçalves<sup>3</sup>, F. A. Santos<sup>2</sup>, D. N. Souza<sup>1</sup>, F. A. R. Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundação Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil.

<sup>2</sup>Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares

<sup>3</sup>CEMISE - Centro de medicina integrada de Sergipe

### Resumo

A Resolução da ANVISA, a RDC nº 611/22 preconiza, entre outras regulamentações, os testes de controle de qualidade dos equipamentos de radiodiagnóstico médico e trazem como novidade o estabelecimento de critérios de avaliação da qualidade da imagem nos equipamentos emissores de radiação não ionizante. A principal proposta do estudo é o desenvolvimento de um *phantom* de mama com implante de silicone confeccionado com materiais de baixo custo para avaliar a qualidade da imagem de ultrassonografia. O *phantom* foi elaborado a partir de materiais que, por conta da interação com o som, mimetizam a imagem do tecido mamário por ultrassom. No material base do simulador foi inserida uma prótese mamária de silicone, estruturas que simulam na imagem os principais achados clínicos da mama e estruturas testes para a avaliação da qualidade da imagem. Conclui-se, através da avaliação quantitativa dos principais parâmetros físicos da interação de cada material com o ultrassom, que os valores apresentaram propriedades ultrassonográficas semelhantes aos descritos na literatura como característicos do tecido mamário, valores também comparados aos parâmetros estabelecidos por um *phantom* comercial e valores representativos de tecidos biológicos, como tecido mole e gordura. Os resultados da avaliação qualitativa da imagem produzida do *phantom* mostraram uma relação muito próxima entre as imagens do dispositivo criado e as imagens reais do tecido mamário, com os principais achados clínicos, e as inclusões que simulam as estruturas teste de qualidade da imagem. O *phantom* proposto, se mostrou com a capacidade de servir para teste de controle de qualidade da imagem, podendo ser usado para o aperfeiçoamento da visualização de mamas com implante de silicone, potencializando o seu uso em treinamentos de equipes multiprofissionais.

**Palavras-chave:** Ultrassom; *phantom* de mama; implante de silicone; testes de controle de qualidade; treinamento profissional.

### Abstract

ANVISA Resolution, RDC nº 611/22 proposes, among other regulations, quality control tests of medical radiodiagnostic equipment and, as a news, the establishment of evaluation of image quality assessment in non-ionizing radiation emitters. The main purpose of the study is the development of a breast phantom with silicone implant made with low-cost materials for the assessment of image quality ultrasound. The phantom was created based on a material that, due to the interaction with sound, mimic the image of the breast tissue by ultrasound. In the base material, a silicone breast implant was inserted, simulator structures of the main clinical findings found in the breast, and structures for image quality control tests. It is concluded, through the quantitative evaluating of the physical parameters of the interaction of each material with the ultrasound, properties similar to those described in the literature to mimic the breast tissue, values also compared to the parameters of a commercial phantom and characteristic values of biological tissues, such as soft tissues and fat. The results of the qualitative evaluation of the image produced from the phantom showed a very close relationship between the device created with the real breast tissue, with the main clinical findings, and the inclusions that simulate the image quality test structures. The proposed phantom proved to be capable of serving as a quality control test, and can be used to improve the visualization of breast tissue with silicone implants, enhancing its use in training multidisciplinary teams.

**Keywords:** Ultrasound, breast phantom, silicone implant, quality control tests, professional training.

### 1. Introdução

O exame de ultrassonografia da mama, ao longo do tempo, ganhou muita relevância ao ponto de se tornar o exame complementar da mamografia no diagnóstico do câncer de mama. O câncer tem como principal característica o crescimento desordenado de células com mutações genéticas e o seu potencial invasivo que o permite se espalhar para outros tecidos. Estudos indicam que hábitos saudáveis podem evitar o risco de contrair o câncer, porém a taxa de mortalidade atribuída a essa doença continua

alta e, segundo o INCA, a provável causa disso é a sua detecção tardia (1).

A mamografia é um exame de alta sensibilidade, porém, essa capacidade varia de acordo com alguns fatores, entre eles a densidade da mama que influencia no poder de absorção dos raios x ocasionando uma redução na visualização do tecido, diminuindo o contraste (2). Conforme as limitações da mamografia, métodos de imagens complementares, como a ultrassonografia, vêm sendo usados como aliados para um aprimoramento do diagnóstico do câncer de mama (3).

Após a década de 1990, a ultrassonografia ganhou destaque, por ser um exame que não utiliza radiação ionizante, por possuir grande versatilidade na aquisição da imagem, propiciar um alto custo benefício, não ser um método invasivo e ter a capacidade de caracterizar nódulos, sólidos e cistos, em imagens em tempo real.

Outro fator importante para o trabalho é sobre o uso das próteses de silicone, que da mesma forma que a taxa de mortalidade pelo câncer aumenta, a procura por cirurgias estéticas e de reconstrução da mama vem se tornando uma das cirurgias mais frequentes, e a introdução do implante de silicone no tecido mamário, nessas cirurgias, se torna um fator que influencia na percepção plena do tecido pelo médico, por conta da mudança na metodologia de obtenção do exame (4).

Em um artigo que se refere ao procedimento que envolve mamas com implante de silicone, publicado por Movahed, 2007 (5), relata que o uso da prótese influencia nos resultados do exame devido às diferenças acústicas entre o material do objeto e os diferentes órgãos e tecidos investigados, o que faz com que a visualização da imagem seja reduzida, prejudicando o poder diagnóstico (6).

Para obtenção de uma melhor investigação são utilizados objetos simuladores, *phantoms*, que se assemelham às características do tecido mamário para fazer análises sem exposição do paciente. Esses objetos, são utilizados tanto no controle de qualidade dos equipamentos, como para o treinamento dos profissionais na aquisição das imagens (2).

No Brasil, visando a melhoria da qualidade do diagnóstico médico, focando nos procedimentos, ou em testes de controle de qualidade, são estabelecidas normas como a Resolução de Diretoria Colegiada, a RDC nº 611/22, emitida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, ANVISA (7).

A RDC nº 611/22 trata da legislação que regulamenta as diretrizes sanitárias para o funcionamento de estabelecimentos de radiodiagnóstico médico ou intervencionista, do controle das exposições médicas em decorrência ao uso de tecnologias radiológicas diagnósticas e em processos que irão garantir a qualidade das imagens e a segurança dos pacientes. Essa Resolução engloba normas para procedimentos de diagnósticos por imagem, incluindo o ultrassom, que mesmo não transmitindo radiação ionizante tem a necessidade da efetivação de testes para avaliação da qualidade.

O objetivo do presente trabalho é a elaboração de um objeto simulador, *phantom*, confeccionado a partir de materiais de baixo custo, para a avaliação da qualidade da imagem de mamas com implante de silicone. Sendo inseridas para avaliação clínica, estruturas que simulam os principais achados clínicos da mama, como cisto, fibroadenoma e carcinoma, e para avaliação física, estruturas que simulam os padrões de ecotexturas e artefatos da imagem por ultrassom.

## 2. Materiais e Métodos

A construção do objeto simulador foi desenvolvida conforme a perspectiva da funcionalidade do produto final, levando em consideração três etapas: a elaboração do material base, que tem como objetivo, simular o material mimetizador do tecido mamário tendo em vista a sua interação com o ultrassom; a elaboração das inclusões, que são os dispositivos simuladores dos principais achados clínicos encontrados na avaliação clínica do tecido mamário que, juntamente com a prótese de silicone, faz parte da investigação, objeto do trabalho, no conjunto de avaliação de parâmetros físicos da interação do ultrassom com os materiais e de análise do contraste da imagem; a produção e avaliação das imagens de ultrassom no intuito de relacionar a imagem do simulador com a imagem real do tecido mamário. Nos itens a seguir, são apresentados os materiais e métodos empregados em cada etapa.

### 2.1. Etapa 1: Elaboração do Material Base.

Um bom material mimetizador é um material que busca simular, o mais preciso possível, as características do tecido biológico real. A relação entre o material mimetizador e o tecido real se estabelece pela análise de parâmetros físicos através da interação com o ultrassom, parâmetros esses, que devem ser comuns tanto para o simulador como para o tecido biológico. No desenvolvimento do estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica a fim de obter referenciais teóricos sobre os tipos de materiais utilizados para elaboração do material base simulador do tecido mamário e dos parâmetros físicos importantes na caracterização desse material.

Para produção do material base simulador foi empregada parafina em gel. Esse é um material não tóxico, incolor e inodoro, usado comumente na fabricação de velas e artesanato. Tem como característica ser um polímero termoplástico em conjunto com um óleo mineral hydrogenado, de composição química na forma  $(C_nH_{2n+2})_{n>20}$ , um hidrocarboneto; com massa atômica formada a partir de 85% de carbono e 15% de hidrogênio. É uma substância apolar, e assim, insolúvel em água e ponto de fusão entre 47° e 65° Celsius. A parafina gel no material base corresponde a 98%, sendo que os 2% restantes correspondem aos materiais que objetivam alterar a concentração e a constituição dessa base, funcionando como elementos espalhadores. Tais materiais foram testados na mistura com a parafina gel em busca do material que apresentava a melhor configuração mimetizadora do tecido mamário.

Foram usados materiais como o acrílico em pó, tendo composição química descrita por  $(C_5H_8O_2)_n$ , numa composição de 8% de hidrogênio, 32% de oxigênio e 60% carbono. O talco, material comercialmente usado como antisséptico no formato de partículas sólidas granuladas, composto de óxido de zinco, ácido salicílico, enxofre, ácido bórico, amido e aromatizantes. E finalmente, o grafite em pó, material à base de carbono, inodoro, com aspecto

cinza escuro e brilho metálico, com ponto de fusão de 3338 °C.

O estudo para determinação da composição final do material base foi realizado por meio da preparação de cinco amostras diferentes: parafina gel pura, amostra 1; mistura entre a parafina gel e o acrílico, denominada amostra 2; combinação entre a parafina gel e o talco em pó, amostra 3; a mistura entre a parafina gel e o grafite, nomeada amostra 4; e o composto de parafina gel, acrílico e grafite, intitulada amostra 5.

A produção das amostras foi efetuada no Laboratório de Física Médica do Departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe. As quantidades empregadas na preparação das amostras foram estabelecidas através de estudos sobre a melhor composição obtida em análises dos parâmetros físicos da interação dos materiais com o ultrassom.

Após pesagem, a parafina gel foi colocada em um béquer de 250 ml e submetida ao processo de derretimento em um agitador magnético, aquecido a uma temperatura na faixa de 80 a 100°C. Com a parafina totalmente derretida, já no estado líquido, foi iniciado o procedimento de produção das amostras, de modo que, cada elemento foi adicionado de forma fracionada, com constante movimentação do composto, evitando assim, o aparecimento de uma segunda fase indesejada na mistura. Finalizado o processo, as amostras foram deixadas em descanso por 24 horas em temperatura ambiente, evitando a formação de bolhas e alcançando uma consistência suficiente para desenformá-las dos béqueres. A Figura 1, a seguir, apresenta a imagem final do processo de elaboração das amostras.



Figura 1. Processo de elaboração das amostras do material base.

## 2.2. Etapa 2: Elaboração das inclusões que simulam os achados físicos e clínicos do simulador.

As inclusões são elementos inseridos no *phantom* para simular os achados clínicos e físicos. Os achados clínicos mais comuns no tecido mamário, e os achados físicos que servirão como parâmetro de avaliação da qualidade da imagem. Estes materiais reproduzem aspectos diagnósticos característicos do cisto, fibroadenoma, carcinoma, dentro de uma análise clínica. No que se refere aos parâmetros físicos, têm-se o alto (hiperecótico), médio

(hipoecótico) e baixo contraste (anecótico), fatores de resolução espacial e lateral, e a percepção da resolução de contraste de cada achado com o seu entorno que simula o tecido mamário.

Na elaboração dos achados clínicos foram utilizados diversos materiais, dentre eles: a cera de abelha, cera de carnaúba, resina acetato de vinila (EVA), policloreto de vinila (PVC), silicone acético, parafina gel, acrílico, talco, grafite, porcelana e hidrogel. Cada elemento simulador de achado clínico e físico foi planejado e produzido no mesmo formato do material que simula o tecido mamário, ou seja, formado pela mistura de um material base e um outro material considerado objeto espalhador. Para confecção das inclusões foram realizados estudos baseados em referências bibliográficas, as quais compreendem o presente contexto.

O objeto que simula cisto mamário, possui um aspecto ultrassonográfico representado por uma imagem circunscrita regular, de fundo enegrecido e baixo nível de ecogenicidade (anecótico). Referente ao material simulador do carcinoma, lesão mamária que tem aspecto ultrassonográfico caracterizado por uma imagem com brilho, formato irregular (espiculado), com alto nível de ecogenicidade (hiperecótico). E por fim, o fibroadenoma, achado clínico correspondente a uma imagem de aspecto circular uniforme, distribuição homogênea de brilho em sua parte interna, e nível intermediário de ecogenicidade (hipoecótico). A Figura 2 apresenta o modelo das estruturas teste que foram inseridas no material base, que têm como proposta servirem como dispositivos para avaliação da qualidade da imagem de ultrassom.



Figura 2. Inclusões inseridas no material base como dispositivos teste.

## 2.3. Etapa 3: Aquisição e análise das imagens.

Com o material base e as inserções montadas, foram realizadas as aquisições das imagens ultrassonográficas. Para isso, foi utilizado aparelhos de ultrassom disponibilizados pela Unidade de Imagem do Hospital Universitário da Universidade Federal de Sergipe e pela CEMISE MULHER – Mastologia e Obstetrícia, setor do Grupo CEMISE - Centro de Medicina Integrada de Sergipe, EIRELI.

Os aparelhos empregados na obtenção das imagens são da marca PHILIPS, modelo Affiniti 70,

regulados no modo Preset Mama; modo B; transdutor linear, potência acústica B/M (%) – (100%); profundidade da imagem (7cm); profundidade do foco (%) – (95); ganho (70%); Frequência (MHz) – (5-18).

Com as imagens produzidas, foram realizadas as análises de forma qualitativa na caracterização das imagens, em comparação com as imagens reais do tecido biológico feita por uma profissional médica, especialista, inscrita na Sociedade Brasileira de Mastologia (SBM), e com expertise apropriada na identificação de achados clínicos de alteração do tecido mamário. Outras avaliações, referentes aos parâmetros físicos e de desempenho dos equipamentos de ultrassom foram realizadas com a colaboração de Físicos Médicos, especialistas pela Associação Brasileira de Física Médica (ABFM), habituados na avaliação das imagens diagnósticas em sua rotina clínica. Os mesmos contribuíram nas análises dos níveis de contraste previamente estabelecidos, ou por fatores quantitativos efetivados através de softwares de domínio público, como o *ImageJ* (*Image Processing and Analysis in Java*), ou planilhas e gráficos usando a ferramenta do Microsoft Office, o Excel.

### 3. Resultados

A análise dos resultados levou em consideração uma avaliação do material base como objeto mimetizador do tecido mamário de maneira quantitativa, feita pelos parâmetros físicos da interação do ultrassom com os diversos materiais, da sua percepção visual em termos de imagem associada à presença do implante de silicone, e da avaliação das imagens dos dispositivos teste inseridos no material base.

Foi utilizado o *phantom* comercial, disponibilizado pelo serviço de imagem do Hospital Federal de Aracaju, modelo 404GS LE (*Precision Small Parts Gray Scale Phantom*) como padrão na comparação dos valores estabelecidos como parâmetros físicos, bem como, na comparação das imagens adquiridas a serem avaliadas, por se tratar de um dispositivo já certificado.

#### 3.1. Análise 1: Avaliação de parâmetros físicos do material base como material mimetizador do tecido mamário.

Os parâmetros físicos para avaliação de qual material seria o mais indicado como objeto mimetizador do tecido mamário, foram descritos por: nível de contraste, uniformidade, velocidade de propagação, densidade, e impedância acústica.

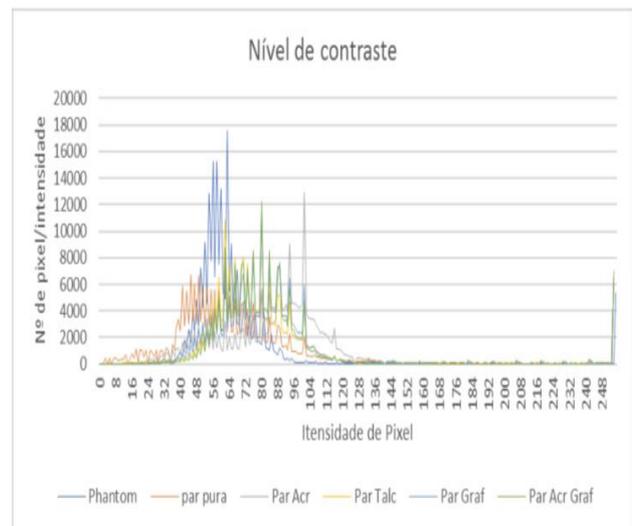
A imagem de ultrassonografia é caracterizada pelo índice de *speckle*, que representa a relação entre pontos brilhantes e escuros na imagem, indicando a escala de cinza em termos da amplitude do sinal. Uma imagem mais clara indica a máxima amplitude, sendo representada por pontos brancos, e uma imagem mais escura, indica a mínima amplitude apresentando pontos mais escuros.

Desta forma, um item de avaliação da qualidade da imagem é a distribuição de *speckle*, considerando determinado nível de contraste. Nele, tem-se a

função entre a intensidade de pixel e o número de pixel da imagem.

No estudo sobre a melhor composição, a fim de definir a mistura mais adequada de materiais para simular o tecido mamário, o nível de contraste foi usado para verificação da distribuição do brilho, tendo como base a avaliação da intensidade de pixel feita nas imagens modo B. O resultado é mostrado através do histograma para as diferentes concentrações e granulações dos materiais inseridos como objeto espalhador.

A Figura 3 apresenta, de forma agrupada, os histogramas obtidos nas análises das imagens referentes aos materiais usados como mimetizadores do tecido mamário na imagem de ultrassom no modo B.



**Figura 3.** Histogramas agrupados da intensidade de pixel das amostras analisadas.

Os histogramas ilustram a distribuição dos níveis de pixel de todos os materiais usados. Percebe-se, pelo comportamento das amostras no gráfico, um perfil muito próximo ao do *phantom* comercial certificado, o que pode ser observado na Figura 3 pela sobreposição dos histogramas referentes às amostras e do histograma referente ao *phantom* comercial. Reforçando assim, a capacidade desses materiais serem utilizados como efetivos simuladores do tecido mamário.

Outro parâmetro físico avaliado na busca do material mais adequado foi o da uniformidade, parâmetro esse que possibilita avaliar a distribuição do brilho na imagem considerando o sinal de entrada e saída do som no material, medido como potência sonora e tendo como unidade o decibel (dB).

A Tabela 1 apresenta o resultado da avaliação da uniformidade e distribuição do nível de pixel nos diferentes tipos de materiais usados como base do simulador.

Nota-se, com os valores apresentados na Tabela 1, que as composições que demonstraram melhores resultados foram: parafina e grafite; e parafina, acrílico e grafite, com valores de 0,25 e 0,01, respectivamente. Obtendo assim, a dimensão da regularidade da distribuição do brilho na imagem,

demonstrado pelos valores muito próximos dos sinais de entrada e saída de ultrassom na amostra. Destaca-se o valor da mistura composta por parafina, acrílico e grafite.

**Tabela 1.** Dados da avaliação dos valores da uniformidade dos materiais.

Material	Sinal de entrada (I0)	Sinal de saída (I)	Uniformidade (dB)
Parafina pura	44,68	53,42	0,77
Parafina e acrílico	97,62	56,89	-2,34
Parafina e talco	74,11	98,86	-28,74
Parafina e grafite	90,82	96,25	0,25
Parafina, acrílico e grafite	89,81	90,11	0,01

Fonte: O autor (2021).

Alguns resultados são apresentados levando em consideração os valores de referência estabelecidos para o tecido biológico real, a exemplo disso, temos os parâmetros que foram usados para a caracterização do material base do simulador: densidade, velocidade de propagação do som no material e a impedância acústica. O parâmetro densidade foi medido em cada composição do material base a partir da medida da massa (kg) e volume ( $m^3$ ) de cada amostra. A Tabela 2 exibe os valores obtidos em cada amostra e o resultado da densidade em comparação com o tecido mamário e água.

**Tabela 2.** Massa, volume e densidade de cada amostra.

Material	Densidade ( $kg/m^3$ )
Parafina pura	976
Parafina e acrílico	977
Parafina e talco	929
Parafina e grafite	929
Parafina, acrílico e grafite	931
Tecido mamário	1020
Água (20° C)	1000

Fonte: O autor (2021)

Conforme a Tabela 2, dos valores de densidade estabelecidos pelas amostras, em relação ao valor de referência do tecido mamário, verifica-se uma margem de erro menor que 10%, indicando uma relevante aproximação dos materiais apresentados com o tecido real, favorecendo a aplicabilidade das amostras como objeto mimetizador.

O valor da velocidade de propagação do som em cada amostra foi adquirido através do cálculo de uma regra de três simples, tendo como parâmetros o valor da velocidade do som de calibração do aparelho (1540 m/s), a espessura média de cada amostra medida na imagem de ultrassom e na imagem real. Os valores da velocidade de propagação do som nas amostras são apresentados na Tabela 3 que, ao tempo, apresenta valores de referência estabelecidos no tecido biológico real.

**Tabela 3.** Parâmetros da velocidade do som nas amostras.

Material	Velocidade de propagação (m/s)
Parafina pura	1524,5
Parafina e acrílico	1531,3
Parafina e talco	1542,2
Parafina e grafite	1540,0
Parafina, acrílico e grafite	1535,6
Tecido mole	1540
Gordura	1475
Mama	1510

Fonte: O autor (2021)

Por fim, o parâmetro físico usado para análise da caracterização do material base foi o da impedância acústica ( $kg/m^2.s$ ), calculado pelo produto entre os parâmetros de densidade ( $kg/m^3$ ) e da velocidade de propagação (m/s). Os valores da impedância acústica em cada amostra são apresentados na Tabela 4, a seguir.

**Tabela 4.** Resultado dos valores da impedância nas amostras investigadas e valores de referência.

Material	Impedância acústica ( $Kg/m^2.s$ )
Parafina pura	$1,49 \times 10^6$
Parafina e acrílico	$1,50 \times 10^6$
Parafina e talco	$1,43 \times 10^6$
Parafina e grafite	$1,43 \times 10^6$
Parafina, acrílico e grafite	$1,43 \times 10^6$
Tecido mole (valor médio)	$1,63 \times 10^6$
Gordura	$1,38 \times 10^6$
Mama	$1,54 \times 10^6$

Fonte: O autor (2021)

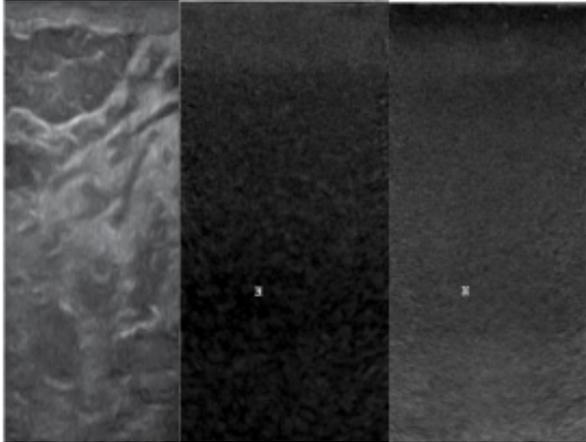
As Tabelas 2, 3 e 4 exibem os valores dos parâmetros físicos avaliados na composição dos elementos usados como material base do simulador proposto no presente estudo. Pelo exposto, percebe-se que os valores apresentados estão muito próximos aos valores de referência de tecidos biológicos reais apontados pela literatura, habilitando as misturas como materiais mimetizadores. Com a avaliação de todos os parâmetros, os resultados da amostra composta pela mistura entre parafina e grafite; e a amostra contendo parafina, acrílico e grafite foram os que mais se destacaram.

### 3.2. Análise 2: Avaliação qualitativa na análise das imagens do material base e das inclusões no objeto simulador proposto.

Com a obtenção dos resultados quantitativos dos parâmetros físicos para a identificação da melhor composição do material base, conclui-se que a amostra ideal para a confecção do *phantom* foi a mistura entre a parafina, acrílico e grafite. A escolha foi feita considerando que o material obteve o melhor resultado na distribuição homogênea do brilho, e valores de densidade, velocidade de propagação do som e impedância acústica muito próximos aos de referência de tecidos biológicos reais que se assemelham ao tecido mamário. Além dos

indicadores quantitativos, outro fator na escolha do material base do simulador foi o da imagem ultrassonográfica.

O aspecto da imagem de cada material em relação ao tecido mamário real também foi levado em consideração. A Figura 4 apresenta uma comparação entre a imagem do tecido mamário real, e as imagens das amostras de parafina e grafite; e a de parafina, acrílico e grafite.



**Figura 4.** Da esquerda para direita, a imagem da mama real (8), amostra parafina e grafite e amostra parafina, acrílico e grafite.

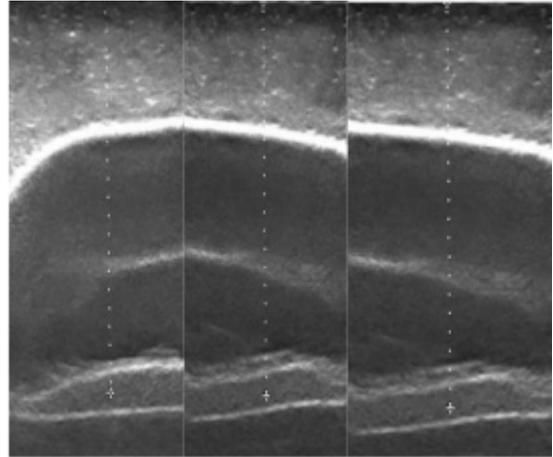
Através da correlação entre as imagens, pode-se perceber que a mistura compreendida pela parafina gel, acrílico e grafite mostra um *speckle* muito semelhante ao da mama real, distribuição de brilho referente a ecogenicidade, atribuído pela estrutura do material espalhador acrílico, que demonstrou maior representatividade que a mistura entre parafina e grafite. Embora a mistura entre a parafina e grafite apresente uma imagem que também pode mimetizar o tecido mamário, mesmo com um nível de ecogenicidade menor (hipoecóico).

De posse das informações da composição do material base, foi montado o *phantom* proposto. O objeto simulador, mistura de parafina em gel, acrílico e grafite, foi acondicionado em uma estrutura de acrílico, numa dimensão de 130 x 130 x 58,3 mm, apresentando uma massa total de 784 g. O aspecto externo da estrutura do *phantom* já finalizado com todas as inclusões é apresentado pela Figura 5.



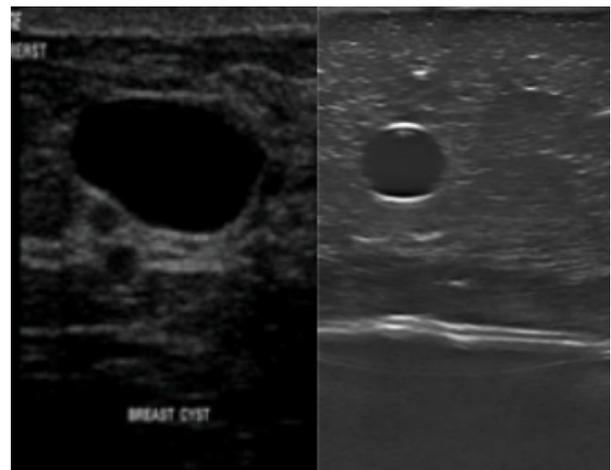
**Figura 5.** Aspecto final do *phantom* proposto. Da direita para esquerda, vista superior, vista frontal e vista lateral.

A partir da elaboração do objeto simulador, foram adquiridas as imagens internas tendo como objetivo a visualização e análise qualitativa das inclusões inseridas no material base. A seguir, uma sequência de figuras apresenta a composição do material base, simulando o tecido mamário com o implante da prótese de silicone, as inclusões simulando cisto, fibroadenoma e carcinoma, seguida das inclusões para avaliação do baixo, médio e alto contraste. A Figura 6 exibe a imagem interna do *phantom* proposto, demonstrando a relação entre o tecido mamário e o implante de silicone.



**Figura 6.** Imagem do *phantom* na simulação entre o tecido mamário e implante de silicone.

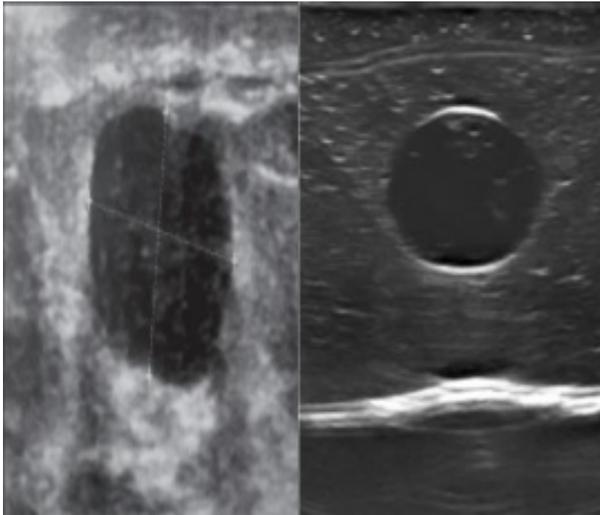
Na análise da relação do achado clínico simulador do cisto e a imagem real, a Figura 7 apresenta à esquerda a imagem de um cisto envolto do tecido mamário obtido na literatura e à direita, o dispositivo inserido no *phantom*. Em ambas as imagens o achado clínico possui um aspecto circunscrito regular, ovalado, com baixo nível de eco, hipoecóico, e bordas bem definidas.



**Figura 7.** Análise entre a imagem real de um cisto no tecido mamário (9), à esquerda, e a imagem do achado clínico no simulador proposto, à direita.

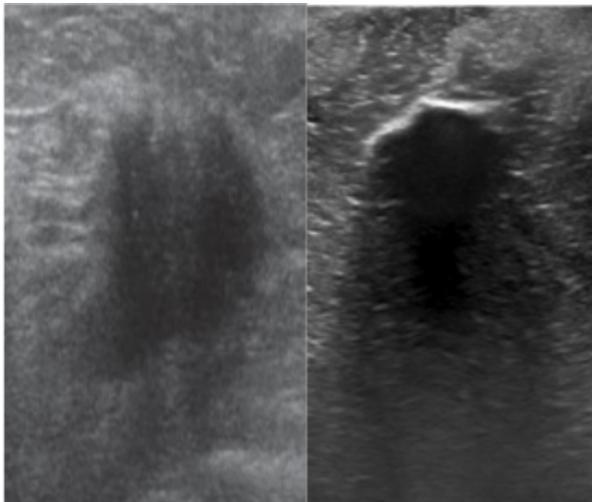
Comparando a imagem real e a imagem no simulador, a Figura 8 expõe o achado clínico fibroadenoma. A imagem é caracterizada pelo nível de eco intermediário, hipoecóico, com o formato circunscrito ou ovalado, textura homogênea, bordas

definidas, e com ausência de sombra acústica posterior.



**Figura 8.** Análise entre a imagem real de um fibroadenoma no tecido mamário (10), à esquerda; e a imagem do achado clínico no simulador proposto, à direita.

O último achado clínico a ser analisado trata-se do carcinoma, que na imagem de ultrassom tem aspecto de uma massa heterogênea, com diâmetro não uniforme, orientação não paralela à pele, formato irregular, ecogenicidade variável, predominantemente hipoecóico. A Figura 9, mostra a imagem de um carcinoma em uma mama real e a imagem da estrutura simuladora do carcinoma no *phantom*.

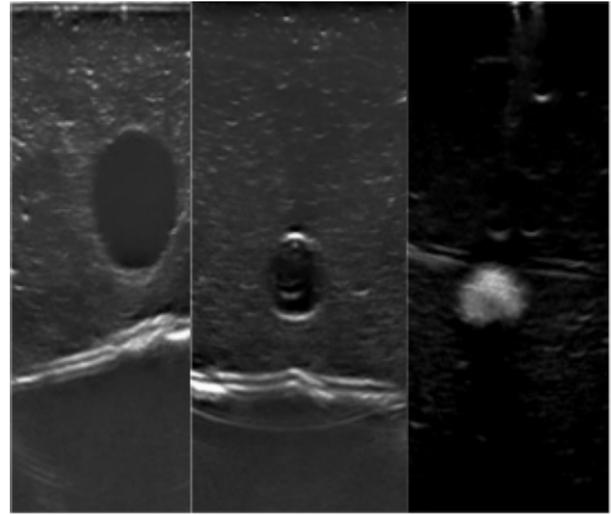


**Figura 9.** Análise entre a imagem real de um carcinoma no tecido mamário (8), à esquerda; e do achado clínico no simulador proposto, à direita.

Todas as análises foram realizadas com a colaboração de uma profissional médica, membro da Sociedade Brasileira de Mastologia, a médica mastologista Aline Valadão Britto Gonçalves, com registro no Conselho Regional de Medicina (CRM-SE) nº 3317, e Registro de Qualificação de Especialista (RQE) nº 2090.

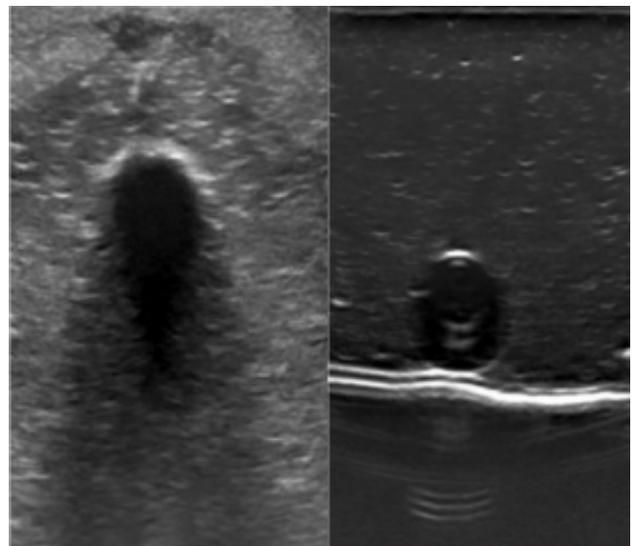
Na percepção dos parâmetros físicos de baixo, médio e alto contraste foram inseridas inclusões que proporcionam uma variação de brilho dado pela diferença dos 3 tipos de níveis de ecogenicidade, na

ordem, anecóico, hipoecóico e hiperecóico. Exibidos a seguir, na Figura 10.



**Figura 10.** Diferentes níveis de ecogenicidade. Da esquerda para direita: anecóico, hipoecóico e hiperecóico.

Na imagem de ultrassom alguns artefatos podem aparecer por fatores de inadequações no funcionamento do equipamento e que podem influenciar na qualidade do diagnóstico. Na Figura 11 são exibidas as imagens de estruturas simuladoras, inseridas no *phantom* proposto, de dois artefatos encontrados nas imagens de ultrassom descritos por sombra acústica (imagem à esquerda) e reverberação (imagem à direita) e que ajudarão na detecção da qualidade da imagem investigada na equipamentos de ultrassonografia sob avaliação.



**Figura 11.** Imagens de estruturas teste que simulam a sombra acústica e reverberação, respectivamente.

## 5. Conclusões

As análises apresentadas no item resultados e discussões mostraram uma avaliação muito favorável da proposta apresentada no trabalho. Os resultados exibem que os materiais usados para simular o tecido mamário apresentam parâmetros físicos e de imagem muito próximos aos do tecido real. Parâmetros físicos e de imagem que são descritos

por: distribuição do nível de contraste, uniformidade do brilho, velocidade de propagação, densidade, e impedância acústica. Os resultados apresentados demonstram que os materiais podem servir como objeto simulador da mama, principalmente o material composto entre a mistura da parafina em gel, acrílico e grafite. A escolha da composição entre a parafina em gel, acrílico e grafite foi determinada pela avaliação da melhor relação do que foi observado do comportamento do material e a sua interação com o ultrassom. Os resultados apresentaram o comportamento em termos de imagem da relação do tecido mamário simulado com a inclusão da prótese de silicone e com os principais achados clínicos encontrados na mama na busca do diagnóstico do câncer de mama. Foi verificado o intenso brilho promovido pelas bordas da prótese em relação ao tecido mamário, fator que pode influenciar na percepção visual de áreas do tecido mamário que estão às margens da prótese de silicone.

Foi analisada a interação do ultrassom com as inclusões que simulam os principais achados clínicos na forma de imagem, mostrando em termos qualitativos a possibilidade de se verificar no *phantom* o comportamento do cisto, fibroadenoma e carcinoma nas imagens reais da mama.

Outro fator positivo para credenciar o *phantom* proposto como dispositivo de teste se dá pela inserção de estruturas que simulam o baixo, médio e alto contraste, sombra acústica e reverberação, e que junto da avaliação da resolução espacial e resolução lateral indicam a qualidade da imagem do ultrassom.

Desta forma, o dispositivo apresentado como resultado do desenvolvimento do projeto se credencia como um dispositivo apto em atender todos os objetivos da pesquisa inclusive para servir como modelo em treinamento de equipes médicas para uma melhor percepção do tecido mamário em imagens de ultrassom.

### Agradecimentos

Agradecimentos especiais ao Departamento de Física por disponibilizar o laboratório, ao grupo de Física Médica do Hospital Federal de Sergipe e à CEMISE, em especial à Médica Mastologista, Aline Valadão Britto Gonçalves pela valorosa contribuição.

### Referências

1. Inca. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Estimativa 2020: incidência de câncer no Brasil / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA, 2019.
2. Alves, A. V. S. Desenvolvimento de simuladores de mama para controle de qualidade e treinamento. 2015. 68f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.
3. Calas, M.J.G., KOCH, H.A., DUTRA, M.V.P. Ultra-sonografia mamária: avaliação dos critérios ecográficos na diferenciação das lesões mamárias. RadiolBras vol.40 no. 1 São Paulo, 2007.
4. Zahavi, A., Sklair, M.L. Capsular contracture of the breast – Working towards a better classification using clinical and radiology assessment. Annals of Plastic Surgery. 57(3): 248-251. 2006.
5. Movahed, M R., Interference of breast implants with echocardiographic image acquisition and interpretation, Cardiovascular Ultrasound, p. 5-9, 2007.

6. Carvalho, et al. Phantom Simulador de lesões de mama com contorno regular para ultra-sonografia. Programa de Engenharia Biomédica – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2005.
7. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada Resolução RDC nº 611. Brasília, 2022.
8. Holanda, A. A. R; Gonçalves, A. K. S; Medeiros, R. D; Oliveira, A. M. G; Maranhão, T. M. O. Achados ultrassonográficos das alterações fisiológicas e doenças mamárias mais frequentes durante a gravidez e lactação. Radiol. Bras. 49(6): 389- 396. 2016.
9. Nazário, A. C. P; Rego, M. F; Oliveira, V. M. Nódulos benignos da mama: uma revisão dos diagnósticos diferenciais e conduta. Rev Bras Ginecol Obst. 29(4): 211-9. 2007.
10. Rodrigues, R. A; Azevedo, C. L. A. P; Djahjah, M. C. R; Pereira, T. S. S. Adenoma tubular da mama: achados radiológicos e ultrassonográficos. Radiol Bras. 51(5): 334-348. 2018.

### Contato:

Sara Suely Ventura Da Silva Lima  
 Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
 Av. Marechal Rondon Jardim s/n – Rosa Elze, São Cristóvão - SE  
 sara-suely100@hotmail.com