UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE FÍSICA

GABRIEL CALDANA GUIMARÃES

Mamografia Digital Contrastada de Dupla Energia: uma análise comparativa com os demais métodos de diagnóstico

Uberlândia
2023

GABRIEL CALDANA GUIMARÃES

Mamografia Digital Contrastada de Dupla Energia: uma análise comparativa com os demais métodos de diagnóstico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Perini

Uberlândia

2023

GABRIEL CALDANA GUIMARÃES

Mamografia Digital Contrastada de Dupla Energia: uma análise comparativa com os demais métodos de diagnóstico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Uberlândia, 30 de novembro de 2023.

Banca Examinadora:

_____

Profa. Dra. Ana Paula Perini – UFU
Orientadora

_____

Felipe Monteiro Rodrigues – Especialista em Radiodiagnóstico- Empresa Radcare

_____

Me. e Especialista em Radiodiagnóstico Samara Pavan Souza - UFU

Dedico este trabalho aos meus pais, em especial a minha mãe, pelo estímulo, carinho, apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo apoio, que nunca me deixaram desistir em momento algum, em especial a minha mãe que se manteve ao meu lado todo o tempo, estimulando e sempre prezando pelo meu melhor.

Agradeço aos amigos que me ajudaram a manter os pés no chão, e quando eu não queria, me fizeram me dedicar, ao mesmo tempo que quando o desgaste e estresse chegavam, eram como uma válvula de escape.

Agradeço também aos meus professores, por todo carinho e dedicação a profissão, por passar o conhecimento com entusiasmo, em especial a Prof. Dra. Ana Paula Perini, por toda paciência e por ser essa pessoa maravilhosa.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), e pelas agências de fomento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio das bolsas de Produtividade em Pesquisa 312124/2021-0 (A.P.P.) e 314520/2020-1 (L.P.N.), pelo Programa MAI DAI 403556/2020-1, juntamente à M.R.A. - Indústria de Equipamentos Eletrônicos LTDA, pelo Projeto UNIVERSAL 407493/2021-2. Este trabalho faz parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INCT/INAIS), projeto CNPq 406303/2022-3. Agradeço, também, à FAPEMIG, por meio dos projetos APQ-02934-15, APQ-03049-15 e APQ-04215-22.

"*Não devemos dizer à natureza o que ela deve ser... Ela sempre tem uma imaginação melhor que a nossa*"

(Richard Feymnam)

RESUMO

A mamografia contrastada de dupla energia (MCDE), ou mamografia espectral com contraste, tem sido cada vez mais vista como um método promissor para o diagnóstico de neoplasias malignas mamárias. Ela consiste na aquisição de duas imagens de baixa e alta energia, que através do pós-processamento são combinadas e, por fim, apresentam uma nova imagem com aprimoramento de contraste. Por ser uma técnica mais atual, é necessário fazer uma busca para ver sua relevância perante outras técnicas já amplamente empregadas, como a mamografia digital ou convencional (MX), a ressonância magnética (RM) e até mesmo a ultrassonografia (US). Sua dose, em relação à mamografia convencional, é cerca de 20% superior, no entanto, segundo diversos autores tanto sua sensibilidade e especificidade são superiores, sendo comparável à RM nestes aspectos. Em relação a RM, a MCDE é um exame economicamente mais acessível. Tendo em vista a acessibilidade econômica da MCDE, além de se mostrar superior a MX e estar no mesmo patamar da RM em relação à sensibilidade e especificidade, ela possui um grande potencial para ser um exame padrão para diagnóstico de câncer de mama.

Palavras-chave: mamografia contrastada de dupla energia; dose de radiação; sensibilidade; especificidade.

ABSTRACT

Contrast-enhanced dual-energy mammography (CEDM), or spectral mammography with contrast, is increasingly recognized as a promising method for diagnosing malignant breast neoplasms. It involves acquiring two images at low and high energy, which are combined through post-processing to produce a new image with enhanced contrast. As a more recent technique, it is essential to assess its relevance compared to widely used methods such as digital or conventional mammography (MX), magnetic resonance imaging (MRI), and even ultrasound (US). Although its dose is approximately 20% higher than conventional mammography, numerous authors report higher sensitivity and specificity for CEDM, comparable to MRI in these aspects. In terms of cost, CEDM is economically more accessible than MRI. Given its accessibility economically, superior performance in relation to MX, and comparable to MRI in relation to sensitivity and specificity, the CEDM has significant potential to become a standard diagnostic tool for breast cancer.

Keywords: Contrast-enhanced dual-energy mammography; radiation dose; sensitivity; specificity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Exemplo de mamografia contratada de dupla energia com a aquisição das imagens com baixa energia (A), alta energia (B) e a combinação das imagens (C)	14
Figura 2 –	Curvas ROC obtidas por Dromain *et al.* (2012)	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação BI-RADS	16
Tabela 2 –	Dose glandular segundo a literatura para mamografia contrastada de dupla energia	20
Tabela 3 –	Dose glandular segundo a literatura para mamografia convencional	21
Tabela 4 –	Resultados apresentados por Dromain *et al.,* (2012) para a sensibilidade média por lesão e a área sob a curva ROC	22
Tabela 5 –	Sensibilidade e especificidade para técnicas de diagnóstico de câncer de mama	25
Tabela 6 –	Comparativo entre as técnicas MCDE, RM e MX	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....12
2 OBJETIVOS.....13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....14
4 METODOLOGIA.....19
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....20
6 CONCLUSÃO.....27
REFERÊNCIAS.....28

1 INTRODUÇÃO

O câncer de mama é uma das neoplasias mais comuns em todo o mundo, sendo que para o Brasil, foram estimados 73.610 casos novos de câncer de mama em 2023, com um risco estimado de 66,54 casos a cada 100 mil mulheres (INCA, 2023). Sua detecção precoce é crucial para elevar as chances de sobrevivência das pacientes. Quando diagnosticado ainda nos estágios iniciais, a taxa de sobrevida ultrapassa 85% (Migowski, 2015). Para alcançar esse objetivo, diversas técnicas de diagnóstico foram desenvolvidas, sendo as mais comuns a mamografia digital (MX), a ultrassonografia (US), a ressonância magnética (RM).

Uma abordagem inovadora é a mamografia digital contrastada de dupla energia (MCDE), também conhecida como mamografia espectral com contraste (Travieso Aja *et al.*, 2014). Essa técnica envolve a aquisição de duas imagens: uma obtida com exposição a baixa energia e outra com exposição a alta energia, sendo ambas realizadas após a administração de um meio de contraste de iodo. Após isso, é feita uma combinação de ambas as imagens no pós-processamento, adquirindo assim, uma imagem final com aprimoramento de contraste (Lalji e Lobbes, 2014). O aprimoramento de contraste ocorre devido a interação do raio X com o iodo, permitindo a distinção entre estruturas vasculares (devido à alta energia) e estruturas morfológicas (devido à baixa energia) (Badr, *et al.*, 2014).

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral a revisão bibliográfica dos principais métodos para diagnóstico de carcinoma mamário, como MX e RM para fazer uma comparação com a mamografia digital contrastada de dupla energia. Além disso, também foram avaliadas suas vantagens e desvantagens, assim como seu desempenho no diagnóstico e sua sensibilidade e especificidade na mama.

2.1 Objetivos específicos:

- Buscar artigos e outros trabalhos científicos referentes ao tema;
- Realizar buscas a partir da lista de referências dos artigos de forma a procurar novos estudos;
- Fazer fichamento dos materiais encontrados;
- Extrair e sintetizar dados dos materiais selecionados;
- Analisar os resultados selecionados.

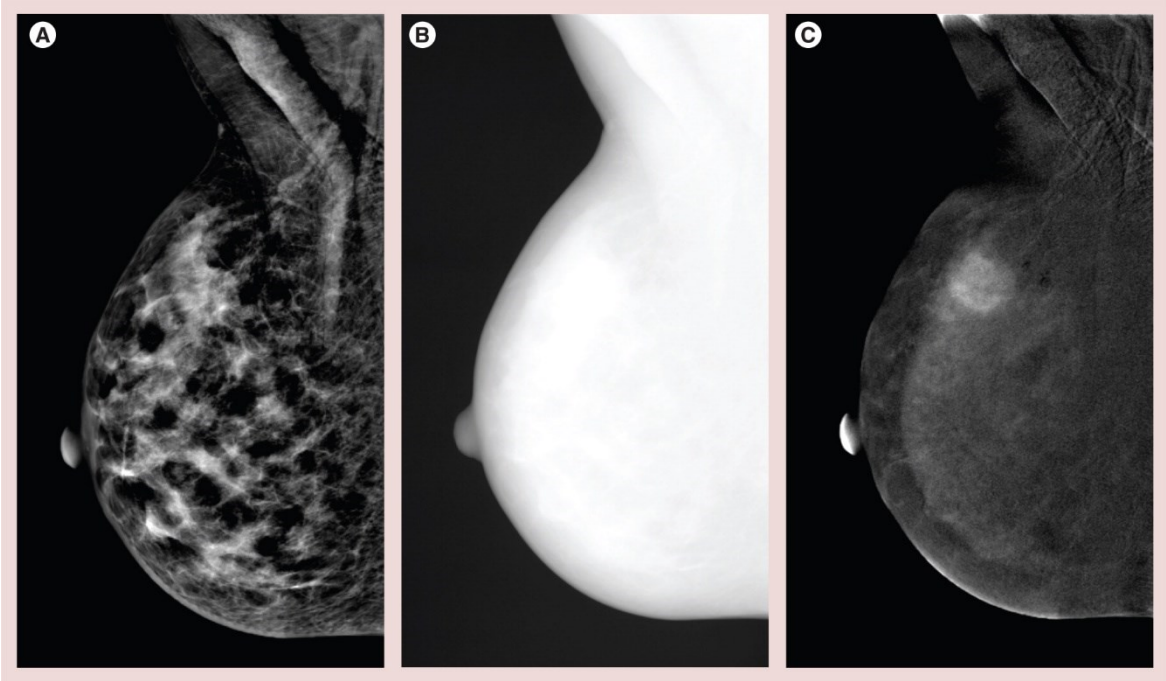
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Técnicas para diagnóstico de câncer de mama

3.1.1 Mamografia contrastada de dupla energia

Na mamografia contrastada de dupla energia (MCDE) a aquisição da imagem é feita através de duas imagens da mama, sendo uma obtida utilizando baixa energia, variando de 26-31 kV, semelhante com a mamografia convencional (MX) e, responsável por mostrar maior contraste entre os tecidos moles (Lalji e Lobbes, 2014). A segunda imagem é adquirida com alta energia, que varia de 45-49 kV. Com a imagem de baixa energia sendo adquirida com o espectro abaixo da borda k do iodo (33,2 KeV), e a imagem de alta energia sendo acima da borda k do iodo, tem-se na imagem de alta energia um melhoramento devido as informações com a presença do iodo (Lalji e Lobbes, 2014). Então, por meio da combinação de ambas as imagens no pós-processamento, tem-se a imagem final da MCDE com o aprimoramento de contraste, como mostrado na Figura 1 (Lalji e Lobbes, 2014 e Patel *et al.*, 2017).

Figura 1: Exemplo de mamografia contratada de dupla energia com a aquisição das imagens com baixa energia (A), alta energia (B) e a combinação das imagens (C)



Fonte: Figura retirada de Lalji e Lobbes (2014, p. 290).

Na Figura 1 pode-se observar a imagem de baixa energia (A), a imagem de alta energia (B) e as imagens combinadas (C), utilizada no diagnóstico, mostrando uma massa indefinida na parte superior da mama (Lalji e Lobbes, 2014).

3.1.2 Mamografia Convencional/Digital (MX)

A mamografia é o principal meio de rastreamento e diagnóstico para o câncer de mama, sendo a de rastreamento realizada para evidenciar sinais de neoplasias em mulheres assintomáticas. Neste caso, são adquiridas duas imagens de cada mama em ângulos diferentes; enquanto, a mamografia de diagnóstico é realizada para analisar a mama de mulheres que já apresentam sintomas, ou tiveram alguma alteração no rastreamento (American Cancer Society, 2022a).

A aquisição de imagens é realizada utilizando-se um mamógrafo no qual é necessário realizar a compressão das mamas para diminuir a radiação espalhada. O exame ocorre utilizando-se baixos valores de tensão aplicados ao tubo de raios X (18 – 32 kV) devido a constituição do órgão e para melhoramento do contraste (American Cancer Society, 2022a).

3.1.3 Ressonância Magnética da mama (RM)

A RM é realizada por meio da utilização das ondas de radiofrequências, campo magnético de alta intensidade e bobinas de gradiente para fazer imagens detalhadas do interior da mama. Este tipo de exame pode ser recomendado em diferentes ocasiões, como: rastreio para evidenciar alguma suspeita e, determinar o tamanho e localização de uma neoplasia já diagnosticada. Este exame específico de RM requer um dispositivo chamado de bobina mamária dedicada (American Cancer Society, 2022b). A RM não utiliza de radiação ionizante para a aquisição de imagens como a MX descrita anteriormente, uma vez que ela utiliza de campo magnético, bobinas de gradiente e de radiofrequência para realizar um escaneamento da mama (imagens em diversos ângulos transversais) bem detalhado da região a ser observada (American Cancer Society, 2022b).

3.1.4 Ultrassonografia de mama (US)

Normalmente não utilizada como exame de triagem para detecção do câncer de mama, mas como um exame complementar no caso de mamas densas, por exemplo. A ultrassonografia

utiliza de ondas sonoras e de seus ecos (ou seja, esta técnica também não utiliza radiação ionizante para realização dos exames). Neste caso, realiza-se imagens computacionais da mama, sendo eficaz para analisar massas líquidas ou sólidas, a fim de determinar sua natureza maligna ou benigna (American Cancer Society, 2022c).

3.2 Sistema BI-RADS

Consiste em um sistema convencional para avaliar os resultados da mamografia. A sigla BI-RADS significa "*Breast Imaging Reporting and Data System*". Este sistema classifica os resultados da mamografia em uma escala de 0 a 6 (American Cancer Society, 2022a), sendo apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação BI-RADS

Escala	Definição	Recomendação
0	Inconclusivo	É necessária a realização de mais exames
1	Negativo	Ausência de massas, estruturas distorcidas ou calcificações suspeitas. Nada de anormal foi encontrado. **Exame anual**
2	Benigno	Considerado também como negativo, é um achado não canceroso como calcificação benigna. **Exame Anual**
3	Achado provavelmente benigno	Neste caso há uma probabilidade extremamente baixa de neoplasia. Como não há uma certeza absoluta de ser benigno **se recomenda acompanhamento com repetição das imagens em 6 a 12 meses.**
4	Anormalidade suspeita	São achados que não aparentam ser câncer, mas pode ser, nestes casos **recomenda-se a realização de uma biopsia**
5	Altamente suspeita	Neste caso há uma grande chance de ser câncer (acima de 95%). **Deve ser feita a biopsia.**
6	Malignidade já conhecida e comprovada por biopsia	Categoria utilizada para resultados já comprovados. Exames realizados podem ser utilizados para analisar a evolução ou resposta ao tratamento.

Fonte: American Cancer Society, 2022a.

3.3 Métodos para avaliação da dose glandular média

3.3.1 Método de Dance

O método de Dance é uma estimativa para avaliar a dose glandular média (DGM) feita por Dance em 1990 e, atualizada pelo mesmo em conjunto com estudiosos em 2000 (Alcântara, 2009). Esta técnica aproxima o kerma medido da DGM por meio de um fator de correção, como mostra a equação (1) (Alcântara, 2009):

$$DGM = K.g.c.s \quad (1)$$

Em que:

DGM – é a dose glandular média

K – kerma no ar na superfície da mama, sem retroespalhamento;

g – fator de correção do kerma incidente na mama, em dose glandular média para 50% de glandularidade;

c – fator de correção para composições diferentes da mama com glandularidade diferente de 50%;

s – fator de correção para diferentes combinações anodo-filtro.

3.3.2 Método de Boone

O método proposto por Boone trabalha em cima da equação de Wu (equação 2), que demonstra que a DGM pode ser obtida da seguinte forma (Suleiman *et al.*, 2017):

$$DGM = K.D_{gN} \quad (2)$$

Em que:

DGM– é a dose glandular média;

D_{gN} – é a dose glandular média normalizada;

K– é o kerma no ar na superfície superior da mama.

3.4 Curva *Receiver Operating Characteristic* (ROC)

A Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) é uma ferramenta gráfica essencial na avaliação do desempenho de modelos de classificação, encontrando aplicações abrangentes em diversos setores, particularmente na área médica (Braga, 2000). Essa curva representa a sensibilidade (taxa de verdadeiros positivos) em relação à especificidade (taxa de falsos positivos) (Polo *et al*., 2020). Uma avaliação eficaz da Curva ROC considera a proximidade de sua curvatura ao canto superior esquerdo do gráfico. Em termos práticos, quanto maior a área sob a curva ROC, melhor é o desempenho do modelo (Polo *et al*., 2020).

4 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi feita a seleção de artigos e trabalhos acadêmicos, a respeito do tema, sendo as plataformas de busca utilizadas: *PubMed, Google Schoolar, SciELO* e repositórios institucionais de universidades.

As pesquisas através dos portais de busca foram feitas por meio das seguintes palavras-chave e combinações: mamografia contrastada de dupla energia, *dual energy contrast enhacend mammography, contrast-enhanced dual-energy mammography, dual-energy contrasted mammography + dose, dual-energy contrasted mammography + dose value, contrast enhanced spectral mammography, padrão BIRADS, curve ROC, digital mammography*.

Foi feita a leitura dos artigos encontrados, e a partir deles realizada uma seleção de acordo com os objetivos do trabalho, algumas a respeito das doses para MX e MCDE e, outras em relação à fundamentação da técnica e sua relevância para a medicina. Foi levado em consideração, também, a sensibilidade clínica da MCDE em relação a MX.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os valores de dose glandular segundo a literatura para mamografia contrastada de dupla energia.

Tabela 2 – Dose glandular segundo a literatura para mamografia contrastada de dupla energia

Mamografia Contrastada de Dupla energia			
Autor	**kVp**	**Dose (mGy)**	**Método**
Niroshani *et al.* (2022)	28/45	1,79	Dance
	28/47	1,77	
	28/49	1,75	
	30/45	1,76	
	30/47	1,74	
	30/49	1,72	
	32/45	1,74	
	32/47	1,72	
	32/49	1,7	
Tzamicha *et al.* (2015)	28/45	1,002	$Dg = K.DG_{(N)}$ (3) K é o kerma no ar $DG_{(N)}$ é a dose glandular normalizada
	28/47	1,052	
	28/49	1,092	
	30/45	1,936	
	30/47	1,986	
	30/49	2,026	
Badr *et al.* (2014)	-	2,65	-
Dromain *et al.* (2012)	-	0,7 a 3,6	-

Fonte: O autor (2023).

No caso da mamografia convencional, os valores de dose glandular obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dose glandular segundo a literatura para mamografia convencional

Mamografia Convencional				
Autor	**Fabricantes**	**Dance (mGy)**	**Boone (mGy)**	**Sistema (mGy)**
Suleiman *et al.* (2017)	Philips (spectra)	0,83 ± 0,26	0,95 ± 0,27	0,86 ± 0,25
	GE medical systems	1,45 ± 0,34	1,60 ± 0,41	1,42 ± 0,31
	Hologic	1,97 ± 0,74	1,80 ± 0,68	1,73 ± 0,66
	Fujifilm	1,01 ± 0,42	0,91 ± 0,41	0,93 ± 0,32

Fonte: Suleiman *et al.,* 2017.

É importante ressaltar aqui que os resultados obtidos muitas vezes foram uma média feita para milhares de exames, e suas simulações foram feitas para mamas com tecido 50% glandular. Segundo o L'*Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire* (IRSN), o nível de referência de dose para a mamografia convencional é de 1,8 mGy para mama de 45 mm sob compressão. De acordo com o trabalho de Badr, *et al.* (2014), o resultado para a dose glandular média obtido para mamografia contrastada de dupla energia foi de 2,65 mGy para uma espessura média da mama de 56 mm (média de dose feita para 104 pacientes que realizaram o exame para imagens craniocaudal e médio lateral) e a média encontrada para mamografia convencional foi de 1,72 mGy (Badr *et al.,* 2014).

Na Tabela 2, Niroshani *et al.* (2022) baseou seu cálculo de dose no método de Dance, já mencionado anteriormente, enquanto e Tzamicha *et al.* (2015) utilizou a equação (3) apresentada na tabela 2 para realizar seu cálculo de dose, e para ambos autores as doses glandulares para a mamografia contrastada de dupla energia foram calculadas para mamas com tecido 50% glandular e com espessura de 50 mm, com a utilização de objetos simuladores para adquirir seus resultados. Os autores, também, encontraram valores de doses que estão dentro do intervalo de dose proposto por Dromain *et al.* (2012), de 0,7 mGy a 3,6 mGy, que é uma referência na literatura para a MCDE.

De acordo com a Tabela 3, observa-se que as doses glandulares calculadas por Suleiman *et al.* (2017) para a mamografia convencional, foram determinadas utilizando-se os métodos de Dance e Boone, além da dose dada pelos sistemas de imagens dos aparelhos, no entanto, o método de cálculo para a MGD feito pelo sistema não é claramente definido (Suleiman *et al.,* 2017). Fazendo a comparação dos valores de doses das Tabelas 2 e 3, vê-se que apesar de haver um aumento de dose para a técnica MCDE, este aumento não é tão significativo em relação a técnica MX. Houve um aumento da dose para MCDE, mas isso ocorreu devido a segunda imagem realizada com alta energia (Dromain *et al.,* 2012). Deve-se dar uma maior importância

para a combinação de 28/49 kVp, pois segundo Niroshani *et al.* (2022), esta associação representa a combinação de tensões com a melhor relação contraste-ruído, visando a otimização da dose. A dose para esta combinação segundo Niroshani *et al.* (2022) foi de 1,75 mGy, e para o trabalho de Tzamicha *et al.* (2015) foi de 1,092 mGy.

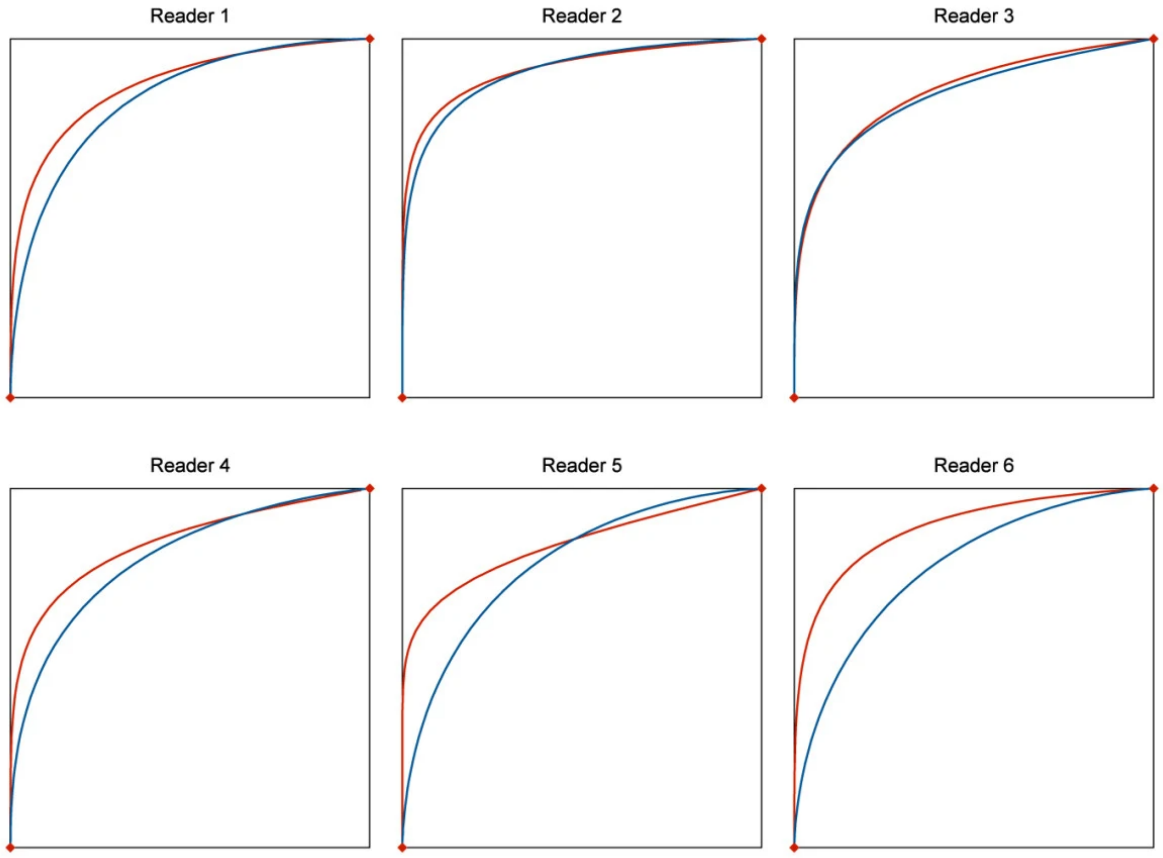
Além dos valores encontrados para dose, também, foi encontrado um comparativo em relação a sensibilidade diagnóstica perante ao padrão BI-RADS e a curva ROC. No artigo de Dromain *et al.* (2012) este estudo foi feito a partir da utilização da técnica de MCDE como um auxiliar para as técnicas MX e US, e foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 4, e evidenciados na Figura 2.

Tabela 4 – Resultados apresentados por Dromain *et al.,* (2012) para a sensibilidade média por lesão e a área sob a curva ROC

	MX+US+MCDE	MX+US
Sensibilidade média por lesão	0,78	0,71
Área sob curva ROC (média)	0,87	0,83

Fonte: Dromain *et al.,* 2012.

Figura 2: Curvas ROC obtidas por Dromain *et al.* (2012)



Fonte: Figura retirada de Dromain *et al.,* (2012, p. 4).

Na Figura 2 tem-se as curvas ROC obtidas por Dromain *et al.* (2012), sendo a curva vermelha para MX+US+MCDE e a curva azul para MX+US.

Os dados da Tabela 4 foram obtidos a partir de seis leitores que tiveram uma melhora significativa na sensibilidade média por lesão seguindo o padrão BI-RADS (com desempenho de 0,78 para MX+US+MCDE, e de 0,71 para MX+US). Além disso, com a utilização da associação MX+US+MCDE houve uma melhora no desempenho clínico, fazendo com que a média sob a curva ROC para MCDE associada a MX+US fosse 0,87, enquanto para a associação MX+US foi de 0,83 (Dromain *et al.,* 2012), como evidenciado na Figura 2.

Knogler *et al*. (2017) mostraram em sua pesquisa uma comparação da MCDE com a RM, em relação aos descritores BI-RADS. Neste caso, eles analisaram 11 pacientes, sendo 5 com lesões benignas e 6 com lesões malignas, todas do sexo feminino com idade entre 45 e 74 anos, em que foi possível observar resultados muito semelhantes entre as técnicas, em todos os

casos, tanto em relação ao realce quanto a classificação BI-RADS. Observou-se que tanto a MCDE quanto a RM apresentaram um forte realce para lesões malignas, com pouca diferença de realce para lesões benignas. A MCDE mostrou um realce moderado, enquanto a RM exibiu um realce mais intenso. No entanto, essas discrepâncias não influenciaram a avaliação final, e ambos os exames identificaram o mesmo número de lesões, conforme relatado por Knogler *et al*. (2017).

A MCDE apresenta-se como uma opção economicamente vantajosa em relação a RM, sendo uma ferramenta útil na rotina clínica. A MCDE desempenha um papel importante no diagnóstico e tratamento do câncer de mama, abrangendo áreas como rastreamento de alto risco, avaliação de tecido mamário denso, casos de diagnóstico incerto, detecção de microcalcificações, estadiamento local, avaliação da eficácia do tratamento e acompanhamento após o tratamento (Sudhir *et al.,* 2021).

Mesmo a MCDE e a RM apresentando total sensibilidade para detecção da neoplasia mamária maligna, a MCDE apresenta um valor preditivo positivo (VPP) superior a RM, sendo de 96,9% contra 93,9%, o que pode indicar uma maior especificidade da MCDE em relação a RM de mama. Segundo Li *et al.* (2017) acreditam que a MCDE realmente tenha uma especificidade maior que a RM, devido a seu VPP maior, porém, essa superioridade não é estatisticamente significativa, devido ao tamanho da amostra dos estudos relatados ser pequeno. Portanto, é necessário realizar pesquisas adicionais com conjuntos de dados mais extensos para estabelecer o VPP e a especificidade da MCDE (Li *et al.,* 2017).

Em contrapartida, segundo Suter *et al.* (2020), a MCDE em uma população cuidadosamente selecionada com suspeita clínica ou radiológica de câncer de mama, apresentou sensibilidade e especificidade que não alcançam o nível ideal no diagnóstico. Nesse contexto, ela pode ser considerada como uma alternativa ou um complemento, em situações em que a MX e a US não obtiverem resultados conclusivos, e ainda quando a RM é contraindicada. No entanto, pelo fato de a MCDE ser consideravelmente mais acessível economicamente que a RM, ela pode ser utilizada como o exame de imagem inicial para pacientes sintomáticos, fornecendo melhores informações diagnóstica na primeira consulta clínica (Suter *et al.*, 2020).

As técnicas de MCDE, RM e MX apresentam valores de sensibilidade e especificidade, dispostos na Tabela 5, conforme artigos avaliados neste trabalho.

Tabela 5 – Sensibilidade e especificidade para técnicas de diagnóstico de câncer de mama

Autor	Sensibilidade	Especificidade
Dromain *et al.* (2012)	MCDE 92%	MCDE 83%
Lobbes *et al.* (2014)	MCDE 100% / MX 96,9%	MCDE 87,7% / MX 42%
Suter *et al.* (2020)	MCDE 85%	MCDE 77%
Li *et al.* (2017)	MCDE 100% / RM 100%	-
Patel *et al.* (2017)	MCDE 96,7% / RM 83%	MCDE 57,9% / RM 89%
Mori *et al.* (2016)	MCDE 86,2% / MX 53,4%	MCDE 94,1% / MX 85,9%

Fonte: O autor (2023).

A MCDE, segundo a Tabela 5, tem apresentado tanto a sensibilidade quanto a especificidade melhor em relação à mamografia digital. Além disso, foi observado que a MCDE é comparável a RM em termos de desempenho. Em termos gerais, a hiper vascularização do tumor aumenta a captação do contraste, destacando o tumor hiper vascular, da mesma forma que ocorre na RM de mama. Isso, por sua vez, resulta em um aumento da sensibilidade na detecção do câncer de mama por meio da MCDE, sem comprometer a especificidade (Patel *et al.,* 2017).

Na Tabela 6, tem-se um novo comparativo a respeito das técnicas de MCDE, RM e MX.

Tabela 6 – Comparativo entre as técnicas MCDE, RM e MX

	MCDE	RM	MX
Custo	baixo	alto	baixo
Tempo de exame	5 a 10 minutos	20 a 30 minutos	5 a 10 minutos
Radiação ionizante	utiliza	não utiliza	utiliza
Meio de contraste	utiliza	utiliza	não utiliza
Extensão do câncer	detecta	detecta	não detecta
Preferível ao paciente	maior tolerância do paciente	menor tolerância do paciente	maior tolerância do paciente
Dose	cerca de 20% maior que a MX (Dromain *et al.,* (2012).	não há	menor dose

Fonte: O autor (2023).

Analisando a Tabela 6 é possível observar mais alguns pontos positivos da MCDE em relação a RM. Segundo o *Cooper University Hospital*, o custo para um exame de MCDE gira em torno de US$ 200, e para a RM de mama US$ 1400 (Li *et al.,* 2017). Outro ponto muito importante para se levar em consideração é o tempo de exame, mesmo com a compressão da mama da paciente o tempo de exame na MCDE é cerca de um terço menor do que em relação a RM, o que ocasiona uma maior tolerância do paciente a este tipo de exame. Um ponto negativo quando se compara a MCDE com a MX é que na MX não se utiliza meio de contraste, já na MCDE se utiliza, e o meio de contraste pode levar a efeitos colaterais. Em relação à RM, a MCDE apresenta a desvantagem de utilizar radiação ionizante para realizar o exame.

6 CONCLUSÃO

Os estudos apontam que a MCDE é um exame superior em relação a MX devido a sua sensibilidade e especificidade serem maiores, segundo dados da literatura apresentados neste trabalho. Além disso, sua acurácia chega a 90,9% quando comparada a MX isolada que é de 72,7%. Sua maior desvantagem em relação a MX é em relação ao valor de dose ser superior (cerca de 20% a mais) (Dromain, *et al.,* 2012), o que sempre dever ser levado em consideração. Na MCDE, também, há aplicação do meio de contraste que pode ocasionar efeitos colaterais na paciente, sendo este outro ponto negativo em relação a MX, porém, proporciona um melhor contraste da lesão.

A MCDE é uma técnica semelhante a RM, no entanto, uma opção mais viável economicamente, pois seu custo é bem inferior ao da RM de mama, e seu tempo de exame também é menor, tendo assim, tanto uma preferência, quanto uma tolerância maior para a paciente. Portanto, tendo em vista a acessibilidade econômica da MCDE, além de se mostrar superior a MX e estar no mesmo patamar da RM, ela possui um grande potencial para ser um exame padrão para diagnóstico de câncer de mama.

REFERÊNCIAS

Alcântara, M.C. **Avaliação dos critérios de qualidade de imagem e estudo das doses em um departamento de mamografia.** 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/D.85.2009.tde-23092011-160708. Acesso em: 2023-11-01.

American Cancer Society. **Mammograms**. 2022a.
Disponível em: <https://www.cancer.org/content/dam/CRC/PDF/Public/8579.00.pdf> Acesso em: 30 Out. de 2023.

American Cancer Society. **Breast MRI**. 2022b.
Disponível em:< https://www.cancer.org/cancer/types/breast-cancer/screening-tests-and-early-detection/breast-mri-scans.html > Acesso em: 30 Out. de 2023.

American Cancer Society. **Breast ultrasound**. 2022c.
Disponível em: < https://www.cancer.org/cancer/types/breast-cancer/screening-tests-and-early-detection/breast-ultrasound.html > Acesso em: 30 Out. de 2023.

Badr, S., Laurent, N., Régis, C., Boulanger, L., Lemaille, S., & Poncelet, E. (2014). Dual-energy contrast-enhanced digital mammography in routine clinical practice in 2013. **Diagnostic and Interventional Imaging**, 95(3), 245–258. doi:10.1016/j.diii.2013.10.002

Braga, A. C. (2000) **Curvas ROC: aspectos funcionais e aplicações**. 243 f, Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade de Minho, Portugal, 2020.

Dromain, C., Thibault, F., Diekmann, F. *et al.* (2012). Dual-energy contrast-enhanced digital mammography: initial clinical results of a multireader, multicase study. **Breast Cancer Res** 14, R94. https://doi.org/10.1186/bcr3210

Instituto Nacional de Câncer – INCA. **Outubro Rosa 2023**. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/campanhas/2023/outubro-rosa. Acesso em: 10 Out. 2023.

Knogler T, Homolka P, Hoernig M, Leithner R, Langs G, Waitzbauer M, Pinker K, Leitner S, Helbich TH. (2017). Application of BI-RADS Descriptors in Contrast-Enhanced Dual-Energy Mammography: Comparison with MRI. **Breast Care (Basel)**. 12(4):212-216. doi: 10.1159/000478899. Epub 2017 Aug 17. PMID: 29070983; PMCID: PMC5649262.

Lalji U, Lobbes. (2014). M. Contrast-enhanced dual-energy mammography: a promising new imaging tool in breast cancer detection. **Womens Health** (Lond). 10(3):289-98. doi: 10.2217/whe.14.18. PMID: 24956295.

Li L, Roth R, Germaine P, Ren S, Lee M, Hunter K, Tinney E, Liao L. (2017) Contrast-enhanced spectral mammography (CESM) versus breast magnetic resonance imaging (MRI): A retrospective comparison in 66 breast lesions. **Diagn Interv Imaging**. 98(2):113-123. doi: 10.1016/j.diii.2016.08.013. Epub 2016 Sep 26. PMID: 27687829.

Lobbes, M. B. I., Lalji, U., Houwers, J., Nijssen, E. C., Nelemans, P. J., van Roozendaal, L., … Wildberger, J. E. (2014). Contrast-enhanced spectral mammography in patients referred from

the breast cancer screening programme. **European Radiology**. doi:10.1007/s00330-014-3154-5

Migowski, A. (2015). A detecção precoce do câncer de mama e a interpretação dos resultados de estudos de sobrevida. **Ciência & Saúde Coletiva**, 20(4), 1309–1309. doi:10.1590/1413-81232015204.17772014

Niroshani S, Nakamura T, Michiru N, Negishi T. (2022) Evaluation of exposure factors of dual-energy contrast-enhanced mammography to optimize radiation dose with improved image quality. **Acta Radiol Open**. 11(8):20584601221117251. doi: 10.1177/20584601221117251. PMID: 35983293; PMCID: PMC9379970.

Patel, B. K., Naylor, M. E., Kosiorek, H. E., Lopez-Alvarez, Y. M., Miller, A. M., Pizzitola, V. J., & Pockaj, B. A. (2017). Clinical utility of contrast-enhanced spectral mammography as an adjunct for tomosynthesis-detected architectural distortion. **Clinical Imaging**, 46, 44–52. doi:10.1016/j.clinimag.2017.07.003

Polo TCF, Miot HA. (2020). Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. **J Vasc Bras.** 19: e20200186. doi: https://doi.org/10.1590/1677-5449.200186

Sudhir R, Koppula V, Mandava A, Kamala S, Potlapalli A. (2021). Technique and clinical applications of dual-energy contrast-enhanced digital mammography (CEDM) in breast cancer evaluation: a pictorial essay. **Diagn Interv Radiol**. 27(1):28-36. doi: 10.5152/dir.2020.19573. PMID: 33252334; PMCID: PMC7837723.

Suleiman ME, Brennan PC, McEntee MF. (2017). Mean glandular dose in digital mammography: a dose calculation method comparison. **J Med Imaging** (Bellingham). 2017 Jan;4(1):013502. doi: 10.1117/1.JMI.4.1.013502. Epub 2017 Jan 24. PMID: 28149921; PMCID: PMC5260632.

Suter, M. B., Pesapane, F., Agazzi, G. M., Gagliardi, T., Nigro, O., Bozzini, A., … Squizzato, A. (2020). Diagnostic accuracy of contrast-enhanced spectral mammography for breast lesions: A systematic review and meta-analysis. **The Breast**, 53, 8–17. doi:10.1016/j.breast.2020.06.005

Travieso Aja M.M., Rodríguez Rodríguez M., Alayón Hernández S., Vega Benítez V., Luzardo, O.P. (2014) Dual-energy contrast-enhanced mammography, **Radiología** (English Edition), Volume 56, Issue 5, Pages 390-399, ISSN 2173-5107, https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2014.05.007.

Tzamicha, E., Yakoumakis, E., Tsalafoutas, I. A., Dimitriadis, A., Georgiou, E., Tsapaki, V., & Chalazonitis, A. (2015). Dual-energy contrast-enhanced digital mammography: Glandular dose estimation using a Monte Carlo code and voxel phantom. **Physica Medica**, 31(7), 785–791. doi:10.1016/j.ejmp.2015.03.013