

Processamento de imagens médicas: Evidências quantitativas da inversão digital da escala de cinza em exames radiográficos de tórax

Medical image processing: Quantitative evidence of digital gray scale inversion in chest radiographic examinations

Procesamiento de imágenes médicas: Evidencias cuantitativas de la inversión digital de la escala de grises en exámenes radiográficos de tórax

Recebido: 13/11/2025 | Revisado: 17/11/2025 | Aceitado: 17/11/2025 | Publicado: 19/11/2025

Thiago Victorino Claus¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1446-0721>
Universidade Franciscana, Brasil
Hospital Universitário de Santa Maria, Brasil
E-mail: clausrx@gmail.com

Stéfani König Alves da Silva²

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8780-3777>
Universidade Franciscana, Brasil
E-mail: stefanikonigads@gmail.com

Bruna Gai Ruvíaro²

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4329-4784>
Universidade Franciscana, Brasil
E-mail: ruviarobruna23@gmail.com

Maria Luísa Silva Mendes²

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2678-3848>
Universidade Franciscana, Brasil
E-mail: caceressociallu@gmail.com

Marina Luiz Alves²

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8226-5490>
Universidade Franciscana, Brasil
E-mail: marinaluizalves@gmail.com

Karoline Adriana Catelan Pereira²

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9405-4359>
Universidade Franciscana, Brasil
E-mail: karolinecatelan@gmail.com

Silvio Atilio Michelini Bertagnoli³

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4864-5138>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
Hospital Universitário de Santa Maria, Brasil
E-mail: silviortx1@gmail.com

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da inversão da escala de cinza, também denominada filtro negativo, na qualidade física de radiografias de tórax. Essa técnica apresenta-se como uma alternativa promissora para o realce de detalhes anatômicos em regiões de baixo contraste, contribuindo para a otimização da interpretação diagnóstica. A investigação foi conduzida por meio de uma análise comparativa dos descritores quantitativos de qualidade de imagem (QI): Razão Sinal-Ruído (RSR), Razão Contraste-Ruído (RCR) e Contraste Radiográfico (CR). Os resultados demonstraram um aumento de 15,7% na RSR e de 9,9% na RCR, indicando, respectivamente, maior definição das estruturas anatômicas e aprimorada capacidade de diferenciação entre tecidos de densidades próximas — característica essencial para a valorização de detalhes sutis no parênquima pulmonar. Em contrapartida, observou-se uma redução de 5,71% no CR, efeito previsível decorrente da inversão tonal, que suaviza o contraste global inerente à

¹ Universidade Franciscana – UFN/Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM), Brasil.

² Universidade Franciscana -UFN, Brasil

³ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) / Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM), Brasil.

escala positiva. Dessa forma, conclui-se que a aplicação do filtro negativo mantém a qualidade diagnóstica das imagens enquanto potencializa a percepção de estruturas anatômicas discretas em radiografias de tórax.

Palavras-chave: Processamento de Imagem Assistida por Computador; Radiografia Torácica; Melhoramento de Imagens; Razão Sinal-Ruído.

Abstract

This study aimed to evaluate the impact of grayscale inversion, also known as the negative filter, on the physical quality of chest radiographs. This technique emerges as a promising alternative for enhancing anatomical details in low-contrast regions, thereby contributing to the optimization of diagnostic interpretation. The investigation was conducted through a comparative analysis of quantitative image quality (IQ) descriptors: Signal-to-Noise Ratio (SNR), Contrast-to-Noise Ratio (CNR), and Radiographic Contrast (RC). The results showed an increase of 15.7% in SNR and 9.9% in CNR, indicating, respectively, greater definition of anatomical structures and improved ability to differentiate tissues with similar densities—an essential characteristic for highlighting subtle details in pulmonary parenchyma. Conversely, a 5.71% reduction in RC was observed, a predictable effect resulting from tonal inversion, which smooths the overall contrast inherent to the positive scale. Therefore, it is concluded that the application of the negative filter preserves diagnostic image quality while enhancing the perception of subtle anatomical structures in chest radiographs.

Keywords: Computer-Assisted Image Processing; Chest Radiography; Image Enhancement; Signal-to-Noise Ratio.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la inversión de la escala de grises, también denominada filtro negativo, en la calidad física de las radiografías de tórax. Esta técnica se presenta como una alternativa prometedora para el realce de detalles anatómicos en regiones de bajo contraste, contribuyendo a la optimización de la interpretación diagnóstica. La investigación se llevó a cabo mediante un análisis comparativo de los descriptores cuantitativos de calidad de imagen (QI): Relación Señal-Ruido (RSR), Relación Contraste-Ruido (RCR) y Contraste Radiográfico (CR). Los resultados demostraron un aumento del 15,7% en la RSR y del 9,9% en la RCR, lo que indica, respectivamente, una mayor definición de las estructuras anatómicas y una mejor capacidad para diferenciar tejidos de densidades próximas, característica esencial para la valoración de detalles sutiles en el parénquima pulmonar. Por otro lado, se observó una reducción del 5,71% en el CR, efecto previsible derivado de la inversión tonal, que suaviza el contraste global inherente a la escala positiva. De esta manera, se concluye que la aplicación del filtro negativo mantiene la calidad diagnóstica de las imágenes, al mismo tiempo que potencia la percepción de estructuras anatómicas discretas en las radiografías de tórax.

Palabras clave: Procesamiento de Imágenes Asistido por Computadora; Radiografía de Tórax; Mejora de Imágenes; Relación Señal-Ruido.

1. Introdução

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias digitais em radiologia tem favorecido o uso de técnicas de processamento voltadas à otimização da qualidade de imagem (QI) (Bushong, 2022). Dentre essas técnicas, destaca-se a inversão digital da escala de cinza (filtro negativo), que inverte a relação entre áreas de alta e baixa densidade. Em contextos médicos, essa técnica pode melhorar a discriminação de detalhes e a identificação de estruturas, ressaltando variações anatômicas sutis, especialmente em regiões com densidades teciduais semelhantes, como o parênquima pulmonar (Queiroz & Gomes, 2006; Dance, 2014; Ledda et al., 2022).

Recentemente, Baroni et al. (2025) demonstram que o filtro negativo melhora a visualização de bordas, pleura e interfaces teciduais delicadas, facilitando a detecção de alterações discretas no parênquima pulmonar. Assim, a técnica mostra-se um recurso eficiente para otimizar radiografias de tórax sem necessidade de modificar parâmetros de aquisição ou elevar a dose de radiação.

Estudos anteriores obtidos por Robinson et al. (2013) corroboram a hipótese de que o uso do filtro negativo pode oferecer vantagens na detecção de nódulos pulmonares, especialmente em monitores de alta qualidade, como destacado na sua pesquisa. Ainda Robinson et al. (2013) enfatizaram que se deve considerar o ambiente de visualização e as características específicas da imagem ao aplicar técnicas de processamento, demonstrando que o uso do filtro negativo deve ser visto como uma ferramenta potencialmente útil na prática clínica para aprimorar a detecção de doenças pulmonares em exames

radiológicos digitais.

No entanto, ainda são escassos os estudos que abordam o processamento com filtro negativo sob critérios de análise física da imagem, especialmente aqueles voltados à avaliação quantitativa de descritores objetivos de qualidade, como resolução espacial, contraste e ruído. Essa limitação restringe a compreensão plena de seu impacto sobre a qualidade diagnóstica.

A análise desses descritores permite mensurar, de forma objetiva, parâmetros fundamentais relacionados ao desempenho da imagem (Dance, 2014). Entre os principais descritores de qualidade de imagem (QI), destacam-se a Razão Sinal-Ruído (RSR), que expressa a nitidez e a definição estrutural; a Razão Contraste-Ruído (RCR), que mensura a visibilidade do contraste entre diferentes tecidos; e o Contraste Radiográfico (CR), que indica a diferenciação tonal entre regiões anatômicas distintas (Bushberg & Boone, 2011).

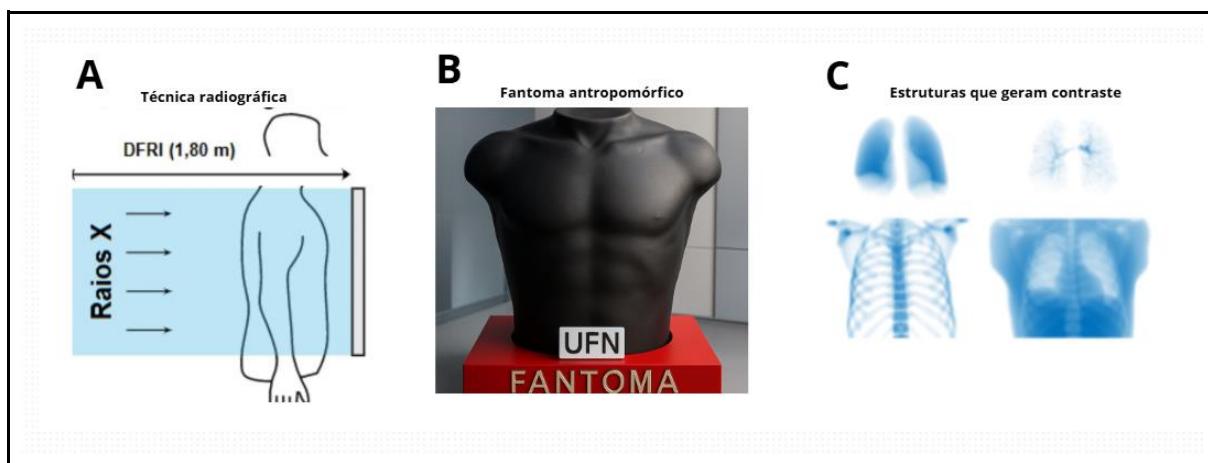
Considerando que a radiografia de tórax é um dos exames mais frequentemente realizados na prática radiológica (Bontrager & Lampignano, 2015; Alvarez et al., 2022), este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da inversão da escala de cinza, também denominada filtro negativo, na qualidade física de radiografias de tórax.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa de caráter experimental e laboratorial, com abordagem quantitativa (Pereira et al., 2018). O estudo foi conduzido no Laboratório de Radiodiagnóstico dos cursos de Radiologia e Física Médica da Universidade Franciscana (UFN), integrando as atividades da disciplina de Processamento de Imagem.

Para a aquisição da imagem, utilizou-se um sistema radiográfico Intecal (modelo MAAF), configurado com distância foco-receptor de imagem (DFRI) de 1,8 metro e campo de radiação ajustado às dimensões do cassette ($35 \times 43 \text{ cm}^2$), o qual foi posicionado sobre um cassette contendo a placa de imagem Carestream correspondente. O procedimento seguiu as recomendações clínicas para radiografias de tórax (Figura 1A). A imagem original foi obtida por meio de um fantoma semi-anatômico (Figura 1B), contendo estruturas internas que geram contraste e simulam densidades teciduais semelhantes às do corpo humano (Figura 1C) (Vianna & Schwarz, 2020).

Figura 1. Aquisição da imagem original.

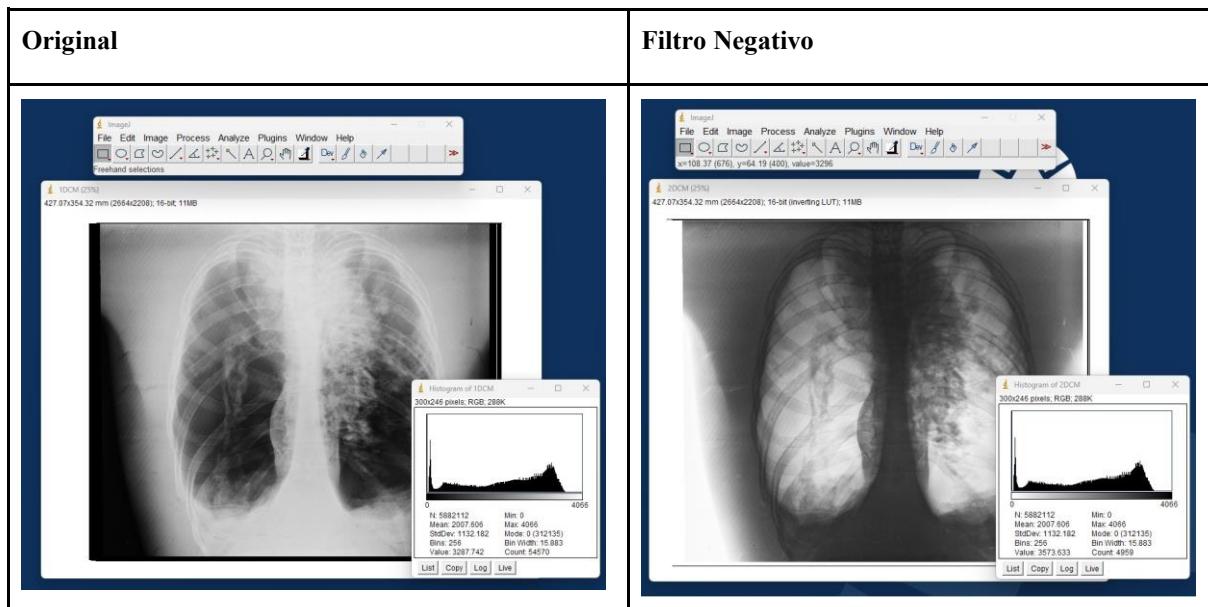


Fonte: Autoria própria (2025).

A imagem foi processada em um sistema de radiologia computadorizada Carestream (Directview Classic CR). Após a exposição, as imagens foram digitalizadas no próprio sistema, e a aplicação do filtro negativo foi realizada diretamente na estação de trabalho, conforme demonstrado na Figura 2.

Os histogramas obtidos por meio do software ImageJ (versão 1.8.0_112) (Wayne, 2025) constituíram uma representação gráfica da distribuição das intensidades dos pixels, em que o eixo X corresponde aos valores de intensidade e o eixo Y indica a frequência de ocorrência desses valores (Queiroz & Gomes, 2006).

Figura 2. Imagem original versus imagem com filtro negativo.

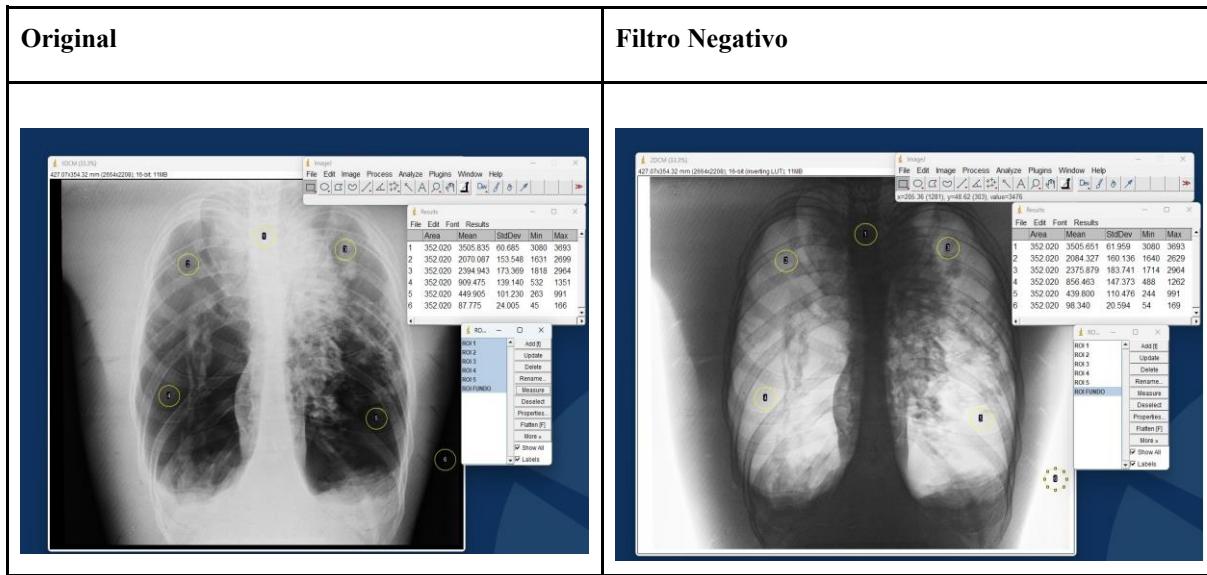


Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 2 apresenta a comparação entre a imagem radiográfica original e a versão processada com o filtro negativo. Observa-se que, embora o histograma permaneça inalterado em ambas as imagens, o processamento com o filtro negativo aprimora a visualização de estruturas de baixo contraste, proporcionando maior definição anatômica nas radiografias de tórax (Bushong, 2022).

A avaliação da QI foi realizada a partir dos valores médios de sinal e ruído extraídos diretamente dos arquivos no formato Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). Para a avaliação do sinal e do ruído seis regiões de interesse (ROIs) de mesma área ($352,020 \text{ mm}^2$) posicionadas em áreas visualmente homogêneas nas imagens, utilizando o software ImageJ. Para a incidência PA, os ROIs foram posicionados da seguinte forma: 1º ROI: esterno, 2º ROI: lobo superior direito do pulmão, 3º ROI: lobo superior esquerdo, 4º ROI: lobo médio, 5º ROI: lobo inferior esquerdo, 6º ROI: borda lateral da imagem sem anatomia (fundo de imagem) quantificadas utilizando o programa computacional *ImageJ*, conforme identificadas na Figura 3.

Figura 3. Localização dos *ROIs* na imagem de referência, original versus filtro negativo, no programa *ImageJ*.



Fonte: Autoria própria (2025).

Para cada ROI, foram calculados o sinal e o ruído. A QI foi avaliada por meio de três descritores: (i) Relação Sinal-Ruído (RSR), calculada conforme a Equação 1 (Mraity e Haab et al. 2016); (ii) Relação Contraste-Ruído (RCR), determinada pela diferença média entre os valores de sinal das regiões de interesse de fundo e da imagem, adaptada da Equação 2 (Mendes, Silva e Tomal, 2019), sendo esta métrica geralmente aplicada a simuladores com sinal homogêneo; e (iii) Contraste Radiográfico (CR), que avalia a diferença de brilho entre áreas claras e escuras da imagem, conforme Equação 3 (Claus et al., 2024).

$$RSR = \frac{\text{Sinal médio do ROI 1; 2; 3; 4 e 5}}{\text{Ruído de fundo}} \quad (1)$$

$$RCR = \left| \frac{\bar{x} \text{ valores de sinal (fundo)} - \bar{x} \text{ valores de sinal (ROI 5)}}{\text{Ruído de fundo}} \right| \quad (2)$$

$$CR = (ROI 5) - (fundo) \quad (3)$$

Tais métricas são amplamente empregadas na literatura para descrever de forma objetiva e mensurável a performance da imagem (Tompe & Sargar, 2020). A análise desses descritores possibilita a comparação entre a imagem original e a imagem gerada com filtro negativo, oferecendo subsídios quantitativos acerca de sua eficácia e potencial aplicabilidade na prática radiológica.

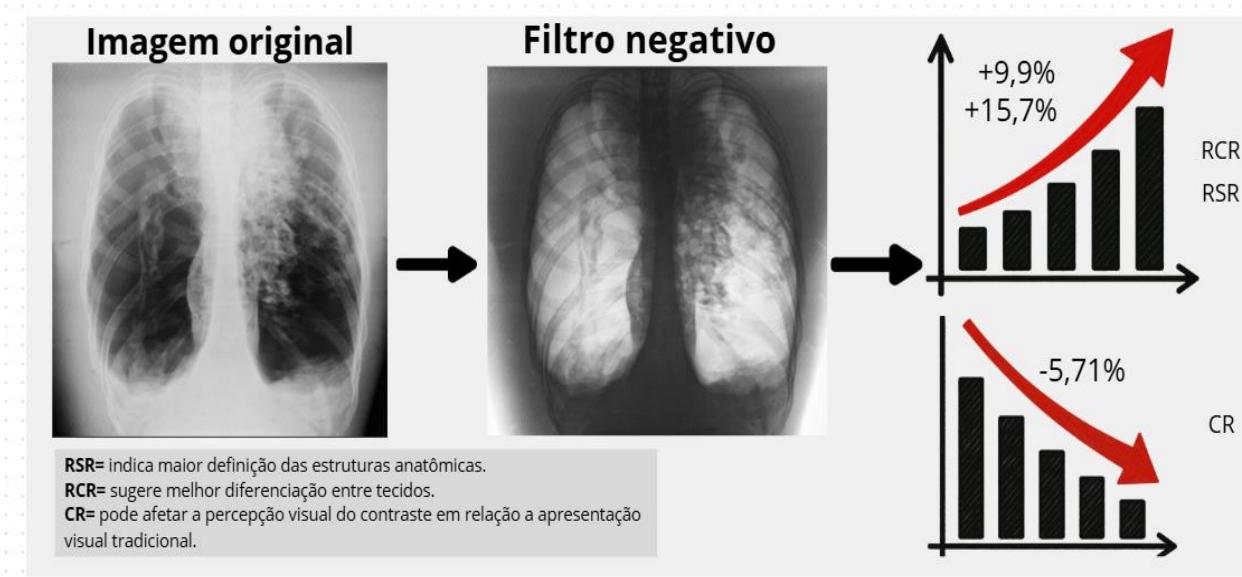
Todos os dados obtidos foram organizados no Microsoft Excel 2007® (Microsoft Corporation, Washington, EUA), a fim de facilitar o tratamento e a análise descritiva. Considerando a inexistência de valores de referência universalmente estabelecidos para os descritores de QI, adotaram-se como valores de referência aqueles medidos na imagem original. Para a comparação entre as imagens, empregou-se o desvio percentual (D%), conforme expresso na Equação 4.

$$D(\%) = \left[\left(\frac{\text{novo valor}}{\text{valor padrão}} - 1 \right) \times 100 \right] \quad (4)$$

3. Resultados e Discussão

Na Figura 4, observa-se que a aplicação do filtro negativo provoca a inversão dos níveis de intensidade, alterando a distribuição tonal da imagem e, consequentemente, a percepção visual do contraste. Embora essa modificação tenha, a princípio, um caráter estético de apresentação, seus efeitos influenciam diretamente os descritores de qualidade de imagem (QI).

Figura 4. Resultados da inversão para o filtro negativo.



Fonte: Autoria própria (2025).

Pode ser observado na Figura 4 o incremento de 15,7% na Razão Sinal-Ruído (RSR) e de 9,9% na Razão Contraste-Ruído (RCR). O incremento da RSR indica maior definição das estruturas anatômicas, enquanto o aumento da RCR reflete uma capacidade aprimorada de distinguir tecidos com densidades próximas — aspecto fundamental para a valorização de detalhes sutis no parênquima pulmonar. Em contrapartida, verificou-se uma redução de -5,71% no Contraste Radiográfico (CR), fenômeno esperado em decorrência da inversão tonal, que suaviza o contraste global característico da escala positiva.

Segundo Weiss (2011), variações inferiores a 10% nos descritores de QI são consideradas pouco significativas, enquanto reduções superiores a 20% indicam perdas relevantes na qualidade. Dessa forma, a diminuição de -5,71% observada no CR enquadra-se dentro de uma faixa de variação mínima, não caracterizando comprometimento expressivo da qualidade de imagem.

A literatura corrobora essa interpretação: Ledda et al. (2022) destacam que, embora o processamento com o filtro negativo possa melhorar a percepção visual em alguns contextos, sua eficácia na detecção de patologias varia conforme o tipo de achado, o contexto clínico e o perfil do observador. Esses resultados reforçam a necessidade de análises quantitativas que avaliem de forma objetiva o impacto do filtro negativo nos descritores de QI.

Diante desses resultados, infere-se que a imagem processada com o filtro negativo deve ser compreendida como uma ferramenta complementar e não substitutiva ao modo convencional de visualização da radiografia de tórax. Para consolidar sua aplicabilidade clínica, recomenda-se que estudos futuros incluam avaliações com observadores especializados (radiologistas e médicos do tórax), comparando o impacto da inversão de escala tanto na acurácia diagnóstica quanto no tempo de

interpretação. Além disso, a integração dessa técnica a sistemas de apoio à decisão, em conjunto com algoritmos mais avançados (como subtração digital ou realce dinâmico de contraste), pode ampliar seu potencial, especialmente em cenários voltados à detecção precoce de alterações sutis no tecido pulmonar.

4. Conclusão

Os resultados obtidos evidenciam que a aplicação do filtro negativo resultou em melhorias quantitativas significativas nos descritores de qualidade de imagem. O incremento observado na Razão Sinal-Ruído (RSR) e na Razão Contraste-Ruído (RCR) indica maior definição estrutural e aprimorada diferenciação entre tecidos, refletindo um ganho substancial na nitidez e no contraste local das radiografias. Embora tenha sido verificada uma redução de 5,71% no Contraste Radiográfico (CR), sugerindo que a técnica preserva a qualidade diagnóstica global, ao mesmo tempo em que potencializa a percepção de detalhes anatômicos sutis em exames radiográficos de tórax.

Agradecimentos

Somos gratos pela inspiração e pelo estímulo intelectual proporcionados pelos professores dos cursos de Radiologia e Física Médica da Universidade Franciscana (UFN), bem como pelo suporte técnico e científico oferecido pelos Laboratórios de Radiodiagnóstico e de Informática da instituição, que contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

Alvarez, M., et al. (2022). *Dose efetiva e nível de referência de dose (DRL) em radiologia em um hospital terciário*. Revista Brasileira de Física Médica, 16, 678–678.

Baroni, R. H., et al. (2025). *Volume 13 – Tórax*. Editora dos Editores.

Bontrager, K. L., & Lampignano, J. P. (2015). *Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada*. Elsevier Brasil.

Bushberg, J. T., & Boone, J. M. (2011). *The essential physics of medical imaging*. Lippincott Williams & Wilkins.

Bushong, S. C. (2022). *Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica*. Elsevier Health Sciences.

Carestream. (n.d.). *Documento técnico | Software CARESTREAM Bone Suppression: Supressão do osso para imagens radiográficas do tórax*. Carestream Health. Recuperado em 17 de outubro de 2025, de <https://www.carestream.com>

Claus, T. V., et al. (2024). *A influência da lei do inverso do quadrado da distância nos indicadores de exposição e qualidade de imagem para exames radiográficos de pelve*. Research, Society and Development, 13(4), e1013445448.

Dance, D. R., et al. (2014). *Diagnostic radiology physics*. International Atomic Energy Agency, 299, 12–14.

Ledda, R. E., et al. (2022). *The diagnostic value of grey-scale inversion technique in chest radiography*. La Radiologia Medica, 127(3), 294–304.

Mendes, H. R., Silva, J. C., & Tomal, A. (2019). *Simulação Monte Carlo em radiografia de tórax: Estudos de dose e qualidade da imagem*. Revista Brasileira de Física Médica, 13(1), 145–153.

Mraity, H. A. A. B., et al. (2016). *Development and validation of a visual grading scale for assessing image quality of AP pelvis radiographic images*. The British Journal of Radiology, 89(1061), 20150430.

Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free ebook]. Santa Maria. Editora da UFSM.

Robinson, J. W., et al. (2013). *Grey-scale inversion improves detection of lung nodules*. The British Journal of Radiology, 86(1021), 27961545.

Tompe, A., & Sargar, K. (2020). *X-ray image quality assurance*.

Queiroz, J. E. R., & Gomes, H. M. (2006). *Introdução ao processamento digital de imagens*. Rita, 13(2), 11–42.

Vianna, E. R. L., & Schwarz, A. P. (2020). *Desenvolvimento e construção de um fantasma de tórax para uso nos estudos de imagens radiológicas* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Franciscana – UFN].

Wayne, R. (2021). *Software para processamento e análise de imagens*. National Institute of Mental Health, Java. Recuperado em 5 de setembro de 2025, de <http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html>

Weis, G. L., Müller, F. M., & Schuch, L. A. (2013). Redução da dose de radiação em pacientes e equipes médicas pelo uso de filtros adicionais de cobre e alumínio nas saídas de tubos de raios X em equipamentos de hemodinâmica. *Revista Brasileira de Física Médica*, 7(3), 138-144.