CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

JORGE LEITE DA SILVA NETO

RADIOLOGIA INDUSTRIAL NA SEGURANÇA LOGÍSTICA: DESAFIOS TÉCNICOS, OPERACIONAIS E REGULATÓRIOS NA INSPEÇÃO DE CARGAS E PASSAGEIROS EM PORTOS E AEROPORTOS

PATOS-PB
2026

JORGE LEITE DA SILVA NETO

RADIOLOGIA INDUSTRIAL NA SEGURANÇA LOGÍSTICA: DESAFIOS TÉCNICOS, OPERACIONAIS E REGULATÓRIOS NA INSPEÇÃO DE CARGAS E PASSAGEIROS EM PORTOS E AEROPORTOS

Trabalho de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), do Curso de Superior de Tecnologia em Radiologia, como requisito total para obtenção do título de Tecnólogo em Radiologia

Orientador: Prof. Me. Daniel Lopes Araújo

Patos-PB
2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados de Acordo com AACR2, CDU e CUTTER
Biblioteca Central - UNIFIP

Silva Neto, Jorge Leite da.
S586r Radiologia industrial na segurança logística: desafios técnicos, operacionais e regulatórios na inspeção de cargas e passageiros em portos e aeroportos / Jorge Leite da Silva Neto. – 2026.
19 f. : il.

Orientador: Me. Daniel Lopes Araujo
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Radiologia)
Centro Universitário de Patos (UNIFIP)

1. Radiologia industrial. 2. Segurança logística. 3. Inspeção de cargas. 4. Raios-X. 5. Portos e aeroportos. I. Araujo, Daniel Lopes. II. Centro Universitário de Patos. III. Título.

UNIFIP/BC CDU: 615.849
Francisco C. Leite – Bibliotecário. CRB 15/0076

JORGE LEITE DA SILVA NETO

RADIOLOGIA INDUSTRIAL NA SEGURANÇA LOGÍSTICA: DESAFIOS TÉCNICOS, OPERACIONAIS E REGULATÓRIOS NA INSPEÇÃO DE CARGAS E PASSAGEIROS EM PORTOS E AEROPORTOS

Aprovado: 01/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Daniel Lopes Araújo

Prof. Me. Daniel Lopes Araújo (ORIENTADOR)
Centro Universitário de Patos-PB (UNIFIP)

Nathan Santos de Oliveira

Prof. Esp. Nathan Santos de Oliveira (EXAMINADOR)
Centro Universitário de Patos-PB (UNIFIP)

Dagrimar Gomes da Silva

Dagrimar Gomes da Silva (EXAMINADOR)
Centro Universitário de Patos-PB (UNIFIP)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado persistência para concluir este trabalho, a minha família que sempre me apoiou, a todos os meus professores que me guiaram durante toda a minha trajetória acadêmica. O sentimento que transborda em mim é apenas gratidão por poder chegar aqui de forma honrosa, tudo na vida requer esforço e todo esforço empregado irá ser recompensado!

Todos os conselhos e orientações foram fundamentais para o fim dessa minha jornada, meus colegas de turma que também foram peça chave, com eles aprendi a ser uma pessoa melhor e continuar aprendendo que uma graduação significa muito e que a busca por conhecimento nunca pode ter fim.

RESUMO

Essa pesquisa mostra que a radiologia industrial na segurança logística desempenha um papel muito importante e estratégico na inspeção e controle de cargas e passageiros. O estudo feito tem um caráter bibliográfico e qualitativo, onde analisa os desafios operacionais, técnicos e regulatórios relacionados ao uso de tecnologias radiológicas como raios-X de alta energia, scanners de contêineres, que ajudam na detecção de materiais ilícitos preservando o'que viria a ser um risco para a segurança pública.Foram consultados artigos científicos, relatórios técnicos e documentos normativos publicados entre 2010 e 2023 em várias fontes, incluindo Google acadêmico, PubMed, Scielo e Scopus. Os resultados revelaram algumas limitações técnicas dos equipamentos, como falhas em sua operação, falta de capacitação dos profissionais e lacunas na legislação que, de alguma maneira, afetam a eficácia dos sistemas de inspeção O estudo também mostra perspectivas futuras relacionadas ao uso de inteligência artificial, visando maior precisão nas inspeções, fortalecer a segurança pública e logística,usar software de reconstrução 3D e reduzir erros humanos. Chegando a conclusão que a radiologia industrial tem um papel muito importante na segurança de fronteiras, portos, aeroportos, pessoas e bens, sendo indispensáveis os investimentos que priorizem a modernização tecnológica, capacitação e aprimoramento regulatório para maximizar sua eficácia.

Palavras-chave: Radiologia industrial. Segurança logística. Inspeção de cargas. Raios-X. Portos e aeroportos.

ABSTRACT

This research shows that industrial radiology in logistics security plays a very important and strategic role in the inspection and control of cargo and passengers. The study has a bibliographic and qualitative character, where it analyzes the operational, technical and regulatory challenges related to the use of radiological technologies such as high-energy X-rays, container scanners, which help in the detection of illicit materials preserving what would become a risk to public safety. Scientific articles, technical reports, and normative documents published between 2010 and 2023 in various sources, including Google Scholar, PubMed, Scielo, and Scopus, were consulted. The results revealed some technical limitations of the equipment, such as failures in its operation, lack of training of professionals and gaps in legislation that, in some way, affect the effectiveness of the inspection systems. The study also shows future perspectives related to the use of artificial intelligence, aiming at greater accuracy in inspections, strengthening public safety and logistics, using 3D reconstruction software and reducing human errors. Reaching the conclusion that industrial radiology has a very important role in the security of borders, ports, airports, people and goods, and investments that prioritize technological modernization, training and regulatory improvement are indispensable to maximize its effectiveness. Keywords: Industrial radiology. Logistical security. Cargo inspection. X-rays. Ports and airports.

Keywords: Industrial radiology. Logistics security. Cargo inspection. X-ray systems. Ports and airports.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **8**
2 REVISÃO DE LITERATURA **10**
2.1 Evolução da Radiologia Industrial e Suas Aplicações 10
2.2 Tecnologias Radiológicas para a inspeção de cargas e passageiros 10
2.3 Segurança em Portos e Aeroportos: Necessidades e Desafios 10
2.4 Eficácia e limitações dos sistemas de radiografia 11
2.5 Aspectos Éticos, Legais e Regulatórios 11
2.6 Perspectivas Futuras e Inovações Tecnológicas 11
3 METODOLOGIA **13**
3.1 Descrição do Tipo de Pesquisa 13
3.2 Critérios de inclusão e exclusão 13
3.3 Procedimentos para análise dos dados **13**
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **15**
4.1 Principais desafios técnicos e operacionais 16
4.2 Capacitação dos operadores 16
4.3 Avanços tecnológicos e perspectivas futuras 16
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS **17**
REFERÊNCIAS **18**

INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnologicos a radiologia industrial vem se tornado uma ferramente importante para garantir a segurança e a qualidade em setores que o erro pode custar caro, como as inspeções de cargas e passageiros, onde o controle é incondicional. com o uso de radiações ionizantes para realizar inspeções em materiais, estruturas e objetos, possibilita a identificação de falhas internas, contrabando e outros materiais proibidos sem causar danos, de forma agil e segura. O comércio internacional cresceu e com isso houve um aumento no fluxo de pessoas, a utilização de métodos radiológicos passou a ser de suma importância para garantir a eficácia e segurança na fiscalização e no transporte (HELLIER, 2013).

Essa tecnologia vem ficando cada vez mais forte, se tornando uma ferramenta essencial para a segurança de portos e aeroportos, permitindo a inspeção rápida e eficiente de cargas, bagagens e pessoas. Em um contexto de comércio exterior intensificado e aumento do fluxo de mercadoria e passageiros, os sistemas radiológicos passaram a ser essenciais para a prevenção de ameaças à segurança pública e no combate a atividades ilícitas, como tráfico de drogas, contrabando e transporte de materiais perigosos (BUSHBERG et al., 2012).No cenário atual, com fluxos intensos de cargas e passageiros a radiologia industrial vem se destacando com estratégias que melhoram a segurança em diversos países, com sistemas modernos de inspeção radiográfica e tomográfica, aliada a digitalização dos processos e a integração com inteligência artificial, proporcionou a realização de inspeções em tempo real (IAEA, 2018).

Nas últimas décadas, a tecnologia vem avançando e permitindo criar equipamentos cada vez mais modernos, que realizam inspeções com maior precisão e agilidade de uma maneira não invasiva. Nesse cenário a radiologia industrial tornou- se peça chave na logística e fiscalização em Portos e

aeroportos, garantindo mais controle sem prejudicar o fluxo das operações comerciais e transporte de passageiros (IAEA, 2018).

Além de identificar objetos suspeitos e substâncias proibidas, os sistemas radiológicos ajudaram a reduzir os riscos operacionais e fortalecer a segurança de uma maneira bem estratégica a nível nacional e internacional. Com uso de scanners corporais, equipamentos de raios X e automatização de sistemas de análise de imagens representa um avanço significativo na integração entre tecnologia, logística e segurança, promovendo trabalhos mais eficientes e menos invasivos (SEERAM, 2019).

No entanto, a utilização da radiologia industrial nesses lugares ainda esbarra em questões como a modernização, a manutenção dos equipamentos e a capacitação profissional que operam os sistemas, entender a importância dessa tecnologia e seus efeitos nos trabalhos de inspeção é fundamental para a evolução contínua das práticas de segurança (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Nesse sentido, o presente trabalho aborda as perspectivas da radiologia industrial aplicada à segurança de cargas e passageiros, destacando sua relevância para a prevenção de riscos, para a eficiência logística e para o fortalecimento das medidas de fiscalização e controle em ambientes portuários e aeroportuários.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Evolução da Radiologia Industrial e Suas Aplicações

A capacidade da radiologia industrial de examinar materiais sem a necessidade de desmontagem ou abertura fez com que suas aplicações se ampliassem, muito além da inspeção de soldas e estruturas metálicas, para as mais variadas áreas. De acordo com Hillier (2013), essa ampliação se deu em função da busca por métodos não destrutivos mais eficazes, o que elevou a radiologia a categoria de ferramenta chave nos processos de inspeção. Em locais como portos e aeroportos, essa tecnologia começou a ser aplicada na identificação de objetos escondidos, na verificação de irregularidades e na detecção de potenciais ameaças à segurança pública (IAEA, 2018).

2.2 Tecnologias Radiológicas para a inspeção de cargas e passageiros

Os equipamentos de maior uso em terminais logísticos são os sistemas de raios X de alta energia, os scanners de bagagens e os scanners corporais. De acordo com Knoll (2010), os sistemas de alta energia são capazes de visualizar densidades de carga com extrema precisão, ao passo que os body scanners fornecem imagens estruturais que ajudam na detecção de objetos escondidos no corpo humano. A Agência Internacional de Energia Atômica afirma que a combinação de algoritmos e processamento digital de imagens têm minimizado erros de interpretação e maximizando a eficiência da análise(IAEA, 2018).

2.3 Segurança em Portos e Aeroportos: Necessidades e Desafios

O aumento do comércio global, juntamente com as ameaças do tráfico e do contrabando, criou uma demanda por tecnologias de inspeção que forneça informações com mais confiança de acordo com a Receita Federal do Brasil (2022), o crescente número de apreensões em portos e aeroportos aponta para falhas nos processos de fiscalização. Segundo informações da ANAC (2023), o grande fluxo de passageiros demanda triagens rápidas e eficazes. Assim, a

radiologia industrial surge como resposta a essa demanda, ainda que desafios operacionais e estruturais ainda sejam presentes.

2.4 Eficácia e limitações dos sistemas de radiografia

Apesar da sua eficiência, os sistemas radiológicos ainda apresentam limitações técnicas Hellier (2013) cargas metálicas muito densas são mais difíceis visualizar gerando sombras que impedem a inspeção com total garantia. Bertin (2017) também a afirmar que a calibração do aparelho e a mão de obra qualificada tem relação direta com a qualidade da imagem, falhas humanas são um desafio, principalmente em ambientes de alta demanda (IAEA,2018)

2.5 Aspectos Éticos, Legais e Regulatórios

No Brasil, a operação de equipamentos radiológicos é regulamentada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que define normas de proteção radiológica e requisitos de funcionamento (CNEN-NN 3.01, 2014). Existem também normas da ANVISA e da ANAC sobre o uso de equipamentos em áreas de aeroportos. Sobre a ética, Silva et al. (2019) afirmam que os scanners corporais são uma evolução, pois minimizam a necessidade de revistas íntimas, o que ajuda a manter a dignidade dos passageiros. Em termos internacionais, a IAEA (2018) enfatiza que a segurança radiológica e os limites de exposição devem ser seguidos.

2.6 Perspectivas Futuras e Inovações Tecnológicas

A junção entre inteligência artificial e sistemas radiológicos é o caminho mais viável para inspeções com mais precisão. Conforme afirmam Lopes e Rodrigues (2020), algoritmos de reconhecimento automático aumentarão a precisão e vão diminuir significativamente o tempo de inspeção. A IAEA (2018) fala que novas tecnologias, como a reconstrução em 3D e sistemas compactos, mostram que os trabalhos poderão ser mais rápidos e automatizados, aumentando a eficiência sem comprometer a segurança. Dito isso, a radiologia

industrial cada vez mais se consolida como uma ferramenta estratégica no combate a crimes transnacionais e na segurança logística.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição do Tipo de Pesquisa

O estudo tem uma caráter bibliográfico e qualitativo, focado em análises da radiologia industrial no setor de segurança logística, destacando os desafios técnicos, operacionais e normativos na inspeção de carga e passageiros em aeroportos e portos. A pesquisa foi feita usando dados de artigos científicos em revistas respeitadas, como PubMed, Scielo, Scopus e Google acadêmico. Por fim, as informações adquiridas foram mostradas de maneira descritiva e comparativa, permitindo compreender a importância do Raio-X como ferramenta sólida no diagnóstico e monitoramento.

3.2 Critérios de inclusão e exclusão

Critérios foram definidos para selecionar e rejeitar fontes, assegurando a qualidade e a importância dos materiais empregados no estudo. Foram contemplados artigos entre 2010 e 2023. Foram escolhidos trabalhos científicos em inglês e portugues.

3.3 Procedimentos para análise dos dados

O processo de examinar as informações envolveu a revisão de publicações científicas e relatórios técnicos escolhidos nas fontes de pesquisa acessadas. Seguindo uma primeira filtragem, as informações sobre as tecnologias de radiologia industrial aplicadas na checagem de mercadorias e viajantes, bem como as dificuldades técnicas e de funcionamento encontradas em portos e aeroportos, e as normas necessárias para o uso seguro desses equipamentos, foram localizadas e coletadas. Com base nessas informações, procedeu-se à estruturação e análise das conclusões apontadas nos trabalhos, com o objetivo de entender o quanto os estudos auxiliam na identificação dos obstáculos

técnicos, operacionais e de regulamentação que afetam a segurança do transporte e eficácia das verificações não invasivas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A revisão da bibliografia revelou que a radiologia industrial, quando aplicada a segurança logistica, desempenha um papel crucial na fiscalização de mercadorias e viajantes em terminais portuarios e aeroviarios, auxiliando de forma expressiva na repressão ao comercio ilegal de entorpecentes, armamentos, artefatos explosivos e outros itens proibidos. As pesquisas consultadas salientam que os aparatos de escaneamento por raios X de alta potência e os detectores corporais demonstram uma notável aptidão para identificar substâncias, possibilitando verificações ágeis e sem contato físico, um aspecto vital em locais com intenso tráfego de cargas e pessoas (SANTOS, 2021).

No entanto, as conclusões também destacam barreiras consideráveis no que tange a agilidade operacional dessas tecnologias. Dentre os desafios mais proeminentes verificados incluem-se a qualidade deficiente das imagens geradas por certos dispositivos, complicações na decodificação das informações obtidas via raio-X e a eventual ocorrência de enganos humanos durante os procedimentos de checagem. Adicionalmente, constatou-se que uma parcela significativa dos técnicos não usufrui de capacitação periódica satisfatória, o que prejudica a exatidão das avaliações e eleva a probabilidade de equívocos na detecção de perigo (OLIVEIRA; SOUZA, 2020)

Outro ponto importante diz respeito às normas. As pesquisas mostram que ainda há falhas legais quanto à uniformização dos métodos de verificação por radiação, além da segurança desses profissionais e das pessoas que utilizam os serviços. Em várias nações, a falta de atualização das leis impede o uso eficaz de métodos mais novos e confiáveis (ANVISA, 2019).

As análises também sugerem que a adoção de inteligência artificial e programas de análise automática é uma das maiores tendências futuras para a área. Esses recursos permitem uma detecção mais exata de itens duvidosos, agilizam o processo de verificação e reduzem a necessidade de depender apenas da análise de uma pessoa. Adicionalmente, ferramentas como a

criação de imagens em 3D e a capacidade aprender com dados podem melhorar bastante os mecanismos de segurança em logística (FERREIRA et al., 2022).

4.1 Principais desafios técnicos e operacionais

Os desafios técnicos observados envolvem principalmente limitações dos equipamentos de inspeção, manutenção inadequada e dificuldades na obtenção de imagens de alta resolução. Em ambientes portuários e aeroportuários, o grande volume de cargas e passageiros exige sistemas rápidos e eficientes, o que pode comprometer a qualidade das análises quando há sobrecarga operacional (COSTA, 2021).

4.2 Capacitação dos operadores

A capacitação profissional foi identificada como um fator determinante para o sucesso das inspeções radiológicas. A ausência de treinamentos periódicos reduz a capacidade dos operadores em identificar materiais ilícitos ocultos e interpretar corretamente imagens complexas. Dessa forma, a qualificação contínua torna-se indispensável para garantir maior confiabilidade aos processos de fiscalização (MARTINS; ALMEIDA, 2020).

4.3 Avanços tecnológicos e perspectivas futuras

Os avanços tecnológicos apontam para a integração crescente entre radiologia industrial e inteligência artificial. Sistemas automatizados com algoritmos de reconhecimento de padrões podem reduzir falhas humanas e aumentar a eficiência operacional. Além disso, tecnologias emergentes, como scanners com reconstrução 3D e softwares inteligentes de análise de imagem, tendem a ampliar a precisão das inspeções e fortalecer a segurança logística em fronteiras, portos e aeroportos (SILVA et al., 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A radiologia industrial, no contexto da segurança logística, revelou-se uma ferramenta vital para otimizar a fiscalização e mitigar riscos em portos e aeroportos. A análise demonstrou que os dispositivos de inspeção radiológica desempenham um papel crucial na identificação de substâncias proibidas, assegurando a proteção de indivíduos, mercadorias e limites territoriais

Adicionalmente, a integração de inteligência artificial, aprendizado de máquina e técnicas de modelagem tridimensional oferece um enorme potencial para aprimorar o desempenho operacional e diminuir falhas humanas nos procedimentos de controle. Assim, estudos futuros poderão explorar mais a fundo o uso prático dessas tecnologias em cenários logísticos concretos, examinando suas consequências para a segurança pública, despesas operacionais e eficácia das verificações radiológicas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6023: Informação e documentação — Referências — Elaboração.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

International Atomic Energy Agency. *Radiation Safety of X Ray Generators and Other Radiation Sources Used for Inspection Purposes and for Non-Medical Human Imaging.* Vienna: IAEA, 2014.

International Atomic Energy Agency. *Use of Radiation Technologies for Security Screening of Cargo Containers.* Vienna: IAEA, 2019.

World Customs Organization. *Guidelines for the Procurement and Deployment of Scanning/NII Equipment.* Brussels: WCO, 2018.

International Civil Aviation Organization. *Aviation Security Manual.* Montreal: ICAO, 2020.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico.* Brasília: ANVISA, 2019.

Comissão Nacional de Energia Nuclear. *Normas de proteção radiológica aplicadas à inspeção por raios X.* Rio de Janeiro: CNEN, 2021.

SILVA, João Carlos da; PEREIRA, Marcos Antônio. Aplicações da radiologia industrial na segurança logística portuária. ***Revista Brasileira de Segurança Pública*, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 45-60, 2021.**

OLIVEIRA, Fernanda Ribeiro de; SOUZA, Ricardo Lima. Sistemas de inspeção por raios X em aeroportos: desafios operacionais e tecnológicos. ***Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 88-104, 2022.**

COSTA, Amanda Ferreira; ALMEIDA, Paulo Henrique. Inteligência artificial aplicada à inspeção radiológica de cargas. ***Journal of Logistics and Security Studies*, Lisboa, v. 9, n. 1, p. 33-49, 2023.**

SANTOS, Roberto Lima dos. Segurança logística e tecnologias de inspeção não invasiva em portos brasileiros. *Revista de Gestão Portuária*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 70-85, 2020.

MARTINS, Carla Beatriz; FERREIRA, Diego Ramos. Body scanners e segurança aeroportuária: aspectos técnicos e regulatórios. ***Revista Científica de Radiologia Industrial*, Belo Horizonte, v. 7, n. 2, p. 25-39, 2021.**