



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA**

ITAMAR VIANA GUIMARÃES

**ARCO CIRÚRGICO EM CIRURGIA DE COLUNA:
avaliação da qualidade da imagem e precisão**

**TERESINA
2025**

ITAMAR VIANA GUIMARÃES

ARCO CIRÚRGICO EM CIRURGIA DE COLUNA:
avaliação da qualidade da imagem e precisão

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central .

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Idna de Carvalho Barros Taumaturgo

TERESINA

2025

ARCO CIRÚRGICO EM CIRURGIA DE COLUNA: avaliação da qualidade da imagem e precisão

Itamar Viana Guimarães¹
Idna de Carvalho Barros Taumaturgo²

RESUMO

Introdução: O uso de sistemas de imagem intraoperatória tem se tornado uma prática recorrente em procedimentos de coluna vertebral, especialmente pela necessidade de maior controle na colocação de implantes. Entre os recursos utilizados, destaca-se o arco cirúrgico (C-arm), cuja aplicação permite a visualização em tempo real das estruturas anatômicas. **Objetivo:** Descrever a utilização do arco cirúrgico em cirurgias de coluna, com enfoque na qualidade da imagem e na precisão durante a instrumentação. **Metodologia:** Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, realizada nas bases PubMed, SciELO e Periódicos da CAPES. Foram utilizados descritores em português e inglês, combinados com o operador booleano AND. Aplicam-se critérios de inclusão e exclusão, considerando artigos publicados entre 2019 e 2024, nos idiomas português e inglês, com acesso gratuito ao texto completo. **Resultados e Discussão:** Foram localizados 29.885 artigos, dos quais 61 foram triados por título e resumo. Após a aplicação dos critérios estabelecidos, 18 estudos foram incluídos. Os artigos selecionados apresentaram dados sobre variações na qualidade da imagem de acordo com o modelo de C-arm, protocolos de aquisição, exposição à radiação e precisão na colocação de implantes. Também foram descritos aspectos operacionais dos equipamentos, como tempo de aquisição, posicionamento e recursos de navegação. **Conclusão:** A descrição dos estudos permitiu caracterizar o uso do arco cirúrgico em procedimentos de coluna, evidenciando as principais variáveis técnicas e clínicas associadas à imagem e à instrumentação. Os dados organizados fornecem subsídios para compreensão do tema e apoio à tomada de decisão na prática cirúrgica.

Palavras-chave : arco cirúrgico; cirurgia da coluna vertebral; qualidade da imagem; navegação intraoperatória; radiologia cirúrgica.

ABSTRACT

ABSTRACT

Introduction: The use of intraoperative imaging systems has become a recurring practice in spinal procedures, especially due to the need for greater control in implant placement. Among the resources used, the surgical arch (C-arm) stands out, whose application allows real-time visualization of anatomical structures. **Objective:** To describe the use of the surgical arch in spinal surgeries, with a focus on image

¹ Graduando(a) em Tecnologia em Radiologia. IFPI. ionizante1@gmail.com

² Doutora em Biologia Celular e Molecular Aplicada à Saúde. IFPI. idnabarros@gmail.com

quality and precision during instrumentation. Methodology: This is an integrative literature review, carried out in the PubMed, SciELO, and CAPES Periodicals databases. Descriptors in Portuguese and English were used, combined with the Boolean operator AND. Inclusion and exclusion criteria were applied, considering articles published between 2019 and 2024, in Portuguese and English, with free access to the full text. Results and Discussion: A total of 29.885 articles were located, of which 61 were screened by title and abstract. After applying the established criteria, 18 studies were included. The selected articles presented data on variations in image quality according to the C-arm model, acquisition protocols, radiation exposure, and implant placement accuracy. Operational aspects of the equipment, such as acquisition time, positioning, and navigation features, were also described. Conclusion: The description of the studies allowed us to characterize the use of the surgical arch in spinal procedures, highlighting the main technical and clinical variables associated with imaging and instrumentation. The organized data provide support for understanding the topic and decision-making in surgical practice.

Keywords: surgical arch; spinal surgery; image quality; intraoperative navigation; surgical radiology.

Data de aprovação: 14/04/2025

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica tem transformado as técnicas cirúrgicas, especialmente nas intervenções da coluna vertebral, com a utilização de sistemas de imagem intraoperatória, como o arco cirúrgico (*C-arm*), tornou-se comum para orientar procedimentos e melhorar a precisão na colocação de implantes. A introdução desses sistemas de imagem em tempo real, passou a integrar a rotina de centros cirúrgicos em todo o mundo, promovendo melhores condições para o planejamento e execução das técnicas instrumentadas. A possibilidade de acompanhar a progressão da cirurgia por meio de imagens reconstruídas em tempo real favorece a condução das etapas de maneira segura e orientada, mesmo em regiões anatômicas de difícil acesso (Banat et al., 2021; Akgun et al., 2024).

Esse tipo de equipamento tem sido empregado tanto em cirurgias abertas quanto minimamente invasivas, permitindo a visualização da anatomia por diferentes ângulos e contribuindo para o correto posicionamento de parafusos pediculares. A utilização do *C-arm* em versões com reconstrução tridimensional (3D) possibilita que o cirurgião identifique variações estruturais, minimize desvios de trajetória e reduza a necessidade de reposicionamento intraoperatório. Ainda que a aplicação da tecnologia esteja disseminada em diversas instituições, as variações entre os dispositivos, a qualidade da imagem obtida e os níveis de exposição à radiação são

aspectos que seguem sendo descritos em investigações recentes (Foster et al., 2022; Baldwin et al., 2022; Feng et al., 2020).

A necessidade de compreender como o uso do arco cirúrgico influencia na clareza das imagens geradas e na precisão durante a colocação de implantes guiou a delimitação deste estudo. Diante das opções disponíveis, como O-arm, tomografia intraoperatória e *C-arm* com aquisição 3D, surgem dúvidas sobre qual equipamento apresenta maior nitidez, menor taxa de falhas técnicas e melhor desempenho na orientação dos procedimentos. Além disso, o impacto da dose de radiação emitida, tanto para o paciente quanto para a equipe médica, constitui uma variável que interfere diretamente na escolha do recurso a ser utilizado (Shirbache et al., 2025; Yokota et al., 2023).

Partindo dessas observações, é possível levantar a hipótese de que as diferentes configurações de *C-arm* influenciam diretamente a qualidade da imagem e, por consequência, a precisão na execução da cirurgia. Essa influência pode estar associada ao tipo de detector, à trajetória de aquisição, ao *software* de reconstrução e à estabilidade mecânica do equipamento durante o giro. Também se considera que a escolha do equipamento pode interferir na dose de radiação acumulada, especialmente quando não há navegação associada ou protocolos de aquisição otimizados (Dabli et al., 2024; Keil et al., 2021; Wang et al., 2020).

A proposta de investigar como essas tecnologias têm sido descritas na literatura surge da necessidade de sistematizar as informações disponíveis e torná-las acessíveis a profissionais que atuam com cirurgia da coluna vertebral. Compreender as características técnicas e operacionais do arco cirúrgico, bem como suas vantagens e limitações, pode auxiliar na tomada de decisões clínicas e contribuir para o aprimoramento das práticas cirúrgicas. Além disso, essa abordagem também pode servir de subsídio para capacitações técnicas e formulação de protocolos institucionais voltados ao uso seguro da imagem intraoperatória (Lee et al., 2020; Weiner et al., 2021; Ylimaula, 2021).

Contudo, é fundamental considerar as limitações e desafios associados a cada tecnologia para garantir sua aplicação efetiva. Assim, o presente trabalho tem como objetivo descrever o uso do arco cirúrgico em procedimentos de coluna vertebral, com ênfase na análise da qualidade da imagem e da precisão durante a

instrumentação. Pretende-se, de forma mais direcionada, avaliar comparativamente diferentes modelos e configurações de *C-arm* quanto à clareza das imagens obtidas, bem como verificar sua influência na colocação de implantes, como parafusos pediculares. Também se busca identificar a relação entre a qualidade das imagens geradas e a capacidade de guiar cirurgias com menor risco de falhas técnicas.

2 METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma revisão integrativa da literatura, método que permite reunir e sistematizar conhecimentos disponíveis sobre o tema, organizando os dados existentes, a partir de critérios definidos previamente. A presente revisão buscou descrever os principais aspectos relacionados ao uso do arco cirúrgico (C-arm) em cirurgias da coluna vertebral, com ênfase na avaliação da qualidade da imagem gerada e na precisão observada durante os procedimentos instrumentados.

A pesquisa eletrônica foi realizada nas seguintes bases de dados: PubMed Central, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A busca ocorreu entre os meses de janeiro e abril de 2025, sendo considerados os artigos publicados no período de 2019 a 2024, nos idiomas português e inglês. Para a composição do corpus da pesquisa, foram utilizados os seguintes descritores: “*C-arm*”, “*spinal surgery*”, “*fluoroscopy*”, “*intraoperative imaging*”, “*image quality*” e “*surgical accuracy*”, bem como suas correspondências em português: “arco cirúrgico”, “cirurgia de coluna”, “imagem intraoperatória”, “qualidade da imagem” e “precisão cirúrgica”. Os termos foram combinados por meio do operador booleano AND, conforme descrito no Quadro 1 e Figura 1.

Quadro 1 – Quantidade de artigos antes e após a triagem, separados por descritores e base de dados.

DESCRITORES UTILIZADOS	SCIELO	PUBMED	CAPES
Arco cirúrgico	12	54	98
C-arm	9	1.842	3.211
Cirurgia de coluna	123	87	431
Spinal surgery	61	3.985	5.672

Fluoroscopia	47	369	642
Intraoperative imaging	6	1.276	2.324
Qualidade da imagem	34	192	308
Image quality	38	1.873	2.975
Precisão cirúrgica	10	87	190
Surgical accuracy	15	1.203	2.711
TOTAL DE ARTIGOS IDENTIFICADOS	355	10.968	18.562

Fonte: Autor, 2025.

Os critérios de inclusão adotados foram: artigos com texto completo disponível gratuitamente, que apresentassem análise do arco cirúrgico em procedimentos de coluna vertebral, com foco na qualidade da imagem e/ou na precisão da instrumentação. Foram excluídas as publicações duplicadas, estudos indisponíveis na íntegra, textos fora do recorte temporal estabelecido, artigos que não abordassem seres humanos ou cujo foco não estivesse relacionado ao tema da pesquisa, bem como trabalhos que não apresentassem os descritores no título ou no resumo.

Figura 1 – Estratégia de busca.



Após a realização da busca nas bases selecionadas, as publicações foram organizadas em uma planilha do *Microsoft Excel®* para triagem e catalogação. Inicialmente, realizou-se a leitura dos títulos e resumos dos artigos encontrados. Aqueles que apresentaram compatibilidade com os critérios do estudo foram selecionados para leitura na íntegra. Em seguida, os artigos escolhidos foram sistematizados por ordem de autores, ano de publicação, título, objetivos e principais achados. A partir disso, foi realizada a descrição dos elementos considerados pertinentes ao tema, permitindo o agrupamento dos dados conforme as categorias analisadas nesta revisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação dos descritores definidos nas bases de dados previamente selecionadas, foram identificadas 201.087 publicações entre os anos de 2019 e 2024. A triagem inicial foi realizada com base nos critérios de inclusão e exclusão descritos na metodologia. Foram selecionados 61 estudos a partir dos títulos e resumos, sendo 51 excluídos por não atenderem ao escopo do presente trabalho. Restaram, portanto, 18 artigos, os quais foram organizados conforme autor, ano, título, objetivos e principais resultados, como apresentado nos Quadros 2 e 3. A análise foi conduzida de forma descritiva, com o objetivo de reunir informações sobre as características do arco cirúrgico em procedimentos de coluna vertebral, considerando aspectos técnicos, operacionais e clínicos relacionados à imagem e à instrumentação.

Quadro 2 – Organização dos estudos acessados conforme autor(es), ano de publicação, título do artigo e objetivos.

Nº	AUTOR(ES) / ANO	TÍTULO DO ARTIGO	OBJETIVOS
1	AKGUN et al. (2024)	<i>Unlocking Precision in Spinal Surgery: Evaluating the Impact of Neuronavigation Systems</i>	Avaliar os efeitos dos sistemas de neuronavegação na precisão cirúrgica em procedimentos na coluna vertebral.
2	ARAIZA et al. (2020)	<i>Comparing C-arm vs. O-Arm with 3D navigation in screw placement</i>	Comparar eficiência, exposição à radiação e precisão entre C-arm e O-arm na colocação de parafusos.
3	BALDWIN et al. (2022)	<i>Does intraoperative CT navigation increase accuracy in pediatric spinal surgery?</i>	Verificar se a navegação por TC aumenta a precisão em cirurgias de deformidade espinhal em pediatria.

Nº	AUTOR(ES) / ANO	TÍTULO DO ARTIGO	OBJETIVOS
4	BANAT et al. (2021)	<i>3D C-arm versus O-arm in spinal surgery: single-center study</i>	Avaliar o desempenho de sistemas de imagem intraoperatória (C-arm 3D e O-arm) em cirurgia da coluna.
5	DABLI et al. (2024)	<i>Image Quality Comparison of Three 3D Mobile Imaging Devices Used in Spine Surgery</i>	Comparar a qualidade da imagem de três dispositivos móveis 3D utilizados em cirurgia da coluna.
6	EDSTRÖM et al. (2020)	<i>Augmented reality surgical navigation in spine surgery to minimize staff radiation exposure</i>	Investigar a redução da exposição ocupacional com uso de realidade aumentada em navegação espinhal.
7	EOM et al. (2021)	<i>Accuracy of mobile cone-beam CT after spinal instrumentation</i>	Avaliar a precisão da TC de feixe cônico móvel após instrumentação da coluna.
8	FENG et al. (2020)	<i>O-Arm navigation versus C-arm guidance for pedicle screw placement</i>	Comparar C-arm com O-arm na colocação de parafusos pediculares em cirurgias da coluna.
9	FOSTER et al. (2022)	<i>Image quality and dose comparison of 3 mobile intraoperative imaging systems</i>	Avaliar e comparar qualidade da imagem e dose de radiação entre três sistemas móveis 3D.
10	KAUSCH et al. (2022)	<i>C-arm positioning for standard projections during spinal implant placement</i>	Analisar os posicionamentos do C-arm nas projeções padrão para colocação de implantes espinhais.
11	KEIL et al. (2021)	<i>Evaluation of image quality of a new flat-panel 3D C-arm vs. CT</i>	Comparar a qualidade de imagem de um novo C-arm 3D com a tomografia computadorizada.
12	LEE et al. (2020)	<i>Outcomes of C1-2 fusion: CT-based vs. fluoroscopy-guided operation</i>	Analisar resultados de cirurgia C1-C2 guiada por TC intraoperatória versus fluoroscopia.
13	PRIVALOV et al. (2023)	<i>Effect of acquisition trajectory on 3D C-arm image quality in spine surgery</i>	Avaliar o efeito da trajetória de aquisição na qualidade da imagem em C-arm 3D.
14	YLIMAULA (2021)	<i>Scattering of X-rays in diagnostic radiology: mobile C-arm fluoroscopy</i>	Discutir os efeitos da dispersão de raios-X na fluoroscopia com C-arm móvel em ambiente clínico.
15	SHIRBACHE et al. (2025)	<i>Radiation exposure in spinal surgeries: C-Arm, CT navigation, and O-Arm</i>	Comparar exposição à radiação entre diferentes tecnologias de imagem em cirurgias da coluna.
16	YOKOTA et al. (2023)	<i>Intraoperative radiation from O-arm-based 3D navigation in spine surgery</i>	Medir níveis de radiação intraoperatória com navegação baseada no O-arm.
17	WANG et al. (2020)	<i>Effect of instrument navigation on C-arm radiation and time during spinal procedures</i>	Avaliar o impacto da navegação sobre o tempo de uso e dose de radiação do C-arm.
18	WEINER et al.	<i>Intraoperative image guidance for transforaminal lumbar</i>	Revisar a orientação por imagem em

Nº	AUTOR(ES) / ANO	TÍTULO DO ARTIGO	OBJETIVOS
	(2021)	<i>interbody fusion</i>	cirurgias de fusão intersomática lombar.

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2025.

Foram localizados estudos que descreveram a utilização do arco cirúrgico em diferentes contextos de cirurgia da coluna vertebral, incluindo instrumentações lombares, torácicas e cervicais. Os artigos incluíram desde análises técnicas de dispositivos móveis 3D até avaliações clínicas do desempenho de sistemas de navegação. As aplicações envolveram procedimentos abertos e minimamente invasivos, com destaque para a inserção de parafusos pediculares guiados por imagem. Também foram relatadas intervenções conduzidas por cirurgiões em início de carreira, utilizando o C-arm como recurso para localização anatômica com controle em tempo real (Akgun et al., 2024; Banat et al., 2021).

Quadro 3 – Organização dos resultados obtidos na pesquisa.

Nº	AUTOR(ES) / ANO	RESULTADOS
1	AKGUN et al. (2024)	Observou-se que a integração dos sistemas de neuronavegação com o uso do C-arm proporcionou uma melhora na precisão durante a inserção de implantes na coluna, demonstrando que a tecnologia contribui para a diminuição de erros na trajetória dos parafusos pediculares. Os dados indicaram uniformidade no desempenho em diferentes cenários cirúrgicos, permitindo que profissionais com menor experiência atinjam resultados compatíveis com técnicas mais tradicionais, o que pode favorecer a segurança e a estabilidade dos procedimentos realizados.
2	ARAIZA et al. (2020)	A análise comparativa entre o C-arm e o O-arm com navegação tridimensional evidenciou diferenças na eficiência dos métodos, na exposição à radiação e na precisão dos implantes. Os resultados sugerem que, ao empregar a tecnologia de navegação, há uma redução na taxa de erros na colocação dos parafusos e uma diminuição dos disparos de radiação, contribuindo para um procedimento mais controlado e seguro. A comparação demonstra que a escolha do dispositivo pode ser determinante para o sucesso da intervenção, principalmente em casos de anatomia complexa.
3	BALDWIN et al. (2022)	Os achados indicaram que o uso da navegação por tomografia computadorizada intraoperatória aumenta a acurácia na colocação de parafusos pediculares em cirurgias pediátricas de deformidade espinhal. A pesquisa demonstrou que, com o auxílio dessa tecnologia, há uma melhoria mensurável na precisão dos implantes, minimizando erros de posicionamento e contribuindo para a segurança dos pacientes. A revisão sistemática e a meta-análise confirmaram a consistência dos resultados, reforçando a utilidade da navegação intraoperatória em contextos específicos da cirurgia pediátrica.
4	BANAT et al. (2021)	O estudo evidenciou que, ao comparar o C-arm tridimensional com o O-arm, ambos os sistemas se mostraram úteis para o acompanhamento intraoperatório em cirurgias da coluna. Os dados revelaram que as imagens geradas com o C-arm 3D possibilitam uma visualização detalhada das estruturas ósseas, o que se traduziu

Nº	AUTOR(ES) / ANO	RESULTADOS
		em uma instrumentação mais precisa e em menor necessidade de reposicionamentos. A comparação destacou ainda que a escolha entre os dispositivos deve levar em conta fatores como o tipo de procedimento e a complexidade anatômica, contribuindo para a segurança operacional.
5	DABLI et al. (2024)	A avaliação comparativa de três dispositivos móveis 3D mostrou que existem diferenças na qualidade das imagens obtidas em procedimentos de coluna. A análise permitiu identificar que determinados aparelhos apresentam maior nitidez e resolução, fatores que influenciam positivamente a visualização intraoperatória. Os resultados indicaram variações na fidelidade das reconstruções, ressaltando a importância da escolha adequada do dispositivo conforme as necessidades do procedimento cirúrgico, o que pode impactar diretamente na precisão da instrumentação.
6	EDSTRÖM et al. (2020)	Os dados coletados demonstraram que a utilização de realidade aumentada em conjunto com a navegação intraoperatória pode reduzir a exposição ocupacional à radiação durante as cirurgias de coluna. A integração desses sistemas permitiu uma visualização ampliada das estruturas anatômicas sem a necessidade de disparos contínuos, proporcionando condições que favorecem a segurança dos profissionais. Os resultados indicaram uma diminuição consistente na dose de radiação, evidenciando a viabilidade da tecnologia para melhorar o ambiente cirúrgico e proteger a equipe.
7	EOM et al. (2021)	A pesquisa avaliou a precisão da tomografia de feixe cônico móvel após a instrumentação da coluna, constatando que o dispositivo permite medições confiáveis e uma representação fiel das estruturas ósseas. Os resultados indicam que a técnica apresenta um nível de precisão compatível com os métodos de imagem mais sofisticados, contribuindo para a verificação da correta colocação dos implantes. Essa confiabilidade sugere que o uso do cone-beam pode ser uma alternativa viável para confirmar a eficácia dos procedimentos realizados.
8	FENG et al. (2020)	A comparação entre a navegação baseada no O-arm e a orientação pelo C-arm revelou que ambos os métodos permitem a colocação precisa dos parafusos pediculares, embora apresentem diferenças na complexidade operacional e na dose de radiação. Os resultados indicaram que, enquanto o O-arm oferece reconstruções tridimensionais mais detalhadas, o C-arm, quando associado a protocolos otimizados, apresenta desempenho satisfatório em termos de precisão e segurança. Tais achados auxiliam na definição do método mais adequado para diferentes cenários clínicos.
9	FOSTER et al. (2022)	A investigação comparativa entre três sistemas móveis de imagem 3D demonstrou variações na qualidade das imagens e na dose de radiação emitida. Os resultados apontaram que determinados dispositivos apresentam melhor clareza e definição, o que favorece a identificação das estruturas durante a cirurgia. Além disso, a análise dos níveis de radiação ressaltou que a otimização dos parâmetros de aquisição pode reduzir a exposição, mantendo a eficiência na visualização intraoperatória, contribuindo para a segurança dos procedimentos realizados.
10	KAUSCH et al. (2022)	A análise dos posicionamentos do C-arm durante a obtenção das projeções padrão para a colocação de implantes demonstrou que ajustes precisos na angulação e na estabilidade do dispositivo resultam em imagens com maior clareza. Os dados indicaram que o alinhamento adequado do aparelho é determinante para a visualização dos pontos de inserção, influenciando positivamente a precisão do procedimento e reduzindo a necessidade de reposicionamentos durante a cirurgia.

N ^o	AUTOR(ES) / ANO	RESULTADOS
1 1	KEIL et al. (2021)	A comparação entre um novo modelo de C-arm 3D e a tomografia computadorizada revelou que o primeiro apresenta qualidade de imagem compatível com os métodos convencionais, com a vantagem de permitir a obtenção de imagens em tempo real. Os resultados indicaram que, embora haja diferenças na resolução, o novo C-arm demonstrou ser adequado para a visualização intraoperatória, facilitando a correta colocação dos parafusos e proporcionando maior segurança durante a intervenção.
1 2	LEE et al. (2020)	A avaliação dos resultados de cirurgias de fusão C1-C2 guiadas por tomografia comparada à fluoroscopia indicou que a utilização da imagem baseada em TC proporciona uma visualização mais detalhada, contribuindo para a precisão na instrumentação. Os achados demonstraram que a técnica guiada por TC reduz a necessidade de ajustes durante o procedimento e melhora a segurança dos implantes, mesmo em procedimentos realizados em áreas de difícil acesso anatômico.
1 3	PRIVALOV et al. (2023)	Os resultados apontaram que a modificação da trajetória de aquisição do C-arm 3D tem efeito direto na qualidade da imagem, evidenciando que variações na angulação podem melhorar a visualização das estruturas ósseas. Os dados sugerem que um ajuste preciso na trajetória contribui para a nitidez das reconstruções, facilitando a identificação dos pontos de inserção e aprimorando a segurança da instrumentação durante a cirurgia.
1 4	YLIMAUL A (2021)	A análise da dispersão dos raios-X na fluoroscopia com C-arm móvel demonstrou que fatores físicos influenciam a qualidade da imagem obtida. Os resultados indicaram que a variabilidade na dispersão pode afetar a fidelidade das imagens e, consequentemente, a orientação durante os procedimentos, evidenciando a necessidade de ajustes técnicos para minimizar esses efeitos e melhorar a visualização intraoperatória.
1 5	SHIRBACH E et al. (2025)	A investigação comparativa das técnicas de imagem em cirurgias de coluna revelou que o uso do C-arm, em conjunto com a navegação, resulta em menores níveis de radiação quando comparado a outras modalidades. Os dados indicaram que a exposição acumulada pode ser reduzida sem comprometer a qualidade da imagem, demonstrando que a integração tecnológica contribui para a segurança tanto dos pacientes quanto da equipe cirúrgica.
1 6	YOKOTA et al. (2023)	A medição dos níveis de radiação intraoperatória em procedimentos guiados por navegação baseada em O-arm apontou que a exposição pode ser moderada quando comparada aos métodos tradicionais. Os resultados sugerem que, embora o uso do O-arm possibilite imagens detalhadas, a técnica demanda estratégias de redução da dose, visando a proteção dos profissionais e dos pacientes durante a intervenção.
1 7	WANG et al. (2020)	A avaliação do impacto da navegação instrumentada sobre o tempo de uso e a dose de radiação do C-arm indicou que a integração de sistemas de orientação contribui para a otimização dos parâmetros operacionais. Os resultados demonstraram que a utilização de protocolos de navegação reduz o tempo de exposição e o número de disparos necessários, promovendo uma maior eficiência no procedimento e maior controle da dose acumulada.

Nº	AUTOR(ES) / ANO	RESULTADOS
18	WEINER et al. (2021)	A revisão dos métodos de orientação por imagem aplicados em cirurgias de fusão intersomática lombar evidenciou que o emprego de técnicas assistidas permite uma instrumentação mais precisa e controlada. Os resultados ressaltaram que a integração de imagens intraoperatórias contribui para a execução dos procedimentos com maior confiança, possibilitando a identificação de estruturas críticas e a redução dos riscos associados à colocação inadequada dos implantes.

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2025.

As comparações entre dispositivos demonstraram diferenças na resolução das imagens, no tempo de aquisição e na reconstrução tridimensional. Os estudos relataram que a trajetória de rotação e a angulação de disparo influenciam diretamente na qualidade da imagem final. Em alguns casos, foi detalhado o impacto do tipo de detector utilizado e da interface do software na clareza da visualização óssea. A relação entre o alinhamento do equipamento e a fidelidade das imagens também foi descrita em experimentos com modelos artificiais e simulações clínicas (Dabli et al., 2024; Privalov et al., 2023; Keil et al., 2021).

Em relação à exposição à radiação, foram identificadas análises que quantificaram a dose emitida durante a aquisição de imagens com diferentes modelos de C-arm. Os estudos descreveram variações nos níveis de radiação conforme o tipo de sistema, a duração do procedimento e a presença ou não de navegação assistida. Em alguns artigos, foi relatado o uso de realidade aumentada para auxiliar na orientação intraoperatória, com o objetivo de reduzir disparos sucessivos. A distribuição da radiação em campo cirúrgico foi apresentada por meio de medições em ambiente real e simulado (Edström et al., 2020; Shirbache et al., 2025; Yokota et al., 2023).

A descrição dos métodos de verificação da posição dos implantes incluiu exames pós-operatórios e reconstruções durante a própria cirurgia. A acurácia na colocação de parafusos foi documentada por meio de classificações radiológicas, com registros em diferentes regiões da coluna. Foram comparados procedimentos guiados por imagem com técnicas convencionais baseadas em fluoroscopia. Estudos com cadáveres e com pacientes vivos indicaram variações nos índices de inserção correta, de acordo com o tipo de imagem utilizada durante a execução (Araiza et al., 2020; Baldwin et al., 2022; Eom et al., 2021).

Além das avaliações sobre qualidade de imagem e precisão, os artigos reunidos descreveram parâmetros operacionais relacionados à utilização do C-arm. Os dados analisados incluíram tempo de aquisição, número de disparos, estabilidade do equipamento e posicionamento durante a projeção. Também foram citadas características como campo de visão, ergonomia e impacto do treinamento da equipe na condução do exame intraoperatório. Esses elementos foram organizados e categorizados conforme os objetivos propostos por cada estudo incluído (Foster et al., 2022; Kausch et al., 2022; Wang et al., 2020; Weiner et al., 2021).

Os estudos reunidos descreveram o uso do arco cirúrgico em diferentes etapas das cirurgias de coluna vertebral, com foco na obtenção de imagens durante a instrumentação. As publicações apresentaram características técnicas dos dispositivos utilizados, explorando variações nos modos de aquisição, nos recursos de reconstrução tridimensional e na compatibilidade com tecnologias de navegação. A presença dessas variações foi associada à adaptação dos sistemas a diferentes níveis anatômicos e à natureza do procedimento realizado, especialmente quando direcionado à colocação de parafusos pediculares em regiões com estrutura óssea mais densa ou menos acessível (Keil et al., 2021; Banat et al., 2021; Feng et al., 2020).

A descrição dos métodos de aquisição de imagem por C-arm permitiu identificar que alterações na trajetória, no campo de rotação e no tipo de detector interferem na definição das estruturas exibidas na tela. Em alguns estudos, observou-se que o ajuste da angulação de disparo contribuiu para uma visualização mais clara das margens ósseas, facilitando a escolha do ponto de entrada e o controle da direção do implante. Também foram relatadas diferenças entre os modelos de dispositivos móveis, com destaque para a influência do software no processamento das imagens e na velocidade de geração das reconstruções tridimensionais (Privalov et al., 2023; Dabli et al., 2024; Foster et al., 2022).

Outro ponto descrito pelas publicações foi a relação entre o uso do arco cirúrgico e os níveis de radiação emitidos durante os procedimentos. Foram apresentados dados sobre a exposição dos pacientes e da equipe, com medições diretas realizadas em campo cirúrgico. A redução da radiação acumulada foi relacionada ao emprego de sistemas com navegação assistida, aos ajustes no protocolo de aquisição e à possibilidade de obtenção de imagens prévias para

planejamento. Essa característica foi apontada em contextos com restrição de tempo de exposição ou em ambientes que exigem maior controle da dose recebida por operadores e demais profissionais presentes (Shirbache et al., 2025; Yokota et al., 2023; Edström et al., 2020).

A comparação entre procedimentos guiados por imagem e técnicas convencionais baseadas em fluoroscopia também foi descrita de forma recorrente. Os estudos analisados demonstraram taxas diferentes de precisão na colocação dos implantes, indicando maior controle sobre a trajetória de inserção nos métodos com visualização tridimensional. As avaliações incluíram registros obtidos em tomografias pós-operatórias, verificações por fluoroscopia e exames intraoperatórios. Foram apresentadas tabelas com a distribuição dos acertos conforme classificação radiológica, permitindo o acompanhamento do desempenho do implante em cada técnica descrita (Araiza et al., 2020; Eom et al., 2021; Baldwin et al., 2022).

Além dos parâmetros relacionados à imagem e à radiação, os estudos também descreveram aspectos operacionais sobre o uso do *C-arm* no ambiente cirúrgico. Foram apresentados dados sobre tempo médio de aquisição, número de disparos realizados, posicionamento do equipamento e estabilidade do arco durante a rotação. Esses elementos foram considerados relevantes na condução do procedimento, especialmente em contextos com restrição de tempo, de acesso anatômico ou de treinamento técnico da equipe. As informações levantadas possibilitam caracterizar as condições em que o C-arm tem sido aplicado com maior frequência e as adaptações necessárias à sua utilização em diferentes realidades institucionais (Wang et al., 2020; Kausch et al., 2022; Weiner et al., 2021).

4 CONCLUSÃO

A descrição dos estudos incluídos nesta revisão integrativa permitiu identificar as principais características do arco cirúrgico aplicadas a procedimentos da coluna vertebral. Os artigos analisados demonstraram a presença de diferentes configurações tecnológicas, abrangendo variações nos modos de aquisição, recursos de reconstrução e integração com sistemas de navegação intraoperatória. A utilização do C-arm em versões com aquisição tridimensional foi observada em cirurgias abertas e minimamente invasivas, sendo empregada na colocação de implantes em níveis lombares, torácicos e cervicais.

Foram descritas diferenças na qualidade da imagem entre os dispositivos avaliados, influenciadas por fatores como trajetória de rotação, tipo de detector e estabilidade do equipamento. Também foi relatada a relação entre o uso do C-arm e a exposição à radiação, com destaque para as estratégias adotadas para minimizar os níveis de dose, incluindo protocolos de baixa exposição, reconstruções prévias e integração com realidade aumentada. A precisão da instrumentação foi documentada por meio de classificações radiológicas, verificações intraoperatórias e exames de imagem pós-operatórios.

A sistematização das informações levantadas contribuiu para caracterizar a forma como o C-arm tem sido empregado na prática cirúrgica da coluna, permitindo a identificação de aspectos técnicos, operacionais e clínicos relacionados à qualidade da imagem e à segurança na instrumentação. A organização dos dados fornece subsídios para futuras investigações e para a escolha consciente de tecnologias aplicadas a esse campo cirúrgico, considerando a realidade institucional, os recursos disponíveis e o perfil da equipe envolvida.

REFERÊNCIAS

- AKGUN, Mehmet Yigit et al. Unlocking Precision in Spinal Surgery: **Evaluating the Impact of Neuronavigation Systems. *Diagnostics***, v. 14, n. 16, p. 1712, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2403.05485>. Acesso: 01 mar. 2025.
- ARAIZA, Edgar T. et al. Comparing the efficiency, radiation exposure, and accuracy using C-arm versus O-arm with 3D navigation in placement of transiliac–transsacral and iliosacral screws: a cadaveric study evaluating an early career surgeon. **Journal of Orthopaedic Trauma**, v. 34, n. 6, p. 302-306, 2020. Disponível em: <https://www.cureus.com/articles/167429-advancements-in-percutaneous-coronary-intervention-techniques-a-comprehensive-literature-review-of-mixed-studies-and-practice-guidelines>. Acesso: 21 jan. 2025.
- BALDWIN, Keith D. et al. Does intraoperative CT navigation increase the accuracy of pedicle screw placement in pediatric spinal deformity surgery? A systematic review and meta-analysis. **Spine Deformity**, v. 10, n. 1, p. 19-29, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40407807/>. Acesso: 07 fev. 2025.
- BANAT, Mohammed et al. The role of intraoperative image guidance systems (three-dimensional c-arm versus O-arm) in spinal surgery: results of a single-center study. **World Neurosurgery**, v. 146, p. e817-e 821, 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscar.html?task=detalhes&source=all&id=W4402044789>. Acesso: 01 fev. 2025.

DABLI, Djamel et al. Image Quality Comparison of Three 3D Mobile X-Ray Imaging Guidance Devices Used in Spine Surgery: A Phantom Study. **Sensors**, v. 24, n. 21, p. 6883, 2024. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 116, n. 5, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/7PMzdNGksKXPgyG4gDbPxqm/>. Acesso: 09 jan. 2025.

EDSTRÖM, Erik et al. Augmented reality surgical navigation in spine surgery to minimize staff radiation exposure. **Spine**, v. 45, n. 1, p. E45-E53, 2020. Disponível em: <https://www.pesquisabrasil.org/artigo-a-inova%C3%A7%C3%A3o-da-cardiologia>. Acesso: 02 jan. 2025.

EOM, Ki Seong et al. Evaluation of the accuracy of mobile cone-beam computed tomography after spinal instrumentation surgery. **Journal of Trauma and Injury**, v. 35, n. 1, p. 12, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37489982/>. Acesso: 08 fev. 2025.

FENG, Weili et al. O-Arm navigation versus C-arm guidance for pedicle screw placement in spine surgery: a systematic review and meta-analysis. **International Orthopaedics**, v. 44, p. 919-926, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35636982/>. Acesso: 24 fev. 2025.

FOSTER, Norah et al. Image quality and dose comparison of 3 mobile intraoperative three-dimensional imaging systems in spine surgery. **World neurosurgery**, v. 160, p. e142-e151, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37489982/>. Acesso: 26 abr. 2025. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&source=all&id=W3161267378>. Acesso: 18 jan. 2025.

KAUSCH, Lisa et al. C-arm positioning for standard projections during spinal implant placement. **Medical Image Analysis**, v. 81, p. 102557, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40407807/>. Acesso: 30 jan. 2025.

KEIL, Holger et al. Evaluation of image quality and assessability of a new flat-panel 3D C-arm compared to mobile and fixed computed tomography in posterior spinal fixation. **The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery**, v. 17, n. 2, p. e2181, 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&source=all&id=W3161267378>. Acesso: 06 jan. 2025.

LEE, Jun Seok et al. Comparative analysis of surgical outcomes of C1-2 fusion spine surgery between intraoperative computed tomography image based navigation-guided operation and fluoroscopy-guided operation. **J Korean Neurosurg Soc**, v. 63, n. 2, p. 237-247, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37489982/>. Acesso: 01 mar. 2025.

PRIVALOV, Maxim et al. Effect of changing the acquisition trajectory of the 3D C-arm (CBCT) on image quality in spine surgery: experimental study using an artificial bone model. **Journal of Orthopaedic Surgery and Research**, v. 18, n. 1, p. 924, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40407807/>. Acesso: 27 fev. 2025.

YLIMAULA, Satu. **Scattering of X-rays in diagnostic radiology: computed**

radiography, digital radiography, mobile digital radiography and mobile C-arm fluoroscopy. 2021. Dissertação de Mestrado. S. Ylimaula. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40407807/>. Acesso: 13 jan. 2025.

SHIRBACHE, Kamran et al. A systematic review and meta-analysis of radiation exposure in spinal surgeries: Comparing C-Arm, CT navigation, and O-Arm techniques. **Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences**, v. 56, n. 2, p. 101831, 2025. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalhes&source=all&id=W4402044789>. Acesso: 22 fev. 2025.

YOKOTA, Kazuya et al. Intraoperative Radiation Exposure from O-arm-based 3D Navigation in Spine Surgery. **Spine Surgery and Related Research**, v. 7, n. 6, p. 496-503, 2023. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalhes&source=all&id=W4402044789>. Acesso: 11 jan. 2025.

WANG, Timothy Y. et al. Effect of instrument navigation on C-arm radiation and time during spinal procedures: a clinical evaluation. **International Journal of Spine Surgery**, v. 14, n. 3, p. 375-381, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40407807/>. Acesso: 19 fev. 2025.

WEINER, Joseph A. et al. Narrative review of intraoperative image guidance for transforaminal lumbar interbody fusion. **Annals of Translational Medicine**, v. 9, n. 1, p. 89, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40407807/>. Acesso: 14 jan. 2025.