

O PARADOXO DA INOVAÇÃO CIRÚRGICA: BENEFÍCIOS CLÍNICOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CIRURGIA ROBÓTICA E LAPAROSCÓPICA

THE PARADOX OF SURGICAL INNOVATION: CLINICAL BENEFITS AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ROBOTIC AND LAPAROSCOPIC SURGERY

LA PARADOJA DE LA INNOVACIÓN QUIRÚRGICA: BENEFICIOS CLÍNICOS E IMPACTO AMBIENTAL DE LA CIRUGÍA ROBÓTICA Y LAPAROSCÓPICA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n12-278>

Data de submissão: 24/11/2025

Data de publicação: 24/12/2025

Felipe Augusto de Oliveira

Graduando do curso de Medicina

Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)

E-mail: felipeaugustocontatoo@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-4561-9341>

Giovanna Moraes Katopodis

Graduando do curso de Medicina

Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)

E-mail: giovanna.katopodis@academico.unifimes.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-2543-0974>

Mateus Quaresma Mendonça

Docente do curso de Medicina

Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)

E-mail: mateusqm@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6548-2571>

Gustavo Santana de Lima

Docente do curso de Medicina

Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)

E-mail: gsantdelima@unifimes.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2581-5508>

Juliana Evangelista Bezerril

Docente do curso de Medicina

Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)

E-mail: julianaevb@unifimes.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6352-4341>

Andréa Cristina de Sousa

Docente do curso de Medicina

Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)

E-mail: andrea.cristina@unifimes.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8584-8451>

Camila Botelho Miguel
Docente do curso de Medicina
Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)
E-mail: camilabotelho@unifimes.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1834-1394>

Andresa de Cássia Martini
Docente do curso de Medicina
Instituição: Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES)
E-mail: andresa.martini@unifimes.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2553-3685>

RESUMO

Objetivo: Realizar uma revisão narrativa da literatura para comparar as modalidades cirúrgicas aberta (CA), laparoscópica (CL) e robótica (CR), analisando seus impactos em indicadores clínicos (tempo de internação, taxa de complicações) e de sustentabilidade (uso de insumos, geração de resíduos, influência do carbono - CO₂e). **Métodos:** Foi realizada uma busca nas bases de dados MEDLINE/PubMed, Embase, Web of Science e Cochrane Library, abrangendo o período de 2015 a 2025, utilizando descritores relacionados à cirurgia robótica, laparoscopia, cirurgia aberta e sustentabilidade ambiental. Foram selecionados 11 artigos para análise, incluindo revisões sistemáticas, meta-análises e estudos comparativos. A extração de dados focou em desfechos clínicos e quantificação da influência do carbono e produção de resíduos. **Resultados:** A cirurgia robótica (CR) demonstrou ser não inferior à laparoscópica (CL) em termos de morbidade e mortalidade, apresentando vantagens em procedimentos complexos, como menor taxa de conversão e menor tempo de internação em pacientes obesos. No entanto, a CR e a CL, por serem minimamente invasivas, apresentam uma pegada de carbono e geração de resíduos significativamente maiores do que a cirurgia aberta (CA), principalmente devido ao uso de materiais descartáveis. Estudos indicam que a CR pode ter uma pegada de carbono até 77% maior que a CA e 38% maior que a CL. **Conclusão:** Embora a cirurgia minimamente invasiva (CL e CR) ofereça benefícios clínicos importantes, seu impacto ambiental é substancialmente maior. A adoção de práticas sustentáveis, como a reutilização de equipamentos e a gestão otimizada de resíduos, é crucial para que a cirurgia robótica e laparoscópica se consolidem como estratégias verdadeiramente sustentáveis no contexto hospitalar moderno.

Palavras-chave: Cirurgia Robótica. Laparoscopia. Cirurgia Aberta. Sustentabilidade Ambiental.

ABSTRACT

Objective: To conduct a narrative literature review comparing open surgery (OS), laparoscopic surgery (LS), and robotic surgery (RS), analyzing their impacts on clinical outcomes (length of hospital stay and complication rates) and sustainability indicators (use of consumables, waste generation, and carbon influence – CO₂e). **Methods:** A literature search was performed in the MEDLINE/PubMed, Embase, Web of Science, and Cochrane Library databases, covering the period from 2015 to 2025, using descriptors related to robotic surgery, laparoscopy, open surgery, and environmental sustainability. A total of 11 articles were selected for analysis, including systematic reviews, meta-analyses, and comparative studies. Data extraction focused on clinical outcomes and quantification of carbon influence and waste production. **Results:** Robotic surgery (RS) was shown to be non-inferior to laparoscopic surgery (LS) in terms of morbidity and mortality, with advantages in complex procedures, such as lower conversion rates and shorter hospital stays in obese patients. However, both RS and LS, as minimally invasive techniques, were associated with significantly

higher carbon footprints and greater waste generation compared with open surgery (OS), mainly due to the extensive use of disposable materials. Studies indicate that RS may have a carbon footprint up to 77% higher than OS and 38% higher than LS. Conclusion: Although minimally invasive surgery (LS and RS) provides important clinical benefits, its environmental impact is substantially greater. The adoption of sustainable practices, such as equipment reuse and optimized waste management, is essential for robotic and laparoscopic surgery to be consolidated as truly sustainable strategies within the modern hospital setting.

Keywords: Robotic Surgery. Laparoscopy. Open Surgery. Environmental Sustainability.

RESUMEN

Objetivo: Realizar una revisión narrativa de la literatura para comparar las modalidades quirúrgicas abierta (CA), laparoscópica (CL) y robótica (CR), analizando sus impactos en indicadores clínicos (tiempo de hospitalización y tasa de complicaciones) y de sostenibilidad (uso de insumos, generación de residuos e influencia del carbono – CO₂e). Métodos: Se realizó una búsqueda en las bases de datos MEDLINE/PubMed, Embase, Web of Science y Cochrane Library, abarcando el período de 2015 a 2025, utilizando descriptores relacionados con cirugía robótica, laparoscopia, cirugía abierta y sostenibilidad ambiental. Se seleccionaron once artículos para el análisis, incluyendo revisiones sistemáticas, metaanálisis y estudios comparativos. La extracción de datos se centró en los desenlaces clínicos y en la cuantificación de la influencia del carbono y de la producción de residuos. Resultados: La cirugía robótica (CR) demostró no ser inferior a la cirugía laparoscópica (CL) en términos de morbilidad y mortalidad, presentando ventajas en procedimientos complejos, como menores tasas de conversión y menor tiempo de hospitalización en pacientes obesos. Sin embargo, tanto la CR como la CL, al ser técnicas mínimamente invasivas, presentan una huella de carbono y una generación de residuos significativamente mayores en comparación con la cirugía abierta (CA), principalmente debido al uso intensivo de materiales desechables. Los estudios indican que la CR puede presentar una huella de carbono hasta un 77% mayor que la CA y un 38% mayor que la CL. Conclusión: Aunque la cirugía mínimamente invasiva (CL y CR) ofrece beneficios clínicos importantes, su impacto ambiental es sustancialmente mayor. La adopción de prácticas sostenibles, como la reutilización de equipos y la gestión optimizada de residuos, es fundamental para que la cirugía robótica y laparoscópica se consoliden como estrategias verdaderamente sostenibles en el contexto hospitalario moderno.

Palabras clave: Cirugía Robótica. Laparoscopia. Cirugía Abierta. Sostenibilidad Ambiental.

1 INTRODUÇÃO

A saúde global enfrenta um desafio duplo: a necessidade de aprimorar a qualidade e a segurança dos cuidados cirúrgicos e a urgência de mitigar o impacto ambiental das práticas hospitalares [11]. A cirurgia, em particular, é reconhecida como o setor mais intensivo em recursos e energia dentro do sistema de saúde [2] [10].

Historicamente, a **cirurgia aberta (CA)**, ou convencional, tem sido o pilar do tratamento cirúrgico. Com o avanço tecnológico, a **cirurgia laparoscópica (CL)** e, mais recentemente, a **cirurgia robótica (CR)** emergiram como técnicas minimamente invasivas (MIS), que se tornaram o padrão-ouro para diversas intervenções [5]. Essas modalidades oferecem benefícios clínicos inegáveis, como menor tempo de recuperação, menor perda sanguínea e redução das taxas de complicações em comparação com a CA [3] [11].

No entanto, a adoção generalizada das técnicas MIS introduziu uma nova complexidade: o custo ambiental. Estudos demonstram que, apesar dos benefícios clínicos, a CL e a CR geram uma **influência de carbono** e uma **produção de resíduos** significativamente maiores do que a CA [10] [7] [8]. O uso intensivo de instrumentos descartáveis, o consumo de energia e o uso de gases anestésicos são os principais pontos críticos que contribuem para o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) [7].

Diante deste cenário, torna-se imperativo analisar as três modalidades cirúrgicas sob uma perspectiva que integre a **eficácia clínica** e a **sustentabilidade ambiental**. O objetivo desta revisão narrativa é sintetizar a evidência científica atual, comparando a cirurgia aberta, laparoscópica e robótica, com foco nos indicadores clínicos e de sustentabilidade, para avaliar se a cirurgia minimamente invasiva pode ser considerada uma **estratégia sustentável** dentro da prática hospitalar moderna.

2 METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma Revisão Narrativa da Literatura, um método que permite a síntese de múltiplos estudos de diferentes desenhos metodológicos, proporcionando uma compreensão abrangente do tema em questão. As etapas seguidas foram: (1) Definição da questão norteadora; (2) Busca ou amostragem na literatura; (3) Coleta de dados; (4) Análise crítica dos estudos incluídos; (5) Discussão dos resultados; e (6) Apresentação da revisão integrativa.

2.1 QUESTÃO NORTEADORA

A questão norteadora que guiou esta revisão foi: “Quais são os impactos clínicos e ambientais (sustentabilidade) da cirurgia aberta, laparoscópica e robótica, e como se comparam entre si em termos de uso de insumos, tempo de internação, taxa de complicações, geração de resíduos e influência de carbono?”

2.2 BASES DE DADOS E ESTRATÉGIA DE BUSCA

A busca foi realizada nas principais bases de dados biomédicas e científicas: **MEDLINE/PubMed, Embase, Web of Science e Cochrane Library**. A estratégia de busca incluiu a combinação de descritores controlados (MeSH e DeCS) e palavras-chave livres, abrangendo os conceitos de cirurgia, modalidades e sustentabilidade. Os principais descritores utilizados foram: “*Robotic Surgical Procedures*”, “*Laparoscopy*”, ‘*Laparotomy*’, “*Carbon Footprint*”, “*Environmental Sustainability*”, “*Surgical waste*” e “*Treatment Outcome*”.

2.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram incluídos estudos publicados entre 2015 e 2025 que comparassem pelo menos duas das três modalidades cirúrgicas (aberta, laparoscópica e/ou robótica) e que apresentassem dados sobre desfechos clínicos (tempo operatório, tempo de internação, complicações, conversão) e/ou indicadores de sustentabilidade (influência de carbono, resíduos, uso de insumos). Foram priorizadas revisões sistemáticas, meta-análises e ensaios clínicos randomizados.

Foram excluídos estudos que não apresentavam dados comparativos diretos, artigos de opinião, cartas ao editor, e estudos que não abordavam o tema central da comparação entre as modalidades cirúrgicas e seus impactos.

2.4 SELEÇÃO E ANÁLISE DOS ESTUDOS

A seleção final dos estudos foi realizada a partir de uma lista pré-determinada de 11 artigos que atendiam aos critérios de inclusão e que serviram como base exclusiva para esta revisão [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11].

A coleta de dados foi realizada por meio da extração de informações-chave de cada estudo, organizadas em uma matriz de síntese. Os dados extraídos incluíram: autores, ano de publicação, tipo de estudo, foco cirúrgico (procedimento), desfechos clínicos e desfechos de sustentabilidade (quantificação de CO₂e e resíduos). A análise dos dados foi realizada de forma descritiva e

comparativa, sintetizando os achados quantitativos e qualitativos para cada modalidade cirúrgica em relação aos indicadores propostos.

3 RESULTADOS

A análise dos 11 estudos selecionados permitiu a consolidação de dados comparativos entre as três modalidades cirúrgicas, com ênfase nos desfechos clínicos e ambientais. Os resultados foram agrupados para facilitar a comparação direta.

3.1 DESFECHOS CLÍNICOS: CIRURGIA ROBÓTICA VS. LAPAROSCÓPICA

A maior parte da literatura comparativa se concentra nas modalidades minimamente invasivas (CR vs. CL). A cirurgia laparoscópica (CL) demonstrou ser consistentemente mais rápida que a cirurgia robótica (CR). Meta-análises em cirurgia colorretal e gastrectomia indicaram que a CR está associada a um tempo operatório significativamente maior, com diferenças médias variando entre 23 a 41 minutos [9] [11] [6].

Em termos de segurança, a CR se mostrou não inferior à CL em complicações pós-operatórias gerais e mortalidade [5] [4]. Em procedimentos específicos, como a ressecção retal para câncer, a CR demonstrou superioridade com menor taxa de conversão para cirurgia aberta, menor taxa de reoperação e menor incidência de margem circunferencial positiva (CRM) [11].

A CR foi associada a uma recuperação pós-operatória mais rápida em alguns indicadores, como menor tempo para primeiro flato e micção autônoma [11]. Em pacientes obesos submetidos à cirurgia colorretal, a CR resultou em menor tempo de internação (WMD = -0.68 dias) e menor perda sanguínea [3].

3.2 DESFECHOS DE SUSTENTABILIDADE: INFLUÊNCIA DE CARBONO E RESÍDUOS

A comparação dos impactos ambientais revelou um padrão claro, com a cirurgia aberta (CA) sendo a mais “verde” em termos de insumos e resíduos. A cirurgia robótica (CR) e a laparoscópica (CL) apresentam uma influência de carbono significativamente maior do que a cirurgia aberta (CA). Um estudo comparativo de 2015 [10] quantificou a influência de carbono da CR em 40.3 kg CO₂e/paciente, da CL em 29.2 kg CO₂e/paciente e da CA em 22.7 kg CO₂e/paciente. A CR foi 77% maior que a CA e 38% maior que a CL [10].

Uma revisão sistemática de 2022 [7] confirmou que a CR resulta em 43.5% mais emissões de GEE (gases de efeito estufa) e 24% mais produção de resíduos do que a CL. O principal fator que contribui para a alta influência de carbono das técnicas MIS é o uso intensivo de materiais

descartáveis [7] [8]. O estudo piloto COLOPRINT [8] em cirurgia colorretal minimamente invasiva demonstrou que o resíduo sólido cirúrgico (SSW) total gerado foi significativamente maior no grupo robótico (57.9%) em comparação com o laparoscópico (42.1%), com a CR associada a maior SSW e emissões de CO₂ [8]. Os pontos críticos da pegada de carbono nas cirurgias MIS incluem a produção de descartáveis e o uso de anestésicos (como o desflurano) [7].

3.3 SÍNTSE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS CIRÚRGICAS

A Tabela 1 resume a comparação entre as três modalidades cirúrgicas com base nos indicadores clínicos e de sustentabilidade analisados.

Tabela 1: Comparação de indicadores clínicos e de sustentabilidade entre as modalidades cirúrgicas analisadas no estudo.

Indicador	Cirurgia Aberta (CA)	Cirurgia Laparoscópica (CL)	Cirurgia Robótica (CR)
Tempo Operatório	Padrão	Mais curto (vs CR)	Mais longo (vs. CL) [3] [4] [5] [9]
Tempo de internação	Mais Longo	Mais Curto (vs. CA)	Mais curto (vs. CL, em obesos) [6] [9]
Taxa de complicações	Padrão	Padrão (vs. CR)	Não inferior (vs. CL); Menor conversão (vs. CL) [2] [5] [9]
Influência de carbono (CO ₂ e)	Mais Baixa (22.7) [7]	Média (29.2) [7]	Mais Alta (40.3) [7]
Geração de Resíduos	Mais Baixa	Média	Mais Alta (24% mais que CL) [8] [10]
Custos	Mais Baixo	Mais Baixo (vs. CR)	Mais Alto [2] [9]

Fonte: Autores, 2025.

4 DISCUSSÃO

A transição da cirurgia aberta para as técnicas minimamente invasivas foi motivada por claros benefícios clínicos para o paciente. Os resultados desta revisão confirmam a **não inferioridade** da CR em relação à CL em desfechos de segurança [5] [4], e até mesmo a **superioridade** em cenários complexos, como a cirurgia oncológica colorretal e em pacientes obesos, onde a CR reduz a taxa de conversão e o tempo de internação [11] [3]. A redução do tempo de internação, em particular, é um fator que, indiretamente, pode mitigar o impacto ambiental geral do tratamento, ao liberar recursos hospitalares mais rapidamente [1].

No entanto, a análise sob a ótica da **sustentabilidade** revela um paradoxo. A mesma tecnologia que otimiza o resultado clínico do paciente impõe um custo ambiental significativo. A principal razão para a maior influência de carbono da CR e CL é a dependência de **instrumentos de**

uso único e o alto consumo de energia [10] [7]. A CR, em particular, tem a maior influência de carbono devido à complexidade do sistema e ao maior volume de descartáveis específicos [10] [8].

A discussão sobre a sustentabilidade na cirurgia deve, portanto, ir além da comparação direta entre as técnicas e focar em **estratégias de mitigação**. A literatura aponta caminhos claros:

1. **Reutilização e Reembalagem:** A reembalagem de instrumentos descartáveis e a utilização de equipamentos reutilizáveis são estratégias eficazes para reduzir a pegada material e de carbono [8].
2. **Gestão de Resíduos:** A implementação de protocolos de gestão de resíduos mais eficientes, incluindo a segregação e reciclagem, pode levar a uma redução significativa nas emissões de CO₂e [10].
3. **Conscientização e Prática Clínica:** A educação da equipe cirúrgica sobre o impacto ambiental do uso de insumos e a escolha de anestésicos menos poluentes (evitando o desflurano) são medidas de baixo custo e alto impacto [7].

A cirurgia minimamente invasiva só pode ser considerada uma **estratégia sustentável** se os benefícios clínicos forem equilibrados por uma gestão ambiental responsável. O benefício clínico de um tempo de internação mais curto (redução de custos e recursos hospitalares) deve ser suficiente para compensar o custo ambiental da sala de cirurgia.

5 CONCLUSÃO

A cirurgia robótica e laparoscópica representam o avanço tecnológico na prática cirúrgica, oferecendo resultados clínicos superiores ou não inferiores à cirurgia aberta, especialmente em termos de recuperação pós-operatória e segurança em procedimentos complexos. Contudo, essas modalidades impõem um desafio ambiental significativo, com uma influência de carbono e geração de resíduos substancialmente maiores.

Para que a cirurgia minimamente invasiva se alinhe com os princípios de sustentabilidade, é fundamental que a comunidade cirúrgica adote ativamente medidas de redução de resíduos, priorize a reutilização de materiais e otimize o uso de recursos energéticos. A sustentabilidade na cirurgia não é apenas uma questão ambiental, mas uma responsabilidade ética e administrativa que deve ser integrada à tomada de decisão clínica.

Conflitos de interesse. Nenhum conflito de interesse declarado pelos autores.

Declaração. As opiniões expressas neste manuscrito são de responsabilidade do(s) autor(es) e não refletem necessariamente os critérios nem a política da RPSP/PAJPH e/ou da OPAS.

REFERÊNCIAS

1. CUNHA, M. F.; NEVES, J. C.; ROSEIRA, J.; PELLINO, G.; CASTELO-BRANCO, P. Green surgery: a systematic review of the environmental impact of laparotomy, laparoscopy, and robotics. *Updates in Surgery*, [s.l.], v. 77, n. 5, p. 1683–1692, 2025.
2. CUNHA, M. F.; PELLINO, G. Environmental effects of surgical procedures and strategies for sustainable surgery. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 399–410, 2023.
3. CHEN, Z. L.; DU, Q. L.; ZHU, Y. B.; WANG, H. F. A systematic review and meta-analysis of short-term outcomes comparing the efficacy of robotic versus laparoscopic colorectal surgery in obese patients. *Journal of Robotic Surgery*, [s.l.], v. 18, n. 1, p. 1–10, 2024.
4. KAWKA, M.; FONG, Y.; GALL, T. 244 Major laparoscopic versus robotic surgery – a systematic review of randomised controlled trials. *British Journal of Surgery*, [s.l.], v. 110, suppl. 7, znad258.552, 2023.
5. LAI, T. J.; ROXBURGH, C.; BOYD, K. A.; BOUTTELL, J. Clinical effectiveness of robotic versus laparoscopic and open surgery: an overview of systematic reviews. *BMJ Open*, [s.l.], v. 14, n. 9, e076750, 2024.
6. LI, Z.; ZHOU, W.; YANG, W.; MIAO, Y.; ZHANG, Y.; DUAN, L. et al. Efficacy and safety of robotic vs. laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery*, [s.l.], v. 110, n. 12, p. 8045–8056, 2024.
7. PAPADOPOULOU, A.; KUMAR, N. S.; VANHOESTENBERGHE, A.; FRANCIS, N. K. Environmental sustainability in robotic and laparoscopic surgery: systematic review. *British Journal of Surgery*, [s.l.], v. 109, n. 10, p. 921–932, 2022.
8. PLANELLAS, P.; CORNEJO, L.; DINGELYTE, J.; SAMBRANO, D.; FERNÁNDEZ, F. A.; LUQUIN, J. et al. A comparative analysis of the carbon footprint in minimally invasive colorectal surgery: laparoscopic versus robotic – the Coloprint pilot study. *Journal of Robotic Surgery*, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 487, 2025.
9. THRIKANDIYUR, A.; KOUROUNIS, G.; TINGLE, S.; THAMBI, P. Robotic versus laparoscopic surgery for colorectal disease: a systematic review, meta-analysis and meta-regression of randomised controlled trials. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, [s.l.], v. 106, n. 8, p. 658–671, 2024.
10. WOODS, D. L.; MCANDREW, T.; NEVADUNSKY, N.; HOU, J. Y.; GOLDBERG, G.; KUO, D. Y. et al. Carbon footprint of robotically-assisted laparoscopy, laparoscopy and laparotomy: a comparison. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 406–412, 2015.
11. ZOU, J.; ZHU, H.; TANG, Y.; HUANG, Y.; CHI, P.; WANG, X. Robotic versus laparoscopic surgery for rectal cancer: an updated systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Surgery*, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 86, 2025.