



## Gestão Tecnológica em Saúde: A Evolução e Consolidação da Engenharia Clínica

### *Technological Management in Healthcare: The Evolution and Consolidation of Clinical Engineering*

Ernande Ferreira Brito

Adriel Carvalho da Rocha

Alex Gomes Pereira

**Resumo:** A crescente incorporação de tecnologias no setor da saúde tem exigido estruturas organizacionais capazes de garantir segurança, eficiência, qualidade assistencial e sustentabilidade institucional. Nesse contexto, a Engenharia Clínica consolidou-se como área estratégica voltada à gestão sistematizada de equipamentos e tecnologias médico-hospitalares. O presente estudo tem por objetivo analisar a evolução histórica da Engenharia Clínica, discutir seus fundamentos conceituais e evidenciar seus principais avanços e desafios no ambiente hospitalar contemporâneo. Trata-se de uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, desenvolvida a partir de busca estruturada em bases de dados científicas nacionais e internacionais. A investigação contemplou publicações em língua portuguesa e inglesa, selecionadas conforme critérios de relevância temática, rigor metodológico e aderência ao objeto de estudo. Os resultados demonstram que a atuação do engenheiro clínico ultrapassa a manutenção de equipamentos, abrangendo planejamento estratégico, avaliação de tecnologias em saúde, conformidade normativa, gestão de riscos, análise de ciclo de vida e integração multiprofissional. Conclui-se que a Engenharia Clínica desempenha papel fundamental na promoção da segurança do paciente, na racionalização de recursos e no fortalecimento da governança hospitalar, configurando-se como elemento indispensável à gestão tecnológica em saúde.

**Palavras-chave:** engenharia clínica; ambiente hospitalar; área médica.

**Abstract:** The increasing incorporation of technologies in the healthcare sector has required organizational structures capable of ensuring safety, efficiency, quality of care, and institutional sustainability. In this context, Clinical Engineering has become established as a strategic field dedicated to the systematic management of medical and hospital equipment and technologies. This study aims to analyze the historical evolution of Clinical Engineering, discuss its conceptual foundations, and highlight its main advances and challenges in the contemporary hospital environment. This is a bibliographic review with a qualitative approach, developed through a structured search in national and international scientific databases. The investigation included publications in Portuguese and English, selected according to criteria of thematic relevance, methodological rigor, and adherence to the object of study. The results demonstrate that the role of the clinical engineer goes beyond equipment maintenance, encompassing strategic planning, health technology assessment, regulatory compliance, risk management, life cycle analysis, and multiprofessional integration. It is concluded that Clinical Engineering plays a fundamental role in promoting patient safety, optimizing resources, and strengthening hospital governance, establishing itself as an indispensable element in technological management in healthcare.

**Keywords:** clinical engineering; hospital environment; medical field.

## INTRODUÇÃO

A transformação tecnológica observada nas últimas décadas impactou profundamente os sistemas de saúde em escala global. A incorporação de equipamentos de alta complexidade, sistemas informatizados, dispositivos biomédicos avançados e soluções digitais integradas redefiniu os padrões assistenciais, ampliando a precisão diagnóstica, a efetividade terapêutica e a capacidade de monitoramento clínico. Entretanto, o aumento da complexidade tecnológica também elevou os riscos associados ao uso inadequado, à obsolescência precoce e à ausência de gerenciamento estruturado.

Nesse cenário, a Engenharia Clínica emerge como campo estratégico responsável por integrar conhecimentos de engenharia, gestão e assistência à saúde. A evolução tecnológica hospitalar passou a exigir profissionais capacitados para atuar não apenas na manutenção corretiva de equipamentos, mas sobretudo na avaliação de desempenho, no planejamento de aquisições, na análise de custo-efetividade, na gestão de riscos tecnológicos e na garantia de conformidade com normas regulatórias.

A ausência de gerenciamento sistemático pode resultar em desperdício de recursos, interrupções assistenciais, aumento de custos operacionais e, em situações mais graves, riscos diretos à segurança do paciente. Dessa forma, compreender o percurso histórico, os fundamentos conceituais e os desdobramentos contemporâneos da Engenharia Clínica torna-se essencial para analisar sua contribuição à eficiência organizacional, à qualidade assistencial e à sustentabilidade financeira das instituições.

Assim, este estudo tem como objetivo examinar a evolução da Engenharia Clínica e discutir seus avanços no contexto hospitalar, evidenciando sua relevância na gestão tecnológica em saúde e sua inserção estratégica na governança institucional.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de caráter integrativo, de natureza básica, com abordagem qualitativa e finalidade exploratório-descritiva. A opção pela revisão integrativa justifica-se pela possibilidade de reunir e analisar criticamente produções científicas com diferentes delineamentos metodológicos, permitindo uma compreensão abrangente da evolução e consolidação da Engenharia Clínica no contexto da gestão tecnológica em saúde. A pesquisa foi conduzida entre janeiro e março de 2024.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados Google Scholar e SciELO, selecionadas por sua relevância na divulgação de produções científicas nas áreas de saúde e engenharia biomédica. Foram utilizados os descritores “engenharia clínica”, “*clinical engineering*”, “gestão tecnológica em saúde” e “hospital technology management”, combinados por meio dos operadores booleanos AND e

OR, de modo a ampliar a sensibilidade e a especificidade da estratégia de busca, garantindo maior abrangência na identificação dos estudos pertinentes.

Como critérios de inclusão adotaram-se: (a) artigos completos disponíveis na íntegra; (b) publicações em língua portuguesa ou inglesa; (c) estudos que abordassem diretamente a evolução histórica, fundamentos conceituais, gestão, impactos econômicos ou implicações assistenciais da Engenharia Clínica; e (d) trabalhos publicados entre 1989 e 2023. A delimitação temporal foi estabelecida com o objetivo de contemplar produções que representassem marcos relevantes no desenvolvimento da área, sem prejuízo da atualização conceitual. Foram excluídos estudos duplicados, resumos simples ou expandidos sem texto integral, publicações sem revisão por pares e produções que não apresentavam relação direta com a temática central.

A busca inicial resultou na identificação de 30 publicações. Após leitura exploratória dos títulos e resumos, procedeu-se à leitura integral dos textos potencialmente elegíveis, aplicando-se os critérios previamente definidos. Ao final do processo de triagem e análise de conteúdo, 18 artigos foram selecionados para compor esta revisão.

A análise dos estudos foi realizada de forma interpretativa e comparativa, buscando identificar convergências teóricas, marcos históricos, lacunas de pesquisa e tendências contemporâneas da área. As informações extraídas foram organizadas em eixos temáticos previamente definidos, fundamentos conceituais, desenvolvimento histórico, ciclo de vida das tecnologias, impactos assistenciais e desafios futuros, o que permitiu sistematizar a discussão e assegurar coerência entre os objetivos propostos e os resultados apresentados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fundamentos Conceituais da Engenharia Clínica

A consolidação da Engenharia Clínica está diretamente associada à necessidade de gerenciamento sistemático e tecnicamente estruturado dos equipamentos médico-hospitalares. O crescimento exponencial da complexidade tecnológica nas instituições de saúde evidenciou que a simples aquisição de dispositivos avançados não garantia eficiência assistencial, sendo indispensável a criação de mecanismos formais de controle, avaliação de desempenho e manutenção programada.

Conceitualmente, a Engenharia Clínica pode ser compreendida como a área da engenharia aplicada ao ambiente hospitalar que integra princípios técnicos, gerenciais, econômicos e normativos com o propósito de assegurar o desempenho seguro, eficaz e sustentável das tecnologias em saúde. Diferentemente de uma atuação restrita à manutenção corretiva, sua abrangência envolve planejamento estratégico, análise de viabilidade técnica e econômica, elaboração de especificações, gestão de contratos, monitoramento de indicadores e participação em processos de acreditação hospitalar.

As atribuições do engenheiro clínico incluem manutenção preventiva e preditiva, análise de segurança elétrica e funcional, treinamento de equipes assistenciais, gestão documental, avaliação de obsolescência tecnológica e participação em comissões internas. Tais atividades demonstram que sua atuação transcende o aspecto operacional, alcançando dimensões estratégicas relacionadas à governança institucional.

Entretanto, a consolidação plena da área ainda enfrenta desafios em determinados contextos, especialmente onde a gestão hospitalar permanece fragmentada ou excessivamente reativa. A valorização do planejamento e da análise baseada em indicadores constitui elemento central para o fortalecimento da identidade profissional da Engenharia Clínica.

## Desenvolvimento Histórico da Engenharia Clínica

A origem da Engenharia Clínica está vinculada ao cenário norte-americano das décadas de 1960 e 1970, período marcado pela expansão dos equipamentos eletromédicos e pela crescente preocupação com segurança elétrica e falhas operacionais. A introdução de tecnologias mais sofisticadas trouxe benefícios diagnósticos e terapêuticos, mas também evidenciou vulnerabilidades relacionadas à ausência de profissionais especializados na gestão desses recursos.

A institucionalização de departamentos específicos de Engenharia Clínica em hospitais representou marco relevante na organização da gestão tecnológica. A formalização da profissão contribuiu para consolidar sua identidade, ampliar o reconhecimento institucional e delimitar competências técnicas e gerenciais.

A partir da década de 1980, observa-se amadurecimento conceitual da área, com maior ênfase na gestão de riscos, no controle de qualidade, na avaliação de tecnologias em saúde e na integração entre setores assistenciais e administrativos. Esse movimento consolidou a Engenharia Clínica como componente estruturante da administração hospitalar moderna.

## Engenharia Clínica no Brasil

No Brasil, o desenvolvimento da Engenharia Clínica ocorreu de maneira gradual, associado à necessidade de estruturar políticas públicas voltadas ao gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares. A ausência histórica de controle sistemático resultava frequentemente em subutilização de equipamentos, desperdício de recursos públicos e elevação de custos com manutenção corretiva.

Entre as décadas de 1980 e 1990, intensificaram-se iniciativas acadêmicas, cooperações técnicas internacionais e produção científica na área. A ampliação de cursos de pós-graduação em engenharia biomédica e a publicação de normativas sanitárias fortaleceram a base institucional da Engenharia Clínica no país.

A regulamentação sanitária contribuiu de forma decisiva para consolidar a obrigatoriedade do gerenciamento de tecnologias em saúde, estabelecendo critérios mínimos relacionados à rastreabilidade, manutenção, controle de qualidade

e capacitação profissional. Esse avanço normativo ampliou a responsabilidade técnica das instituições e reforçou a relevância estratégica do engenheiro clínico.

Apesar dos progressos, persistem desafios relacionados à desigualdade regional na oferta de serviços especializados, à limitação de recursos em hospitais de pequeno porte e à necessidade de integração mais efetiva entre gestão tecnológica e planejamento institucional.

## Ciclo de vida das tecnologias em saúde

A gestão tecnológica hospitalar exige abordagem sistêmica e contínua, estruturada a partir do acompanhamento integral do ciclo de vida das tecnologias em saúde. Esse ciclo compreende planejamento, especificação técnica, aquisição, instalação, validação operacional, capacitação de usuários, manutenção, monitoramento de desempenho, reavaliação periódica e descarte ambientalmente adequado.

A análise de custo do ciclo de vida constitui instrumento decisivo para decisões mais sustentáveis, pois considera não apenas o valor de aquisição, mas também despesas com instalação, treinamento, manutenção, insumos, atualização tecnológica e substituição futura. Essa perspectiva amplia a racionalidade econômica da gestão hospitalar.

Programas estruturados de manutenção preventiva e preditiva reduzem falhas inesperadas, aumentam a confiabilidade operacional e contribuem para maior previsibilidade orçamentária. Indicadores como tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio de reparo (MTTR) subsidiam decisões gerenciais e orientam políticas de substituição tecnológica.

A inexistência de gestão sistematizada pode gerar impactos financeiros expressivos, interrupções assistenciais e riscos à segurança do paciente, comprometendo a credibilidade institucional.

## Impactos na segurança do paciente e na sustentabilidade hospitalar

A segurança do paciente constitui princípio fundamental na prestação de serviços de saúde e está diretamente vinculada à confiabilidade das tecnologias empregadas. Equipamentos médico-hospitalares são utilizados em procedimentos diagnósticos, terapêuticos e de suporte à vida, o que exige elevado padrão de desempenho e controle rigoroso de riscos.

Antunes *et al.* (2002) ressaltam que falhas tecnológicas podem comprometer diagnósticos, atrasar intervenções e produzir eventos adversos. Nesse sentido, a Engenharia Clínica atua de forma preventiva, identificando potenciais vulnerabilidades e implementando protocolos de controle que minimizam a probabilidade de incidentes.

A rastreabilidade dos equipamentos, o registro de manutenções e a realização periódica de testes de segurança elétrica são medidas que contribuem para redução de riscos assistenciais. Além disso, a análise sistemática de incidentes tecnológicos permite aprimorar procedimentos internos e fortalecer a cultura de segurança.

Do ponto de vista econômico, a gestão eficiente do parque tecnológico hospitalar impacta diretamente a sustentabilidade financeira das instituições. Souza, Milagre e Soares (2012) demonstram que a implantação estruturada de serviços de Engenharia Clínica em hospitais públicos brasileiros resultou em redução de custos operacionais, maior controle de contratos de manutenção e melhor alocação de recursos.

A atuação da EC também favorece a tomada de decisões baseadas em evidências, especialmente no que se refere à substituição de tecnologias obsoletas e à priorização de investimentos estratégicos. A análise de custo-benefício e de custo-efetividade permite avaliar não apenas o valor de aquisição, mas o impacto clínico e econômico ao longo do tempo.

Outro aspecto relevante refere-se à sustentabilidade institucional em sentido ampliado. A gestão adequada reduz desperdícios, otimiza consumo de energia, prolonga a vida útil de equipamentos e promove descarte ambientalmente responsável. Assim, a Engenharia Clínica contribui não apenas para a segurança assistencial, mas também para a responsabilidade social e ambiental das organizações de saúde.

## Desafios contemporâneos e perspectivas futuras

O cenário contemporâneo da saúde é marcado pela digitalização crescente dos processos assistenciais e administrativos. Sistemas de prontuário eletrônico, dispositivos conectados em rede, monitoramento remoto e integração de dados clínicos ampliam o grau de complexidade tecnológica dos hospitais.

A incorporação da telemedicina, intensificada nos últimos anos, exige infraestrutura tecnológica robusta e protocolos específicos de segurança da informação. Nesse contexto, a Engenharia Clínica passa a interagir de forma mais estreita com áreas de tecnologia da informação, ampliando seu escopo de atuação para além dos equipamentos físicos tradicionais.

A introdução de tecnologias baseadas em inteligência artificial, análise de big data e automação hospitalar representa novo desafio para os engenheiros clínicos. A avaliação dessas ferramentas requer conhecimento interdisciplinar, incluindo aspectos éticos, regulatórios e de proteção de dados. A gestão de riscos passa a abranger não apenas falhas mecânicas ou elétricas, mas também vulnerabilidades digitais.

Terra *et al.* (2014) destacam que a consolidação da profissão depende do fortalecimento da formação acadêmica e do reconhecimento institucional de sua importância estratégica. A atualização constante torna-se requisito indispensável, considerando a velocidade das inovações tecnológicas.

Entre os principais desafios futuros destacam-se:

- Integração plena entre engenharia clínica e governança hospitalar;
- Incorporação de modelos de avaliação de tecnologias em saúde;
- Adaptação às exigências regulatórias cada vez mais rigorosas; e

- Desenvolvimento de indicadores de desempenho alinhados à qualidade assistencial.

O futuro da Engenharia Clínica está diretamente relacionado à sua capacidade de adaptação frente às transformações tecnológicas e regulatórias, bem como à consolidação de sua atuação como área estratégica dentro das organizações de saúde. A tendência aponta para um perfil profissional cada vez mais voltado à gestão de inovação, análise de dados e planejamento sustentável de tecnologias.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da literatura evidencia que a Engenharia Clínica consolidou-se como área estratégica para o funcionamento seguro e eficiente dos serviços de saúde. Desde sua origem nos Estados Unidos até sua estruturação normativa no Brasil, observa-se um movimento contínuo de fortalecimento institucional e ampliação de responsabilidades.

O engenheiro clínico atua como mediador entre tecnologia e assistência, promovendo integração entre equipes, racionalização de recursos e garantia de conformidade técnica. Sua participação contribui diretamente para a segurança do paciente, para a redução de falhas operacionais e para a melhoria da qualidade dos serviços hospitalares.

Portanto, mais do que um setor técnico, a Engenharia Clínica configura-se como eixo estruturante da sustentabilidade hospitalar contemporânea, cuja consolidação definitiva depende do fortalecimento da formação especializada, da integração com a governança institucional e do reconhecimento de sua relevância estratégica pelas instâncias decisórias.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada nº 02 de 25 de janeiro de 2010.** Dispõe sobre o gerenciamento de tecnologias em saúde em estabelecimentos de saúde. Brasília, 2010.

ANTUNES, E. V. M.; MORDELET, P.; GRABOIS, V. **Gestão da tecnologia biomédica: tecnovigilância e engenharia clínica.** ANVISA, 2002.

BAULD, T. J. **The definition of a clinical engineer.** J Clin Eng, v. 16, n. 5, p. 403-405, 1991.

BRITO, L. F. M. **Clinical Engineering in Brazil.** In: DYRO, J. (Ed.) Clinical Engineering Handbook. 1 ed. Burlington: Elsevier Academic Press, p. 69-72, 2004.

BRONZINO, J. D. **Clinical Engineering: Evolution of a Discipline.** In: BRONZINO, J. D. *et al.* (Ed.) **Clinical Engineering.** Boca Raton: CRC Press, p. 4-12, 2003.

BRONZINO, J. D.; PETERSON, D. R. **The Biomedical Engineering Handbook – Medical Devices and Human Engineering**. 4th. Edition. Boca Raton, Florida: Taylor e Francis Group, LLC – CRC Press, 2004.

CALIL, S. J.; TEIXEIRA, M. S. **Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos Hospitalares**. São Paulo: Editora Fundação Peirópolis LTDA, 1998. 127 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOODMAN, G. R. **The profession of clinical engineering**. J Clin Eng, v. 14, p. 27-37, 1989.

GORDON, J. G. Hospital Technology management: the tao of clinical engineering. **Journal of Clinical Engineering**, v. 15, n. 2, p.111-117, 1990.

NEWHOUSE, V. L.; SINO, D. S.; TACKEL, I. S.; BEN-ZVI, S.; BERNSTEIN, M. S.; FREEDMAN, W.; ASTON, R. Artigo em destaque: O futuro da engenharia clínica na década de 1990. **Journal Clinical Engineering**, v. 1, n. 14, p. 417-430, 1989.

RAMIREZ, E. F. F.; CALIL, S. J. **Engenharia Clínica: Parte I – Origens** (1942 - 1996). Semina: Ci. Exatas/Tecnol. Londrina, v. 21, n. 4, p. 27-33, 2000.

RONZINO, J. D. **Clinical Engineering: Evolution of a Discipline**. Burlington: Elsevier Academic Press, 2017. Disponível em: < [https://www.inf.ufpr.br/Imperes/2017\\_2/ci167/no\\_exam/The\\_Clinical\\_Engineering\\_Handbook\\_Joseph\\_Dyro.pdf](https://www.inf.ufpr.br/Imperes/2017_2/ci167/no_exam/The_Clinical_Engineering_Handbook_Joseph_Dyro.pdf) >. Acesso em: 29 de março, 2024.

SOUZA, D. B.; MILAGRE, S. T.; SOARES, A. B. Avaliação Econômica da Implantação de um Serviço de Engenharia Clínica em Hospital Público Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**. v. 28, p. 327-336, 2012.

TERRA, T. G.; GUARIENTI, A.; SIMÃO, E. M.; JÚNIOR, L. F. R. Uma revisão dos avanços da Engenharia Clínica no Brasil. **Revista Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 15, , p. 47-61, 2014.