



DESENVOLVIMENTO DE UMA MATRIZ DE CRITICIDADE PARA OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO- HOSPITALARES EM INSTITUIÇÕES DE SAÚDE

DEVELOPMENT OF A CRITICALITY MATRIX FOR OPTIMIZING THE MANAGEMENT OF MEDICAL-HOSPITAL EQUIPMENT IN HEALTHCARE INSTITUTIONS

DOI: 10.5281/zenodo.22177572



Marcos Vinícius Rodrigues Costa¹

José Jackson da Silva Santos²

Edvonaldo Horácio dos Santos³

Paulo César do Nascimento Cunha⁴

Elenilda Josefa de Oliveira⁵

José Arnóbio de Araújo Júnior⁶

Luiz Gabriel dos Santos Gomes⁷

Paulyanne Karlla Araújo Magalhães⁸

1 Graduando em Sistemas Biomédicos, IFAL, Brasil. E-mail: mvrc2@aluno.ifal.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5109-4359>

2 Graduando em Sistemas Biomédicos, IFAL, Brasil. E-mail: jjss13@aluno.ifal.edu.br.

3 Mestre em Informática, Instituto de Computação, UFAL, Brasil. E-mail: edvonaldo.santos@ifal.edu.br.

4 Mestre em Modelagem Computacional do Conhecimento, Instituto de Computação, UFAL, Brasil. E-mail: paulo.cunha@ifal.edu.br

5 Doutora em Física da Matéria Condensada, Instituto de Física, UFAL, Brasil. E-mail: elenilda.oliveira@ifal.edu.br.

6 Mestre em Engenharia Industrial, UFBA, Brasil. E-mail: jose.arnobio@ifal.edu.br.

7 Mestre em Matemática, Instituto de Matemática, UFAL, Brasil. E-mail: luiz.gabriel@ifal.edu.br.

8 Mestra em Análise de Sistemas Ambientais, Centro Universitário de Maceio, CESMAC, Brasil. E-mail: paulyanne.magalhaes@ifal.edu.br.

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 8 (2026) - ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)





RESUMO

Na Engenharia Clínica existe uma crescente complexidade dos equipamentos médico-hospitalares, exigindo metodologias que apoiem a gestão da manutenção e a priorização de ativos tecnológicos de forma objetiva e padronizada. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma matriz de criticidade integrada a uma aplicação computacional para classificar equipamentos médico-hospitalares quanto ao seu grau de criticidade. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem mista e natureza exploratório-descritiva. Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura para identificar os principais critérios utilizados na avaliação da criticidade de equipamentos biomédicos. Com base nesse levantamento, foram selecionados parâmetros relacionados à função clínica, ao risco físico, à importância operacional e à classificação ABC, empregados no desenvolvimento de uma equação matemática estruturada em uma matriz bidimensional de probabilidade e consequência. A partir desses parâmetros, foi proposta uma matriz de criticidade capaz de padronizar a classificação dos equipamentos e reduzir a subjetividade das avaliações. Além disso, foi desenvolvida uma aplicação computacional multiplataforma, utilizando Qt 6, C++, QML e SQLite, para automatizar o cálculo da criticidade e apresentar graficamente os resultados na matriz desenvolvida. Os resultados demonstram que a integração entre o modelo matemático e a ferramenta computacional apoia a tomada de decisão na manutenção hospitalar, favorecendo a priorização dos equipamentos críticos, a otimização dos recursos e a segurança do paciente. Embora a validação em ambiente hospitalar constitua uma etapa futura, a solução proposta apresenta potencial de aplicação na gestão de tecnologias em saúde.

Palavras-chave: Engenharia Clínica; Gestão de Tecnologias em Saúde; Matriz de Criticidade; Equipamentos Médico-Hospitalares; Gestão da Manutenção.

ABSTRACT

In Clinical Engineering, the increasing complexity of medical-hospital equipment necessitates methodologies that support maintenance management and the prioritization of technological assets in an objective and standardized manner. In this context, this study aimed to develop a criticality matrix integrated into a software application to classify medical-hospital equipment based on its degree of criticality. The research is characterized as applied, employing a mixed-methods approach and an exploratory-descriptive nature. Initially, a literature review was conducted to identify the key criteria used to assess the criticality of biomedical equipment. Based on this review, parameters related to clinical function, physical risk, operational importance, and ABC classification were selected; these were used to develop a mathematical equation structured within a two-dimensional probability-consequence matrix. Using these parameters, a criticality matrix was proposed to standardize equipment classification and reduce subjectivity in assessments. Furthermore, a cross-platform software application was developed—using Qt 6, C++, QML, and SQLite—to automate criticality calculations and graphically display the results within the developed matrix. The results demonstrate that integrating the mathematical model with the software tool supports decision-making in hospital maintenance, facilitating the prioritization of critical equipment, resource optimization, and patient





safety. Although validation in a hospital setting remains a future step, the proposed solution shows potential for application in health technology management.

Keywords: Clinical Engineering; Health Technology Management; Criticality Matrix; Medical-Hospital Equipment; Maintenance Management.

INTRODUÇÃO

A crescente incorporação de tecnologias médicas nos serviços de saúde transformou significativamente a assistência hospitalar nas últimas décadas. Equipamentos médico-hospitalares desempenham papel essencial no diagnóstico, monitoramento, terapia e suporte à vida, tornando-se componentes indispensáveis para a qualidade da assistência prestada. Entretanto, o aumento da diversidade tecnológica e da complexidade desses dispositivos impõe desafios à Engenharia Clínica, especialmente no gerenciamento do ciclo de vida dos equipamentos, na disponibilidade operacional e na segurança do paciente. Nesse contexto, a gestão eficiente dos ativos tecnológicos passou a ser considerada um dos pilares para a sustentabilidade dos sistemas de saúde e para a melhoria contínua da qualidade assistencial (AAMI, 2020; WHO, 2021).

O gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares envolve atividades que abrangem planejamento da aquisição, instalação, calibração, manutenção preventiva, manutenção corretiva, avaliação tecnológica e descarte dos ativos. A literatura demonstra que falhas nesses processos podem resultar em interrupções dos serviços, aumento dos custos operacionais, redução da confiabilidade dos equipamentos e riscos significativos à segurança do paciente. Dessa forma, instituições hospitalares têm buscado implementar metodologias capazes de priorizar recursos e direcionar ações de manutenção de forma sistemática, considerando critérios técnicos, clínicos e econômicos (BRASIL, 2021; Dyro, 2021).

Nos últimos anos, a gestão baseada em risco tem sido amplamente incorporada às práticas da Engenharia Clínica. Normas internacionais, como a ISO 31000, recomendam que as organizações utilizem processos estruturados de identificação, análise e tratamento dos





riscos associados aos ativos tecnológicos. Paralelamente, entidades como a Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) reforçam que programas modernos de Healthcare Technology Management (HTM) devem priorizar equipamentos de acordo com sua criticidade, considerando impacto clínico, frequência de utilização, histórico de falhas, complexidade tecnológica e consequências decorrentes da indisponibilidade do equipamento (ISO, 2020; AAMI, 2024).

Diversos estudos recentes têm empregado metodologias multicritério para apoiar a classificação da criticidade de equipamentos biomédicos. Entre as técnicas mais utilizadas destacam-se a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA), Reliability-Centered Maintenance (RCM), Analytic Hierarchy Process (AHP) e modelos híbridos de apoio à decisão. Essas metodologias permitem integrar fatores relacionados ao risco clínico, confiabilidade, custos de manutenção, disponibilidade operacional e impacto assistencial, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos hospitalares (SANTOS, 2022; TAGHIPOUR et al., 2021).

Apesar da evolução dessas metodologias, a literatura evidencia que muitos hospitais ainda realizam o planejamento da manutenção utilizando critérios subjetivos ou baseados exclusivamente na periodicidade recomendada pelos fabricantes. Essa abordagem limita a capacidade de priorização dos equipamentos realmente críticos, reduzindo a eficiência da gestão da manutenção. Além disso, observa-se escassez de ferramentas computacionais que automatizam a aplicação dessas metodologias de criticidade de forma simples, intuitiva e adaptada à realidade das instituições de saúde brasileiras, especialmente em hospitais públicos de pequeno e médio porte (ECRI, 2024; DYRO, 2021).

Outra tendência observada nas pesquisas recentes consiste na integração entre modelos de criticidade e sistemas informatizados de gestão da manutenção (CMMS), permitindo que a tomada de decisão seja fundamentada em dados históricos, indicadores de desempenho e critérios objetivos de risco. Essa integração favorece a implementação dos princípios da Indústria 4.0 aplicados à saúde, possibilitando maior rastreabilidade dos equipamentos, otimização dos recursos financeiros e melhoria da confiabilidade operacional dos parques



tecnológicos hospitalares (KHIDER; HAMZA, 2023; ZAKARIA et al., 2023; LI; MAO; ZHANG, 2023).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma matriz de criticidade aplicada à gestão de equipamentos médico-hospitalares, implementada em uma aplicação computacional multiplataforma desenvolvida em Qt e banco de dados SQLite. A ferramenta integra critérios relacionados à função clínica do equipamento, risco físico associado, importância operacional e classificação ABC, permitindo calcular automaticamente o grau de criticidade dos equipamentos e apoiar os profissionais de Engenharia Clínica na priorização das atividades de manutenção, contribuindo para maior segurança do paciente, otimização dos recursos institucionais e melhoria da gestão tecnológica em saúde.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, por desenvolver uma ferramenta computacional destinada ao apoio da gestão da manutenção de equipamentos médico-hospitalares. Quanto à abordagem, classifica-se como mista, envolvendo procedimentos qualitativos e quantitativos. A natureza qualitativa foi empregada na identificação, seleção e adaptação dos critérios utilizados para a classificação da criticidade dos equipamentos, enquanto a abordagem quantitativa foi utilizada na definição da equação matemática, construção da matriz de criticidade e implementação computacional da ferramenta. Sob o ponto de vista dos objetivos, a pesquisa possui caráter exploratório e descritivo, buscando compreender os principais fatores que influenciam a criticidade dos equipamentos e propor um modelo de apoio à tomada de decisão.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica nas bases de dados PubMed, Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore e Google Scholar, utilizando os descritores criticality matrix, medical equipment management, clinical engineering, maintenance management, health technology management, risk assessment e FMECA, combinados por operadores





booleanos. Foram considerados artigos científicos publicados entre 2020 e 2025, além de normas técnicas, documentos institucionais e livros clássicos da área de Engenharia Clínica.

Com base na revisão da literatura, foram identificados os principais critérios empregados na avaliação da criticidade de equipamentos médico-hospitalares. Entre eles destacam-se a função clínica do equipamento, o risco físico decorrente de sua indisponibilidade, a importância operacional segundo a classificação ABC e a complexidade das atividades de manutenção. Esses critérios foram analisados, comparados e adaptados à realidade hospitalar brasileira, tomando como referência o modelo proposto por Santos (2022) e conceitos de gestão de ativos descritos por Bronzino (2014), incorporando parâmetros adicionais voltados ao gerenciamento de riscos na Engenharia Clínica.

Após a definição dos critérios, foi desenvolvida uma equação matemática capaz de representar a criticidade dos equipamentos por meio de uma matriz bidimensional composta pelos eixos Probabilidade e Consequência. O parâmetro Consequência foi definido pela soma dos fatores relacionados à função clínica do equipamento e ao risco físico associado à sua indisponibilidade. O parâmetro Probabilidade foi determinado pela combinação da classificação ABC e da função operacional do equipamento. A partir desses parâmetros foram estabelecidas faixas de classificação em baixa, média e alta criticidade, permitindo representar graficamente o posicionamento de cada equipamento na matriz desenvolvida.

A implementação computacional foi realizada utilizando o framework Qt 6, empregando a linguagem C++ para o desenvolvimento da lógica de negócio e QML (Qt Modeling Language) para construção da interface gráfica do usuário. O banco de dados SQLite foi utilizado para armazenamento das informações referentes às empresas, setores, equipamentos, parâmetros de criticidade e resultados das avaliações. O sistema foi estruturado segundo arquitetura modular, contemplando funcionalidades de cadastro (CRUD), aplicação do questionário de avaliação, processamento automático da equação desenvolvida e apresentação gráfica da matriz de criticidade.





RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da adaptação do modelo de criticidade proposto por Santos (2022), foi desenvolvida uma nova metodologia para classificação de equipamentos médico-hospitalares baseada em uma matriz de risco bidimensional. Diferentemente da abordagem original, que utilizava uma equação de natureza aditiva, a presente pesquisa propôs uma estrutura multiplicativa entre os fatores de Probabilidade e Consequência, aproximando o modelo das metodologias clássicas de análise de riscos empregadas em Engenharia Clínica e Gestão de Ativos. Essa adaptação permitiu representar graficamente o grau de criticidade dos equipamentos, facilitando sua interpretação pelos profissionais responsáveis pela gestão da manutenção. O processo de desenvolvimento passou por algumas análises, as quais resultaram no cálculo de criticidade a partir da Equação (1):

$$C = (F + RA) \times (C_{abc} + F) \text{ (Equação 1)}$$

onde F é uma função, RA é o risco físico e C_{abc} é a classificação ABC.

Os resultados obtidos evidenciam duas contribuições principais desta pesquisa. A primeira consiste no desenvolvimento de uma nova matriz de criticidade para equipamentos médico-hospitalares, construída a partir da Equação (1), que integra critérios relacionados à função clínica do equipamento, ao risco físico associado à sua indisponibilidade e à importância operacional representada pela classificação ABC. A combinação desses fatores permitiu estabelecer uma metodologia sistemática de classificação da criticidade, reduzindo a subjetividade presente em processos convencionais de priorização da manutenção. Além disso, essa equação permite mensurar a criticidade do equipamento de acordo com os níveis de necessidade da instituição e que está atrelado ao seu uso. Assim, pode-se ter o mesmo equipamento em instituições diferentes, mas com níveis de criticidade distintos, valores este captado pelos parâmetros da Equação (1).

A segunda contribuição refere-se ao desenvolvimento de uma aplicação computacional capaz de automatizar todo o processo de avaliação da criticidade. O software implementa





integralmente a Equação (1), realiza o processamento automático das informações fornecidas pelo usuário e apresenta o resultado diretamente em uma matriz de criticidade, permitindo identificar visualmente os equipamentos classificados como de baixa, média ou alta criticidade. Essa integração entre modelo matemático e ferramenta computacional representa um diferencial da pesquisa, pois transforma uma metodologia conceitual em um instrumento prático de apoio à tomada de decisão na Engenharia Clínica.

Em terceiro lugar a Equação (1) constitui o terceiro resultado satisfatório, bem como o núcleo da metodologia proposta, pois consolida, em uma única expressão matemática, os principais fatores utilizados para avaliação da criticidade dos equipamentos. Diferentemente de abordagens fundamentadas exclusivamente em critérios qualitativos, o modelo desenvolvido permite calcular objetivamente o índice de criticidade, tornando o processo mais padronizado, reproduzível e menos suscetível à influência da experiência individual do avaliador. A representação gráfica desse índice por meio da matriz de criticidade facilita a interpretação dos resultados e auxilia na definição das prioridades de manutenção.

Tabela 1: Classes de riscos.

		CLASSE		
		●	○	△
S	Risco potencial de um acidente quando ocorre uma falha	Risco Alto	Risco Médio ou baixo	Risco descartado
Q	Risco de perdas, reclamações, retrabalhos	Risco alto para perdas e retrabalhos	Risco médio para perdas e retrabalho	Risco baixo ou descartado
O	Tempo de operação do equipamento	24/dia	8 a 24/dia	<= 8h/dia
IF	Impacto no processo durante a falha do equipamento	Interrompe todo processo de produção	Não interrompe processo, mas gera perdas	Não há impacto significativo
F	Frequência de falha do equipamento	Maior que 01 falha/ 02 meses	01 falha/ 02 e 06 meses	Menor que 01 falha/ 06 meses
M	Tempo médio de reparo (MTTR)	MTTR > 2h	0,5h<MTTR<2h	MTTR<0,5h

Fonte: Michelon (2019).



Observa-se que a classificação dos riscos apresentada na Tabela 1 estabelece uma estrutura hierárquica baseada nas consequências decorrentes da falha dos equipamentos, considerando aspectos relacionados à segurança do paciente, impacto operacional e frequência de ocorrência. Esses critérios serviram como referência para adaptação do parâmetro de risco físico empregado na Equação (1), permitindo que a metodologia proposta incorporasse diferentes níveis de severidade de forma padronizada e compatível com os princípios da gestão baseada em riscos.

Tabela 2: Categorias de função e suas pontuações associadas.

Função	Pontuação
Life Support	10
Surgical and Intensive Care	9
Physical Therapy and Threatment	8
Surgical and Intensive Care Monitoring	7
Additional Physiological Monitoring and Diagnostic	6
Analytical Laboratory	5
Laboratory Acessories	4
Computer and Related	3
Patient related and other	2

Fonte: Bronzino (2014).

Conforme apresentado na Tabela 2, equipamentos destinados ao suporte à vida e às unidades cirúrgicas recebem as maiores pontuações em razão do elevado impacto clínico associado à sua indisponibilidade. Em contrapartida, equipamentos de apoio administrativo ou laboratorial apresentam menores pontuações, refletindo menor potencial de comprometer diretamente a assistência ao paciente. Essa diferenciação contribui para que a matriz de criticidade represente adequadamente a relevância clínica dos diversos grupos de equipamentos.





Tabela 3: Categorias de função e suas pontuações associadas.

Função	Pontuação
Sistema de suporte à vida	5
Terapia	4
Diagnóstico	3
Análise	2
Apoio	1

Fonte: Santos, adaptado (2022).

A adaptação apresentada na Tabela 3 simplifica a classificação funcional originalmente proposta por Santos (2022), agrupando equipamentos em cinco categorias principais. Essa simplificação reduz a complexidade do processo de avaliação sem comprometer a capacidade discriminatória do modelo, tornando sua aplicação mais adequada à rotina dos setores de Engenharia Clínica e favorecendo maior uniformidade entre diferentes avaliadores.

Tabela 4: Pontuação de riscos físicos associados ao mau funcionamento do dispositivo.

Risco físico apresentado caso o equipamento falhe	Pontuação
Morte	5
Patient or Operator injury	4
Inappropriate Therapy or Misdiagnosis	2/3
No Significant Risks	1

Fonte: Bronzino (2014).

Os valores atribuídos aos riscos físicos demonstram que a metodologia prioriza situações em que a falha do equipamento pode ocasionar consequências graves ao paciente ou ao profissional de saúde. Dessa forma, equipamentos cujo mau funcionamento pode resultar em morte ou lesões severas recebem maior peso na composição do índice de criticidade, tornando o modelo compatível com os princípios da gestão de riscos recomendados para tecnologias em saúde.





Tabela 5: Esquema de pontuação de riscos físicos.

Risco físico	Pontuação
Morte	5
Lesão Grave	4
Lesão Média/moderada	3
Terapia ou diagnóstico falho	2
Sem Risco	1

Fonte: Autores (2026).

Para composição do eixo Consequência, foram considerados dois parâmetros fundamentais: a função clínica desempenhada pelo equipamento e o risco físico associado à sua indisponibilidade. Ambos foram classificados em escalas crescentes de impacto, permitindo identificar equipamentos cuja falha possa comprometer diretamente a assistência ao paciente ou interromper processos críticos do ambiente hospitalar. O eixo Probabilidade foi constituído pela combinação da classificação de importância operacional baseada na metodologia ABC e da função do equipamento, possibilitando representar não apenas a relevância do ativo para a instituição, mas também sua influência sobre a continuidade dos serviços assistenciais. A combinação desses fatores resultou em uma matriz capaz de representar diferentes cenários de risco de forma objetiva e padronizada.

Tabela 6: Pontuação associada aos requisitos de manutenção.

Maintenance requirements and associated scores	Pontuação
Extensive	4/5
Average	3
Minimal	1/2

Fonte: Bronzino (2014).





Com base nessa modelagem, foram estabelecidas três faixas de classificação para os equipamentos avaliados: baixa criticidade (2 a 20 pontos), média criticidade (21 a 64 pontos) e alta criticidade (65 a 200 pontos). Essa classificação fornece uma referência objetiva para definição das prioridades de manutenção, permitindo direcionar recursos técnicos e financeiros aos equipamentos cuja indisponibilidade apresenta maior potencial de comprometer a segurança do paciente e o funcionamento da instituição. Além disso, a definição desses intervalos possibilita padronizar a tomada de decisão, reduzindo a subjetividade frequentemente observada em processos convencionais de priorização da manutenção.

Tabela 7: Pontuação baseada no grau de importância ABC.

Importância ABC	Pontuação
Criticidade A	15
Criticidade B	5
Criticidade C	1

Fonte: Santos, adaptado (2022).

A utilização da classificação ABC permite incorporar ao modelo a importância operacional dos equipamentos para a instituição. Equipamentos classificados como categoria A recebem maior influência no cálculo da criticidade por representarem ativos estratégicos para a continuidade dos serviços assistenciais, enquanto as categorias B e C contribuem proporcionalmente para o cálculo final. Essa abordagem amplia a capacidade da metodologia em representar tanto aspectos clínicos quanto gerenciais da manutenção hospitalar.

Tabela 8: Classificação de risco de equipamentos.

Família do equipamento	Função	Risco de Acidente		Grau ABC		Criticidade	
Agitador de frascos	Análise	4	Sem risco	1	C	1	Baixa 6



Aparelho Antitrombótico (Phlepo Press)	Terapia	8	Terapia ou diagnóstico falho	3	C	1	Média	12
Aparelho de anestesia	Suporte à vida	10	Morte	7	A	10	Alta	27
Aspirador Cirúrgico	Apoio	2	Terapia ou diagnóstico falho	3	B	5	Baixa	10
Autoclave vertical	Apoio	2	Sem risco	1	B	5	Baixa	8
Balança	Apoio	2	Sem risco	1	C	1	Baixa	4
Balança Antropométrica Digital	Apoio	2	Sem risco	1	C	1	Baixa	4
Balança Eletrônica Pediátrica	Apoio	2	Sem risco	1	C	1	Baixa	4
Banho Maria	Apoio	2	Sem risco	1	C	1	Baixa	4
Berço Aquecido	Terapia	8	Morte	7	B	5	Alta	20
Bisturi Eletrônico	Terapia	8	Injúria	5	B	5	Média	18
Bomba de Infusão	Terapia	8	Terapia ou diagnóstico	3	C	1	Média	12
Bomba de Seringa	Terapia	8	Terapia ou diagnóstico	3	B	5	Média	16
Bomba para Ordenha de Leite Materno	Apoio	2	Injúria	5	A	10	Média	17

Fonte: Santos (2022).

A aplicação da metodologia aos equipamentos apresentados na Tabela 8 demonstra que o modelo proposto consegue diferenciar adequadamente os diversos níveis de criticidade existentes em um parque tecnológico hospitalar. Equipamentos como aparelhos de anestesia e berços aquecidos foram classificados como de alta criticidade devido à elevada função clínica e ao maior risco associado às suas falhas, enquanto equipamentos de apoio apresentaram predominantemente baixa criticidade. Esses resultados evidenciam que a Equação (1) produz





classificações coerentes com a importância clínica e operacional de cada equipamento, favorecendo a definição objetiva das prioridades de manutenção.

A matriz de criticidade apresentada na Tabela 9 sintetiza graficamente os resultados obtidos pela Equação (1), permitindo identificar rapidamente as regiões correspondentes aos diferentes níveis de risco. Observa-se que equipamentos posicionados na região vermelha requerem intervenção prioritária, enquanto aqueles localizados nas regiões amarela e verde podem ser gerenciados por meio de planos de manutenção compatíveis com seus respectivos níveis de criticidade. Essa representação facilita a interpretação dos resultados e torna o processo decisório mais intuitivo para os gestores hospitalares.

Tabela 9: Matriz de criticidade obtida a partir da Equação (1).

	Muito Baixo(2-3) C + Função	Baixo(4,5) C + Função	Médio(6-15) B + Função	Alto(16-18) A+ Função	Muito Alto(19-20) A + Função
Muito Alto(9-10)					
Alto(7-8)					
Médio(5-6)					
Baixo(3-4)					
Muito Baixo(1-2)					

Fonte: Autores (2026).



Além dos resultados mencionados anteriormente, foi desenvolvida uma aplicação computacional utilizando o framework Qt 6, com implementação em linguagem C++ e interfaces gráficas desenvolvidas em QML. O armazenamento das informações foi realizado por meio do banco de dados SQLite, permitindo o gerenciamento estruturado dos dados referentes às instituições, setores, equipamentos e avaliações de criticidade. A escolha dessas tecnologias proporcionou o desenvolvimento de uma aplicação multiplataforma, de fácil manutenção e com possibilidade de expansão para diferentes sistemas operacionais.

O software desenvolvido automatiza todas as etapas do processo de classificação da criticidade, desde o cadastro dos equipamentos até o cálculo automático do índice definido pela Equação (1). Após o preenchimento do questionário de avaliação, o sistema realiza instantaneamente os cálculos, classifica o equipamento segundo o nível de criticidade e posiciona seu resultado na matriz de criticidade. Essa funcionalidade elimina cálculos manuais, reduz a possibilidade de erros operacionais e torna o processo mais rápido, uniforme e reproduzível.

Outro diferencial da aplicação é a visualização gráfica da criticidade, que permite aos gestores identificar imediatamente a posição do equipamento na matriz e compreender o nível de prioridade para intervenção. Essa característica favorece a tomada de decisão e pode contribuir para uma gestão mais eficiente dos recursos destinados à manutenção hospitalar.

O software realiza automaticamente o processamento da equação desenvolvida e apresenta ao usuário a classificação final do equipamento juntamente com seu posicionamento na matriz de criticidade. Essa automação reduz o tempo necessário para realização das avaliações e minimiza erros decorrentes de cálculos manuais, favorecendo maior padronização das análises realizadas pelos setores de Engenharia Clínica.

As interfaces gráficas desenvolvidas priorizaram simplicidade de utilização e organização lógica das informações, permitindo que profissionais com diferentes níveis de experiência possam utilizar a ferramenta sem necessidade de treinamento especializado. As funcionalidades implementadas contemplam operações completas de cadastro, edição, consulta e exclusão de registros (CRUD), além da visualização gráfica dos resultados obtidos,





facilitando a identificação imediata dos equipamentos classificados como prioritários para intervenções de manutenção.

Figura 3: Tela com as informações de organizações cadastradas no sistema.

The screenshot shows a web application interface. At the top, there's a dark header with the title 'Sistema de Matriz de Criticidade' and a close button. Below it is a green navigation bar with a menu icon and the text 'Gerenciar Empresas'. The main content area is titled 'Empresas Cadastradas' and includes 'Atualizar' and 'Adicionar' buttons. It contains a table with columns for 'Nome' and 'CNPJ'. The table lists five companies: Hemoal, Chama, IRRA, pestalozzi, and Hospita Memorial Ágape. To the right of each company name is a green button labeled 'Adicionar Setor'. At the bottom of the interface, there are 'Editar' and 'Excluir' buttons, and a footer with the logo of the Instituto Federal de Alagoas and the year 2026.

Nome	CNPJ	
Hemoal	12.200.259/0001-65	Adicionar Setor
Chama	04.710.210/0001-24	Adicionar Setor
IRRA	35.882.097/0001-98	Adicionar Setor
pestalozzi	01.492.009/0001-20	Adicionar Setor
Hospita Memorial Ágape	36.308.155/0001-37	Adicionar Setor

Fonte: Autores (2026).

A Figura 4 ilustra a organização dos setores vinculados às instituições cadastradas no sistema, evidenciando a estrutura hierárquica adotada para o gerenciamento dos equipamentos. Essa organização possibilita segmentar as avaliações de criticidade por unidade assistencial, facilitando a administração do parque tecnológico e permitindo que diferentes setores possuam registros independentes de seus equipamentos e respectivas avaliações.



Figura 4: Interface do software com a opção de seleção de setores de cada instituição.

Fonte: Autores (2026).

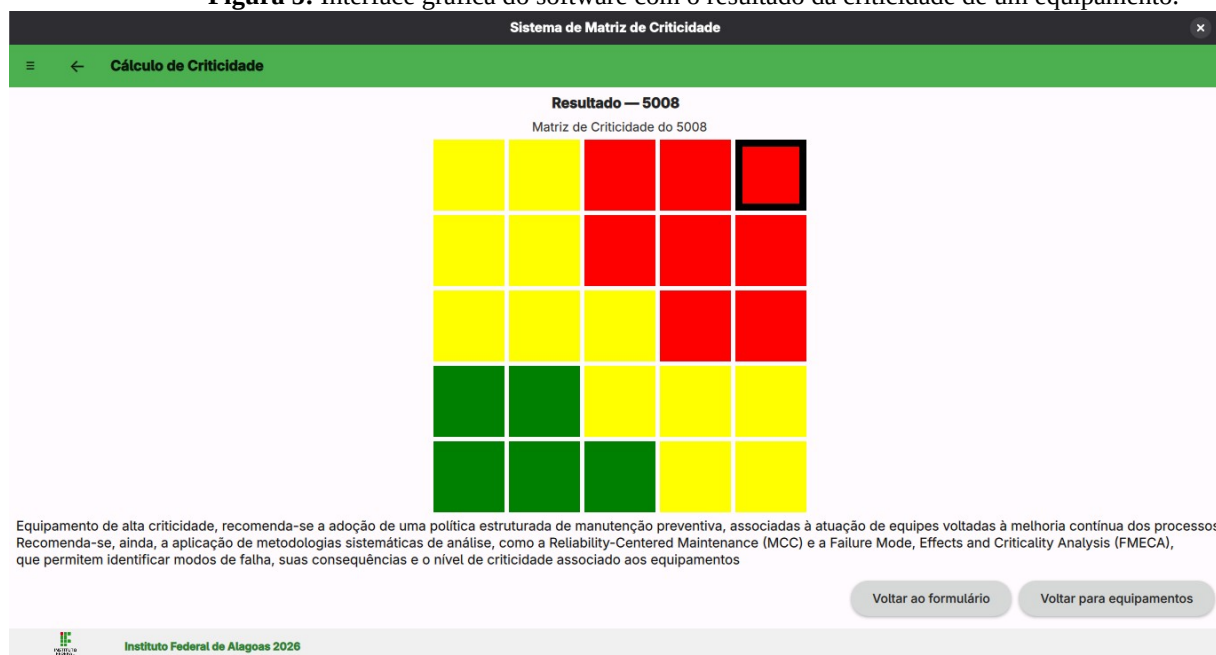
Quando comparada às metodologias tradicionalmente encontradas na literatura, a principal contribuição desta pesquisa está na integração entre um modelo multicritério de classificação da criticidade e uma ferramenta computacional desenvolvida especificamente para sua aplicação prática. Enquanto grande parte dos trabalhos concentra-se na proposição de modelos conceituais ou estudos de caso, o sistema desenvolvido automatiza todas as etapas do processo de avaliação, desde a coleta das informações até a geração da classificação final. Essa característica amplia o potencial de utilização da metodologia em hospitais públicos e privados, favorecendo a padronização dos processos de gestão da manutenção.

Embora a implementação computacional tenha sido concluída, a etapa de validação em ambiente hospitalar ainda será realizada em parceria com uma instituição pública de saúde. Nessa fase serão cadastrados equipamentos de diferentes setores assistenciais e comparadas as classificações obtidas pelo sistema com as avaliações realizadas por especialistas em Engenharia Clínica. Espera-se que essa validação permita verificar a confiabilidade da metodologia proposta, bem como avaliar sua contribuição para a priorização



das atividades de manutenção, otimização dos recursos institucionais e fortalecimento das práticas de gestão de tecnologias em saúde.

Figura 5: Interface gráfica do software com o resultado da criticidade de um equipamento.



Fonte: Autores (2026).

Em conjunto, os resultados demonstram que a pesquisa ultrapassa a proposição de um modelo conceitual de avaliação da criticidade. Além do desenvolvimento da Equação (1), responsável por estruturar matematicamente o cálculo da criticidade dos equipamentos, foi desenvolvida uma aplicação computacional que automatiza integralmente esse processo e apresenta os resultados por meio de uma matriz gráfica de criticidade. A integração entre modelo matemático, representação visual e ferramenta computacional constitui o principal diferencial do trabalho, oferecendo uma solução objetiva, padronizada e com elevado potencial de aplicação na gestão da manutenção de equipamentos médico-hospitalares.



CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma matriz de criticidade aplicada à gestão de equipamentos médico-hospitalares, integrando critérios técnicos e operacionais em uma ferramenta computacional destinada ao apoio à tomada de decisão na Engenharia Clínica. A proposta fundamentou-se na adaptação de modelos consolidados de análise de criticidade, incorporando parâmetros relacionados à função clínica do equipamento, ao risco físico associado à sua indisponibilidade, à classificação ABC e à importância operacional dos ativos tecnológicos.

Como principal resultado, foi desenvolvida uma metodologia capaz de representar o grau de criticidade dos equipamentos por meio de uma matriz de risco estruturada nos eixos de Probabilidade e Consequência, permitindo uma avaliação objetiva e padronizada dos ativos hospitalares. A implementação dessa metodologia em uma aplicação computacional desenvolvida com o framework Qt 6, utilizando banco de dados SQLite, possibilitou automatizar o processo de classificação da criticidade, reduzindo a subjetividade das avaliações e fornecendo uma ferramenta de fácil utilização para profissionais da Engenharia Clínica.

A solução desenvolvida apresenta potencial para contribuir com o planejamento das atividades de manutenção preventiva, preditiva e corretiva, auxiliando na priorização dos equipamentos que exercem maior impacto sobre a continuidade da assistência à saúde e a segurança do paciente. Além disso, a ferramenta poderá favorecer uma utilização mais racional dos recursos destinados à manutenção, promovendo maior disponibilidade dos equipamentos, redução de custos operacionais e fortalecimento das práticas de gestão de tecnologias em saúde.

Embora a implementação computacional tenha sido concluída, a pesquisa encontra-se na etapa de validação prática da metodologia proposta. Como continuidade do trabalho, pretende-se aplicar o sistema em uma instituição pública de saúde parceira, realizando a classificação de equipamentos pertencentes a diferentes setores hospitalares e comparando os





resultados gerados pelo software com a avaliação realizada por especialistas em Engenharia Clínica. Essa etapa permitirá verificar a confiabilidade da metodologia, identificar oportunidades de aperfeiçoamento e avaliar sua aplicabilidade em ambientes reais de assistência à saúde.

Por fim, espera-se que a ferramenta desenvolvida represente uma contribuição tecnológica para a área de Engenharia Clínica, oferecendo uma metodologia objetiva, reprodutível e de fácil implementação para classificação da criticidade de equipamentos médico-hospitalares. Além de apoiar a tomada de decisão na gestão da manutenção, a solução proposta poderá servir como base para futuras pesquisas envolvendo gestão de ativos, manutenção baseada em risco, integração com sistemas de gestão hospitalar e aplicação de técnicas de inteligência artificial voltadas à manutenção preditiva, ampliando as possibilidades de inovação na gestão de tecnologias em saúde.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF MEDICAL INSTRUMENTATION (AAMI). **AEM Program Guide for Healthcare Technology Management**. Arlington: AAMI, 2020.

ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF MEDICAL INSTRUMENTATION (AAMI). **HTM Levels Guide**. Arlington: AAMI, 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de Gestão e Manutenção de Equipamentos Médico-Hospitalares**. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

BRONZINO, Joseph D. (ed.). **Management of Medical Technology: A Primer for Clinical Engineers**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2014. E-book. ISBN 978-1-4831-9390-8.

DYRO, Joseph F. **Clinical Engineering Handbook**. 3. ed. Cambridge: Academic Press (Elsevier), 2021.

ECRI. **Top 10 Health Technology Hazards for 2024**. Plymouth Meeting: ECRI, 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 31000:2018. Risk Management — Guidelines. Geneva: ISO, 2020.





KHIDER, M. O.; HAMZA, A. O. **Medical Equipment Maintenance Management System.**

Journal of Clinical Engineering, v. 48, n. 3, p. 107-117, 2023. DOI:

10.1097/JCE.0000000000000592.

LI, J.; MAO, Y.; ZHANG, J. **Construction of medical equipment maintenance network management platform based on big data.** Frontiers in Physics, v. 11, 2023. DOI:

10.3389/fphy.2023.1105906.

MICHELON, Éden Carlos. **Gestão da manutenção: análise da criticidade em equipamentos de uma indústria no sudoeste do Paraná. 2019.** 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

SANTOS, Gabriel Rodrigues Gonçalves dos. **Avaliação da criticidade de equipamentos médicos: proposta de um modelo para apoio à decisão.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

TAGHIPOUR, Sharareh et al. **Risk-based maintenance planning approaches for medical equipment: a review.** Journal of Clinical Engineering, v. 46, n. 4, p. 213–223, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Global Atlas of Medical Devices 2021.** Geneva: World Health Organization, 2021.

ZAKARIA, M. A. et al. **Integrated failure analysis using machine learning predictive system for smart management of medical equipment maintenance.** Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 125, 106715, 2023. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.106715.

Recebido em: 27/07/2026

Aprovado em: 14/08/2026

Publicado em: 30/08/2026

