

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
MINAS GERAIS - CAMPUS ITABIRITO/MG  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Kierley Sebastião da Silva**

**OS IMPACTOS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DA  
VIDA EM INSTITUIÇÕES DE SAÚDE**

**Itabirito - MG  
2025**

KIERLEY SEBASTIÃO DA SILVA

**OS IMPACTOS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DA  
VIDA EM INSTITUIÇÕES DE SAÚDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Itabirito/MG para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Orientador:** Prof. Esp. Matheus dos Santos Braga Ferreira

Itabirito - MG  
2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586i Silva, Kierley Sebastião da  
2025

Os impactos da qualidade de energia elétrica em equipamentos de monitoramento e manutenção da vida em instituições de saúde / Kierley Sebastião da Silva. – 2025.

92 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito, 2025.

Orientador: Esp. Matheus dos Santos Braga Ferreira.

1. Equipamentos eletromédicos. 2. Qualidade de energia elétrica. 3. Estabelecimentos assistenciais de saúde. 4. Engenharia clínica. I. Silva, Kierley Sebastião da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito. III. Título.

CDD 621.31042

Elaborada pela Biblioteca Jarbas Nazareth de Souza – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Itabirito

Bibliotecário Responsável: Veríssimo Amaral Matias – CRB-6/3266

Kierley Sebastião da Silva

**OS IMPACTOS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DA  
VIDA EM INSTITUIÇÕES DE SAÚDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Itabirito/MG para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em: 29/ 05/ 2025 pela banca examinadora:

---

Prof. Esp. Matheus dos Santos Braga Ferreira - IFMG (Orientador)

---

Profa. Dra. Cláudia Rejane de Mesquita - IFMG

---

Prof. Me. Marcus Vinícius de Freitas Diadelmo - IFMG



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que é o motivo pelo qual toda existência se fez, sendo Ele o criador de todas as coisas. Por Ele, através da fé, fui impulsionado a ter a certeza de que, para Deus, tudo é possível. Ele me deu saúde e forças para chegar até esse momento, por Sua infinita graça. Ele é o alfa e o ômega, o primeiro e o último, o princípio e o fim (Apocalipse 22:13).

Agradeço a minha família, começando pela minha amada esposa, Tairine, dedicada cuidadora e que me faz sentir o amor em todos os momentos, no cuidado, no carinho, na compreensão e em todos os gestos que fazem nossos dias felizes e dignos de serem vividos, em todas as circunstâncias. Agradeço aos nossos filhos Camille e Eliel, que, com amor indescritível e genuíno, coloreem nossas vidas, enchendo meu coração de esperança e força para lutar, cotidianamente, para que eles sejam grandes pessoas, de caráter e legado inconfundíveis. Amo vocês demais! Agradeço à minha mãe Marli, por ter me gerado, lutado pela minha existência e ter cuidado de mim com muita garra, e aos meus irmãos Waldinei e Tatianny, pela torcida, carinho e incentivo de sempre. Estendo meus agradecimentos aos meus sogros, cunhadas, cunhados, sobrinhos e sobrinhas pelo carinho e admiração que sempre senti. Todos vocês são fundamentais para mim.

Agradeço ao IFMG - Campus Itabirito/MG, por me proporcionar educação de qualidade, ambiente acolhedor e profissionais de alto gabarito. Agradeço a cada um, desde os valiosos servidores da manutenção, limpeza, administração, aos técnicos, professores e membros da diretoria, que em muito contribuíram para a minha formação. Nunca esquecerei dos momentos vividos na instituição.

Minha gratidão aos amigos mais próximos do curso, Maicon, Nayra e Paula Giancoti, que proporcionaram momentos leves durante esses anos árduos de estudos. Foram momentos descontraídos, conversas e também tempos difíceis, como a pandemia, que foram abrandados pelo carinho e companheirismo de vocês. Também meus mais sinceros agradecimentos ao amigo incondicional Gabriel dos Santos Marques, membro desse grupo de amigos, que se foi recentemente, de maneira tão precoce, deixando um vazio enorme em nossos corações, merecendo um destaque especial nestes agradecimentos. Deixou um legado de leveza, caráter, humildade, de ser incansável na busca do saber e no auxílio àqueles que o procuravam. Querido Gabriel, obrigado por tudo e por tanto!

Agradeço ao amigo Clyffe de Assis Ribeiro por me ajudar a enxergar a ciência por outra ótica, sempre com simplicidade, respeito e humildade. Mesmo tendo saber tão apurado das mais variadas áreas da ciência, de modo que eu não tenha ainda visto outra pessoa com o mesmo saber científico, era e é capaz de transformar questões complexas em explicações claras, leves e de mais fácil compreensão. Meu muito obrigado!

Agradeço também ao professor Dr. Eduardo José de Araújo, orientador inicial deste

trabalho, que cooperou muito para a conclusão dele. Agradeço pela continuação da orientação realizada pelo brilhante colega e professor Esp. Matheus dos Santos Braga Ferreira, que atuou com excelente profissionalismo na condução de tudo, trazendo segurança e suporte em diversos momentos durante a jornada nada fácil do TCC.

Agradeço aos colegas da Eletra Júnior, empresa júnior que tive o privilégio de conduzir por algum tempo, cercado de parceiros e parceiras de grande competência e ávidos pelo crescimento pessoal e profissional. As experiências ali adquiridas serão sempre lembradas com carinho.

Agradeço aos colegas da Câmara Municipal de Ouro Preto, onde atuei por quase duas décadas e pude sentir a torcida de todos para que eu concluísse os meus estudos. Agradeço também aos colegas da Região Auto Peças e do Auto Posto Saramenha, pelo carinho e respeito profissional a mim destinados. Minha gratidão também aos colegas da EMATER-MG, que em pouco tempo de convívio, têm contribuído para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço aos irmãos e irmãs da PIB Cachoeira do Campo pelas orações e aconselhamentos, por me ajudar a cada dia a crescer como pessoa e cristão, através do amor, da Palavra de Deus e do exemplo de vida dado por cada um, especialmente aos pastores Francisco Ramos e Roney Rosa, e aos amigos do ministério de louvor.

Agradeço aos profissionais que destinaram precioso tempo para responder ao questionário utilizado neste trabalho. Em especial, agradeço ao técnico em eletrônica e equipamentos biomédicos Marcílio Oliveira da Rocha, que com seu vasto conhecimento na área da engenharia clínica, forneceu informações preciosas para balizar e construir a pesquisa, sempre com disponibilidade e espírito de cooperação. Agradeço aos amigos Wallysson Guilherme Ribeiro e Érika Aparecida Oliveira de Menezes Ribeiro, profissionais brilhantes da área da saúde, que em muito contribuíram para este trabalho.

Agradeço a todos que de alguma forma cooperaram para que esse momento chegasse. São muitas as pessoas que gostaria de nominar e agradecer, mas correria o risco de esquecer alguém. Quero que saibam de algo: serei sempre grato a todos vocês que, mesmo sem eu saber, torceram, oraram e acreditaram em mim.

Finalmente, o sonho de uma criança sem perspectivas está sendo realizado. “Mamãe, meu sonho é um dia ser engenheiro”. Agora eu sou engenheiro. Obrigado a todos(as)!

*“Mas, como está escrito: ‘Nem olhos viram, nem ouvidos ouviram, nem jamais penetrou em coração humano o que Deus tem preparado para aqueles que o amam.’ ”*

*(1 Coríntios 2:9)*

## RESUMO

O avanço da tecnologia em nível global permitiu aperfeiçoamentos em diversas áreas do conhecimento, viabilizando melhorias na precisão de procedimentos, aprimoramento nas formas de comunicação e uma grande revolução em algumas dessas áreas. Uma área muito importante tem vislumbrado grandes avanços devido ao avanço tecnológico: a saúde. Ao longo dos séculos, partindo da medicina arcaica e experimental, com procedimentos rudimentares a manuais, chega-se atualmente à aplicação de alta tecnologia em estabelecimentos assistenciais de saúde, os EAS, sendo exemplos o uso da inteligência artificial (IA) e da robótica, como nas cirurgias robóticas realizadas remotamente por cirurgiões, com o auxílio de braços robóticos. Para que tal avanço aconteça, os equipamentos eletroeletrônicos utilizados em ambientes como os EAS, os chamados equipamentos eletromédicos (EEM), são considerados de importância vital para que a tecnologia tenha resultados efetivos no bom tratamento, diagnóstico e suporte à vida de pacientes. Considerando que o funcionamento inadequado de EEM em estabelecimentos de saúde devido a problemas de qualidade de energia elétrica (QEE) pode ocorrer, este estudo foi realizado com o objetivo de analisar os impactos da QEE sobre o funcionamento de EEM, especialmente aqueles destinados ao monitoramento e à manutenção da vida, como monitores multiparamétricos, ventiladores pulmonares, dentre outros. A pesquisa aborda os principais distúrbios elétricos — como variações de tensão, distorções harmônicas, afundamentos, elevações e interrupções — e suas consequências no desempenho, durabilidade e segurança operacional desses equipamentos. Foram realizadas análises teóricas e entrevistas com profissionais da área da saúde e engenharia clínica, através de um formulário eletrônico, buscando evidenciar que a má qualidade da energia, em detrimento de instalações elétricas ineficientes e desobedientes às normas vigentes, pode comprometer a precisão dos dados clínicos, provocar falhas súbitas e até representar risco à vida dos pacientes, fator mais importante a ser tratado. O trabalho destaca a importância da implementação de sistemas de proteção, monitoramento da qualidade da energia elétrica e manutenção preventiva, bem como treinamentos adequados como medidas essenciais para garantir a confiabilidade e a disponibilidade dos EEM em todos os momentos da operação, atrelado à implantação da engenharia clínica em EAS. Conclui-se que a gestão da qualidade de energia elétrica é um fator crítico para a segurança hospitalar e deve ser considerada uma prioridade nas políticas de infraestrutura de saúde.

**Palavras-chave:** equipamentos eletromédicos. qualidade de energia elétrica. estabelecimentos assistenciais de saúde. engenharia clínica.

## ABSTRACT

The advancement of technology on a global level has allowed improvements in several areas of knowledge, enabling improvements in the precision of procedures, improvements in forms of communication and a major revolution in some of these areas. One very important area has seen great advances due to technological advancement: health. Over the centuries, starting from archaic and experimental medicine, with rudimentary and manual procedures, we have now reached the application of high technology in healthcare facilities, the EAS, examples being the use of artificial intelligence (AI) and robotics, such as robotic surgeries performed remotely by surgeons, with the aid of robotic arms. For such advancement to occur, the electro-electronic equipment used in environments such as EAS, the so-called electromedical equipment (EEM), are considered to be of vital importance for technology to have effective results in the good treatment, diagnosis and life support of patients. Considering that inadequate operation of EEM in health facilities due to power quality (PQ) problems can occur, this study was conducted with the objective of analyzing the impacts of PQ on the operation of EEM, especially those intended for monitoring and maintaining life, such as multiparameter monitors, pulmonary ventilators, among others. The research addresses the main electrical disturbances — such as voltage variations, harmonic distortions, dips, swells and interruptions — and their consequences on the performance, durability and operational safety of these equipment. Theoretical analyses and interviews with professionals in the health and clinical engineering areas were carried out, through an electronic form, seeking to demonstrate that poor power quality, to the detriment of inefficient electrical installations that do not comply with current standards, can compromise the accuracy of clinical data, cause sudden failures and even pose a risk to the lives of patients, the most important factor to be addressed. The paper highlights the importance of implementing protection systems, monitoring the quality of electrical energy and preventive maintenance, as well as adequate training as essential measures to ensure the reliability and availability of EEM at all times of operation, linked to the implementation of clinical engineering in EAS. It is concluded that the management of electrical energy quality is a critical factor for hospital safety and should be considered a priority in health infrastructure policies.

**Keywords:** electromedical equipment. electrical power quality. health care facilities. clinical engineering.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Compilado de notícias sobre falhas de equipamentos e instalações elétricas em EAS. . . . .	2
Figura 2 – Crânio do período neolítico submetido a trepanação craniana. . . . .	4
Figura 3 – Norbert Hirschhorn, médico americano responsável por criar o soro caseiro. . . . .	7
Figura 4 – Atendimento médico utilizando telemedicina. . . . .	8
Figura 5 – Uso de relógios inteligentes para monitoramento de saúde. . . . .	9
Figura 6 – Cirurgia laparoscópica. . . . .	10
Figura 7 – Caneta de bisturi elétrico. . . . .	11
Figura 8 – Robô de cirurgia da Vinci, no Hospital Albert Einstein - São Paulo/SP. . . . .	12
Figura 9 – Uso da realidade virtual (RV) na medicina. . . . .	13
Figura 10 – UTI com alguns EEM. . . . .	15
Figura 11 – Monitor multiparamétrico. . . . .	17
Figura 12 – Eletrocardiograma. . . . .	18
Figura 13 – Aparelho de raio-X. . . . .	19
Figura 14 – Tomógrafo. . . . .	20
Figura 15 – Equipamento de ressonância magnética. . . . .	20
Figura 16 – Ventilador ou respirador mecânico. . . . .	21
Figura 17 – Pontos tratados pelo PRODIST. . . . .	23
Figura 18 – Qualímetro Minipa ET-5062. . . . .	24
Figura 19 – Triângulo das potências. . . . .	25
Figura 20 – Exemplo de desequilíbrio de tensão. . . . .	26
Figura 21 – Transformada Rápida de Fourier. . . . .	28
Figura 22 – Gráfico de uma função periódica. . . . .	28
Figura 23 – Onda senoidal de tensão da frequência fundamental. . . . .	29
Figura 24 – Onda de tensão distorcida. . . . .	29
Figura 25 – Sinal no domínio do tempo. . . . .	30
Figura 26 – FFT do sinal da Figura 25. . . . .	31
Figura 27 – Forma de onda durante um afundamento de tensão. . . . .	32
Figura 28 – Flutuação de tensão tipo A. . . . .	35
Figura 29 – Flutuação de tensão tipo B. . . . .	36
Figura 30 – Flutuação de tensão tipo C. . . . .	36
Figura 31 – Flutuação de tensão tipo D. . . . .	37
Figura 32 – Interação eletromagnética entre equipamentos. . . . .	38
Figura 33 – Picos de corrente produzidos por aparelho de raios-X. . . . .	49
Figura 34 – Picos de corrente produzidos por tomógrafo. . . . .	50
Figura 35 – Picos de corrente produzidos durante a ressonância magnética. . . . .	50
Figura 36 – Ensaio de distorção harmônica em monitor multiparamétrico. . . . .	51
Figura 37 – Ensaio de afundamento de tensão em monitor multiparamétrico. . . . .	52

Figura 38 – Afundamentos de tensão aplicados ao monitor multiparamétrico. . . . .	52
Figura 39 – Monitor multiparamétrico submetido a afundamento de tensão conforme NBR IEC 61000-4-11. . . . .	53
Figura 40 – Ventilador pulmonar submetido a afundamento de tensão. . . . .	54
Figura 41 – Afundamento de tensão aplicado ao ventilador pulmonar. . . . .	54
Figura 42 – Afundamento de tensão aplicado ao oxímetro de pulso conforme a NBR IEC 61000-4-11. . . . .	56
Figura 43 – Formulário de pesquisa em página oficial de instituição. . . . .	63
Figura 44 – Percentual de respostas sobre as consequências de falhas em EEM em pacientes. . . . .	67
Figura 45 – Possíveis óbitos em consequência a falha de equipamentos eletromédicos . . . . .	68
Figura 46 – Opinião quanto à eficiência da manutenção no EAS . . . . .	69
Figura 47 – Uso de adaptadores de energia elétrica no ambiente . . . . .	70
Figura 48 – Uso de aparelho celular no ambiente de trabalho com EEM . . . . .	71
Figura 49 – Presença de norma interna para regular uso de celulares em ambientes controlados . . . . .	71
Figura 50 – Atuação da engenharia clínica nos locais de trabalho . . . . .	72
Figura 51 – Mortes com causa possível de mau funcionamento de sistema de geração de energia elétrica em hospital . . . . .	77
Figura 52 – Classificação de serviços de segurança para EAS - ABNT NBR 13.534:2008 . . . . .	78
Figura 53 – Matéria do portal G1 sobre mortes em hospital por possível pane em rede elétrica . . . . .	79
Figura 54 – Reprodução de profissional durante manutenção preventiva . . . . .	82
Figura 55 – Câmera termográfica em uso. . . . .	83
Figura 56 – Treinamento em EAS. . . . .	84
Figura 57 – Matéria sobre a precarização de hospitais. . . . .	85
Figura 58 – Estudo indica queda de investimentos em saúde pública no país. . . . .	86

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Fontes eletromagnéticas mais comuns . . . . .	39
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
IEC	Comitê Eletrotécnico Internacional
EAS	Estabelecimento Assistencial de Saúde
EC	Engenharia Clínica
ECG	Eletrocardiograma
EEG	Eletroencefalograma
EEM	Equipamentos Eletromédicos
EMC	Compatibilidade Eletromagnética
EMI	Incompatibilidade Eletromagnética
FFT	Transformada Rápida de Fourier
FP	Fator de Potência
IA	Inteligência Artificial
NBR	Norma Brasileira
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RV	Realidade Virtual
SPDA	Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
TC	Tomografia Computadorizada
TSE	Teste de Segurança Elétrica
UPS	Uninterruptible Power Supply ou Fonte de Alimentação Ininterrupta
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
WLAN	Rede Local sem Fio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>2</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>2</i>
<b>1.2</b>	<b>Organização do Texto</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>A evolução tecnológica na medicina</b>	<b>4</b>
<i>2.1.1</i>	<i>Avanço da medicina na história</i>	<i>4</i>
<i>2.1.2</i>	<i>A tecnologia e a medicina</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2.1</i>	<i>Evolução em centros cirúrgicos</i>	<i>9</i>
<i>2.1.2.2</i>	<i>Evolução da medicina diagnóstica</i>	<i>14</i>
<b>2.2</b>	<b>Equipamentos Eletromédicos (EEM)</b>	<b>14</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Monitor multiparamétrico</i>	<i>16</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Eletrocardiógrafo</i>	<i>17</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Aparelho de raio-X</i>	<i>17</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Tomógrafo</i>	<i>18</i>
<i>2.2.5</i>	<i>Aparelho de ressonância magnética</i>	<i>19</i>
<i>2.2.6</i>	<i>Ventilador mecânico</i>	<i>21</i>
<b>2.3</b>	<b>Qualidade de energia elétrica (QEE)</b>	<b>22</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Qualímetro</i>	<i>23</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Tensão em regime permanente</i>	<i>24</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Fator de potência (FP)</i>	<i>25</i>
<i>2.3.4</i>	<i>Desequilíbrio de tensão</i>	<i>26</i>
<i>2.3.5</i>	<i>Distorção harmônica</i>	<i>27</i>
<i>2.3.5.1</i>	<i>Transformada Rápida de Fourier (FFT)</i>	<i>27</i>
<i>2.3.6</i>	<i>Afundamento de tensão</i>	<i>31</i>
<i>2.3.7</i>	<i>Flutuações de tensão</i>	<i>32</i>
<i>2.3.7.1</i>	<i>Sistema pu</i>	<i>32</i>
<i>2.3.8</i>	<i>Variação de frequência</i>	<i>37</i>

2.3.9	<i>Incompatibilidade eletromagnética (EMI)</i> . . . . .	37
2.4	<b>Normas aplicadas a EAS</b> . . . . .	39
2.4.1	<i>Norma Regulamentadora 10 (NR-10)</i> . . . . .	40
2.4.2	<i>Norma técnica NBR 5410</i> . . . . .	40
2.4.3	<i>Norma técnica NBR 13.534</i> . . . . .	41
2.4.4	<i>Norma técnica NBR IEC 60601</i> . . . . .	42
2.4.5	<i>Norma técnica NBR 5419</i> . . . . .	42
2.4.6	<i>RDC 50</i> . . . . .	42
2.5	<b>Instalações elétricas em EAS</b> . . . . .	43
2.6	<b>A Engenharia Clínica</b> . . . . .	45
2.7	<b>Funcionamento inadequado de EEM - Causas e consequências</b> . . . . .	47
2.7.1	<i>Aparelho de raio-X como causador de perturbações na rede elétrica</i> . . . . .	48
2.7.2	<i>Tomógrafo como causador de perturbações na rede elétrica</i> . . . . .	49
2.7.3	<i>Equipamento de ressonância magnética como causador de perturbações na rede elétrica</i> . . . . .	49
2.7.4	<i>Comportamento do monitor cardíaco</i> . . . . .	51
2.7.5	<i>Comportamento do ventilador pulmonar</i> . . . . .	53
2.7.6	<i>Comportamento do oxímetro de pulso</i> . . . . .	55
3	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	58
4	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	62
4.1	<b>Respostas do formulário eletrônico</b> . . . . .	62
4.1.1	<i>Ambiente de atuação dos profissionais</i> . . . . .	62
4.1.2	<i>Contato com EEM no ambiente de trabalho</i> . . . . .	63
4.1.3	<i>Área de atuação</i> . . . . .	63
4.1.4	<i>Respostas dos profissionais de saúde</i> . . . . .	63
4.1.4.1	<i>Formação ou ocupação do profissional</i> . . . . .	64
4.1.4.2	<i>Tempo de formação</i> . . . . .	64
4.1.4.3	<i>Tempo de atuação na área</i> . . . . .	64
4.1.4.4	<i>Uso de equipamentos eletromédicos</i> . . . . .	65
4.1.4.5	<i>Funções dos EEM utilizados</i> . . . . .	65

4.1.4.6	<i>EEM com funcionamento inadequado</i> . . . . .	65
4.1.4.7	<i>Tipos de problemas observados em EEM</i> . . . . .	66
4.1.4.8	<i>As possíveis causas de falhas em EEM</i> . . . . .	66
4.1.4.9	<i>Óbitos em possível consequência à falha de EEM</i> . . . . .	67
4.1.4.10	<i>Condição dos equipamentos eletromédicos</i> . . . . .	68
4.1.4.11	<i>Condições das instalações elétricas do local</i> . . . . .	69
4.1.4.12	<i>Uso de celulares em ambientes com EEM</i> . . . . .	70
4.1.4.13	<i>Relação dos profissionais com a engenharia clínica</i> . . . . .	72
4.1.4.14	<i>Impressões sobre o mau funcionamento de EEM</i> . . . . .	73
4.1.5	<i>Respostas dos profissionais de engenharia clínica</i> . . . . .	73
4.1.5.1	<i>Informações sobre formação e atuação</i> . . . . .	73
4.1.5.2	<i>Instalações elétricas e equipamentos eletromédicos</i> . . . . .	73
4.1.5.3	<i>Práticas inadequadas no uso de EEM ou das instalações elétricas</i> . . . . .	75
4.2	<b>Análise e recomendações para minimização de problemas em EEM</b> . . .	76
4.2.1	<i>Alimentação elétrica em EAS</i> . . . . .	76
4.2.2	<i>Projetos elétricos em EAS</i> . . . . .	79
4.2.3	<i>Manutenções em sistemas elétricos de EAS</i> . . . . .	81
4.2.4	<i>Treinamento e capacitação em EAS</i> . . . . .	83
4.2.5	<i>Investimentos em estrutura e equipamentos</i> . . . . .	85
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	87
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	89
	<b>APÊNDICE A – FORMULÁRIO APLICADO</b> . . . . .	92

# 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Elétrica, por ser ligada à tecnologia de maneira parental, está presente em nosso dia a dia de inúmeras maneiras: nas residências, nos comércios, em dispositivos de comunicação largamente utilizados, nos diversos setores da indústria, nos transportes em geral, com cada vez mais veículos híbridos e elétricos em circulação. Vivemos a era das facilidades e comodidades e é necessário que a tecnologia seja aliada em nossas mais diversas atribuições da vida e, portanto, seria impensável viver hoje em dia sem determinados recursos e instrumentos como energia elétrica, automóvel, avião, computador, telefone fixo e móvel, televisão e internet (Lorenzetti *et al.*, 2012).

E não seria diferente em uma área imprescindível: a saúde. Ela constitui-se em um bem ou valor que ocupa o topo da pirâmide de prioridades das pessoas (Lorenzetti *et al.*, 2012) e a tecnologia trouxe grandes avanços nos diversos campos de atuação da medicina. Hoje nos deparamos com instalações modernas em hospitais, clínicas, institutos de medicina diagnóstica, dentre outros. De instalações simples como vistas no passado, onde consultórios e salas de cirurgia eram mobiliados com macas e cadeiras de ferro, instrumentos simples e rudimentares, atualmente, é possível termos acesso a consultórios de última geração, com uso de tecnologia avançada, tanto em comodidades, quanto em mobiliário, instrumentos e equipamentos, e isso é muito importante, pois equipamentos médico-hospitalares são essenciais para o diagnóstico, tratamento, prevenção e reabilitação da saúde, viabilizando a oferta de serviços de qualidade à vida do usuário (Almeida; Silva, 2016).

É inegável que a tecnologia chegou à medicina, e isso é uma notícia muito boa para a sociedade, que é dependente de instalações médicas confiáveis e eficientes para diagnósticos, tratamentos e intervenções médicas diversas. Através disso, é possível ver que a medicina está cada vez mais dependente de equipamentos e soluções tecnológicas, que servem como subsídios, não só para diagnosticar patologias ou monitorar pacientes, mas também para a manutenção da vida, tomando como exemplo respiradores utilizados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e similares. Hoje, a tecnologia desempenha papel fundamental na prática da medicina. Diagnósticos e procedimentos, clínicos e cirúrgicos, vêm ganhando rapidez e qualidade (Almeida, 2000).

Devido à importância do funcionamento adequado de equipamentos e instrumentos diversos na medicina, pode-se chegar à seguinte questão: quais as consequências do mau funcionamento deles? E ainda, de maneira a justificar essa pesquisa: quais são os impactos sofridos por eles advindos da falta de qualidade e observância das normas vigentes nas instalações elétricas em ambientes hospitalares?

A partir da visualização de um evento, onde o funcionamento inadequado de um equipamento de eletrocardiograma (ECG), ocorrido, provavelmente, por instalação elétrica ineficiente, ocasionou resultado inesperado de um exame, foi possível entender que ocorrem situações onde a falha de EEM pode impactar diretamente no resultado de um exame, diagnóstico ou, em casos

mais extremos, na manutenção da vida de pacientes sob cuidados médicos intensivos. A Figura 1, fruto da junção de vários títulos de notícias veiculadas em diferentes épocas e veículos de comunicação, mostra a ocorrência de tais problemas em EAS. Em conversa com profissionais da área da saúde, é possível inferir que boa parte dos equipamentos eletroeletrônicos utilizados nas unidades citadas são sensíveis a ruídos na rede elétrica, bem como harmônicos e variações de tensão ou corrente elétrica, principalmente os mais antigos, que ainda não foram atualizados para cumprimento melhor das normas criadas para mitigar os possíveis danos à qualidade de funcionamento.

Figura 1 – Compilado de notícias sobre falhas de equipamentos e instalações elétricas em EAS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho visa estudar e apresentar quais podem ser as consequências de instalações elétricas inadequadas para EEM (equipamentos eletromédicos) operando em ambientes ambulatoriais ou hospitalares, com base em revisão bibliográfica, relatos de profissionais da área da saúde e engenharia clínica, além de apresentar formas de mitigação dos problemas causados.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Constituem-se como objetivos específicos deste trabalho:

- Identificar as principais falhas de instalações elétricas em ambientes médicos;
- Apresentar alguns dos equipamentos mais susceptíveis a falhas devido a instalações elétricas inadequadas;

- Exibir possíveis comportamentos inadequados em relação a uso de dispositivos causadores de interferências nestes ambientes;
- Apresentar formas de mitigação e melhorias para as instalações elétricas em unidades de saúde.

## **1.2 Organização do Texto**

Esta monografia apresenta, inicialmente, a introdução, que tem como função contextualizar o leitor do assunto abordado, além de identificar a justificativa para o estudo do tema. Na sequência, os objetivos geral e específicos são listados. A fundamentação teórica é apresentada a seguir, mostrando as principais informações e referências da literatura que embasam a pesquisa e a apresentação dos resultados e discussões, que são apresentadas após a metodologia, parte esta que identifica quais são os recursos usados na construção do trabalho.

Finalmente, as considerações finais concluem o trabalho, expondo o que foi observado durante toda a construção e composição dele, além de propor estudos futuros e aperfeiçoamento da pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresentará a base teórica para o embasamento do tema estudado, iniciando através do estudo da evolução tecnológica na medicina, passando pela exibição de alguns dos EEM (equipamentos eletromédicos) mais utilizados hoje. Na sequência, serão apresentados os principais conceitos da engenharia elétrica em relação à qualidade de energia elétrica e à interação desses conceitos com os possíveis funcionamentos indesejáveis de EEM.

### 2.1 A evolução tecnológica na medicina

Nessa seção será apresentada, resumidamente, a evolução da medicina na história e, na sequência, como o avanço tecnológico contribuiu para tal evolução, conferindo grande aperfeiçoamento de técnicas, diagnósticos e tratamentos.

#### 2.1.1 *Avanço da medicina na história*

Diversos estudos apontam o exercício da medicina desde tempos remotos. Registros rudimentares recuperados da pré-história revelam descrições de doenças e tratamentos da época, caracterizando a medicina praticada como primitiva pré-histórica. Tais informações foram obtidas por meio da paleopatologia, que é o estudo das enfermidades que podem ser demonstradas em restos humanos procedentes de épocas remotas (Gusmão, 2004). A trepanação craniana, por exemplo, consistia na perfuração do crânio utilizando um instrumento chamado trépano. Seu emprego tinha por finalidade promover a descompressão, dar acesso a estruturas cerebrais ou realizar o implante de dispositivos. Na Figura 2 é possível observar o crânio de uma pessoa que foi submetida à trepanação.

Figura 2 – Crânio do período neolítico submetido a trepanação craniana.



Documentos da Mesopotâmia e do Egito registraram a evolução da medicina arcaica, baseada na magia e no empirismo. Já a medicina como ciência, baseada na interpretação natural da doença, surge somente no século V a.C., com Hipócrates (460-375 a.C.) (Gusmão, 2004). Grego, nascido na cidade de Cós, considerado o primeiro médico da história e conhecido como o pai da medicina. Desde os primórdios, a medicina vem avançando através de estudos, descobertas, aperfeiçoamento de técnicas e outros fatores.

Pode-se apresentar alguns acontecimentos marcantes na evolução da medicina no decorrer dos tempos:

- **Período paleolítico (2,5 milhões à 10 mil anos a.C.):** doenças decorrentes de causas genéticas ou provenientes de traumatismos advindos do modo de vida nômade, com sobrevivência à base de pesca, caça e coleta. Os tratamentos eram feitos com base em crenças sobrenaturais ou místicas, sendo realizados por feiticeiros ou xamãs ou, ainda, através do empirismo, que levou à descoberta de ervas que podiam aliviar dores;
- **Período neolítico (10 mil à 3 mil anos a.C.):** com o acúmulo populacional, começam a surgir doenças infectocontagiosas de causas ainda consideradas religiosas, místicas e astrológicas. Sacerdotes realizam tratamentos através de rituais. As parasitoses (infecções que se desenvolvem a partir da presença de um volume anormal de parasitas intestinais), como as ocorridas no Egito, começam a ser tratadas;
- **Antiguidade clássica (séc. III a.C. ao V d.C.):** nas cidades-estado greco-romanas surgem as primeiras epidemias. A epilepsia e outras doenças passam a ter causas naturais e não sobrenaturais, como pensava-se anteriormente;
- **Alta idade média (séc. V ao X):** a Igreja Católica realiza acolhimento dos enfermos, detendo o conhecimento da medicina, sendo que doenças são vistas como castigos de Deus. Monges praticam a medicina de maneira rudimentar, com base em conhecimentos populares, utilizando ervas medicinais e emplastros, com uso da técnica da sangria;
- **Baixa idade média (séc. XI ao XV):** surgimento de doenças que causaram grande mortalidade, como tifo, cólera e a peste negra, tendo com vetores os ratos. 35 anos era a expectativa de vida e a Igreja não possuía mais a capacidade de explicar todas as doenças. É criada a Escola de Salerno, na Itália, sendo o primeiro centro medieval de medicina leiga, onde é estudada e desenvolvida a cirurgia. Em meados do século XIII surgem os primeiros hospitais na Europa;
- **Renascimento (séc. XV ao XVI):** é escrito pelo grande anatomista belga Andreas Vesalius (1514-1564) o primeiro grande livro que explica a anatomia humana, com o título *De Humani Corporis Fabrica Liber Septem* (Sete Livros Sobre a Fábrica do Corpo Humano).

Ele é o referencial a partir do qual as contemporâneas ilustrações anatômicas se originaram (Souza, 2011). Devido à reurbanização e das grandes navegações, doenças venéreas como escorbuto e tuberculose, prevalecem entre as demais;

- **Idade moderna (séc. XV ao XVIII):** paralelamente ao avanço da física, química e do método cartesiano, há o desenvolvimento de correntes de explicação de doenças, de acordo com a visão do corpo humano como uma máquina. O sistema nervoso começa a ser estudado e são descobertas, além da existência dos neurônios, áreas específicas do cérebro responsáveis por diversas funções. As descrições de doenças passam a ser mais bem elaboradas, surgem os hospitais modernos inicia-se a regulamentação profissional dos médicos, com características liberais;
- **Idade contemporânea (séc. XVIII ao XIX):** descoberta da microbiologia e início dos estudos das doenças neurológicas e psíquicas com Sigmund Freud (1856-1939). Desenvolvimento de técnicas cirúrgicas devido ao avanço de novas tecnologias, como a anestesia e a esterilização. A prevenção de doenças já ocorre com o uso de vacinas e o biólogo tcheco Gregor Johann Mendel (1822-1884) começa a estudar a genética;
- **Século XX:** surgimento das transfusões de sangue em meio às guerras e com os estudos da física quântica, novos paradigmas da ciência são desenvolvidos.

Ainda no século XX, a descoberta de algo que hoje parece simples, em meados de 1964, pode ter salvo, segundo estudos, mais de 50 milhões de pessoas. Trata-se da dosagem correta do soro caseiro, que é o remédio mais eficiente para evitar e tratar a desidratação e constitui um dos maiores avanços da terapêutica neste século (Nascimento *et al.*, 2022). O responsável por tal feito foi o médico americano nascido na Áustria Norbert Hirschhorn, que pode ser conhecido na Figura 3. O ultrassom passou a ser usado para diagnóstico médico em 1955, em 1967, foi criado o tomógrafo computadorizado (TC) e a ressonância magnética em 1973.

No século atual, pode-se destacar diversos avanços da medicina e podemos perceber que boa parte deles está associada ao avanço tecnológico, e será apresentada na próxima seção.

### 2.1.2 A tecnologia e a medicina

Entre as diversas áreas do conhecimento, duas podem ser apontadas como de suma importância para a humanidade: a saúde e a tecnologia. É possível avaliar que a parceria entre elas é benéfica para a população, tanto em medicamentos, equipamentos (tecnologias biomédicas) e procedimentos médicos como anamnese, técnicas cirúrgicas e normas técnicas de uso de equipamentos (que, em conjunto com as tecnologias biomédicas, são chamadas de tecnologias médicas), quanto em sistemas organizacionais e de suporte dentro dos quais os cuidados com a saúde são oferecidos (Secoli *et al.*, 2010).

Figura 3 – Norbert Hirschhorn, médico americano responsável por criar o soro caseiro.



Fonte: Unasus, 2014.

Nas últimas décadas, o acréscimo da produção e incorporação de novas tecnologias esteve associado à melhora da prevenção, diagnóstico e tratamento das doenças, o que repercutiu no aumento da qualidade de vida e na queda da mortalidade em geral (Secoli *et al.*, 2010).

O incremento da tecnologia tem sido peça fundamental na história da medicina na qual continua apresentando um papel crucial na atualidade, visto que diversos aparelhamentos e softwares aparecem como promissores para melhorar a assistência à população (Silva; Silva; Silva, 2023).

Os avanços tecnológicos aplicados à medicina permitem aos profissionais da área tomadas de decisão mais precisas e eficazes com base em diagnósticos mais assertivos, execução de procedimentos com menor probabilidade de erros e até uso de sistemas de gestão dos cuidados de saúde que não existiam em épocas passadas.

Nos cuidados à saúde, os avanços são inumeráveis: imagens médicas por radiografia, ressonância magnética ou tomografia por impedância elétrica; antibióticos e anti-inflamatórios; ventiladores pulmonares, máquinas de circulação extracorpórea e de hemodiálise; eletrocardiografia, eletroencefalografia, eletromiografia; quimioterapia e radioterapia; apenas para lançar um pequeno olhar sobre o universo das tecnologias de saúde (Solar, 2017).

É possível citar, em tempos atuais, grandes evoluções da medicina que são consequências do aprimoramento de tecnologias também em evolução, conforme segue:

- **Telemedicina:** os grandes progressos na área da tecnologia da informação (TI) nas últimas décadas proporcionou o início do uso de computadores, smartphones e similares para

atendimento médico remoto, a chamada telemedicina, que atua como ferramenta de teleassistência, teleconsulta, teleexpertise, monitoramento remoto, pesquisas multicêntricas e atividades educacionais (Santos *et al.*, 2020). No Brasil, a telemedicina, que pode ter um atendimento visualizado na Figura 4, foi autorizada para uso durante a pandemia de COVID-19, através da Resolução 2.314/2022, do Conselho Federal de Medicina (CFM) e, baseada em parâmetros éticos, técnicos e legais, pode ser usada para viabilizar atendimentos mais rápidos, sem necessidade de deslocamento à locais de atendimento convencionais, conferindo conforto à pacientes e diminuindo a circulação de pessoas nesses locais para acesso à atendimentos de pequena complexidade;

Figura 4 – Atendimento médico utilizando telemedicina.



Fonte: Conselho Federal de Medicina, 2022.

- **Inteligência artificial (IA):** na área da saúde, a IA tem sido desenvolvida com o objetivo de melhorar a acurácia dos exames, a consistência na interpretação de imagens médicas, a avaliação prognóstica e o suporte à decisão terapêutica (Santos *et al.*, 2019), ou seja, o intuito dela é contribuir para atendimentos e diagnósticos mais rápidos e com maior precisão, conferir redução de custos e, ainda, melhorar a experiência de pacientes e profissionais;
- **Dispositivos vestíveis (wearables):** a integração de smartwatches (Figura 5), monitores de saúde e sensores biométricos oferecem a capacidade de monitorar continuamente os sinais vitais dos pacientes, fornecendo dado em tempo real para análise remota (Silva *et al.*, 2023). Hoje já pode ser considerado comum o uso de equipamentos eletrônicos, como relógios inteligentes e outros, que tem como algumas de suas funções o monitoramento de

sinais vitais da pessoa, durante atividade física ou não, criando históricos de dados como, batimentos cardíacos, pressão arterial e até saturação de oxigênio, que podem ser enviados e submetidos à avaliação médica;

Figura 5 – Uso de relógios inteligentes para monitoramento de saúde.



Fonte: Portal Tecmundo, 2024.

Além dos avanços ora mencionados, algumas estruturas têm sido aperfeiçoadas ao longo do tempo, visando maior qualidade no atendimento, diagnóstico e tratamento de pacientes. Pode-se destacar os hospitais e, mais especificamente, os centros cirúrgicos. Tais aperfeiçoamentos estão diretamente ligados à implantação da Engenharia Clínica (EC) nas instituições. A EC é definida como um campo multidisciplinar oriundo da união da engenharia biomédica com as demais áreas da engenharia, atuando no desenvolvimento de atividades baseadas nos conhecimentos de engenharia e de gerenciamento aplicados às tecnologias de saúde. Ela possibilita a redução de custos e aumenta a eficácia dos procedimentos relacionados com a tecnologia na saúde (Ramírez, 2002).

### 2.1.2.1 *Evolução em centros cirúrgicos*

Quando fala-se em cirurgias e outros procedimentos médicos, é concebível pensar em tecnologia, confiabilidade, segurança e uso de técnicas avançadas. Entretanto, a evolução dos centros cirúrgicos, considerando o uso de anestesia e da assepsia do local, está muito mais perto das cirurgias robóticas do que dos primeiros registros da realização desses procedimentos. Técnicas como a trepanação, mostrada anteriormente neste capítulo, mostram que as cirurgias eram violentas e sangrentas, devido a ainda serem realizadas numa época onde bases como anatomia, anestesia, infecções e assepsia não tinham surgido.

Com o passar dos anos e o avanço de estudos médicos nas áreas da anatomia e anestesia, bem como a percepção da importância da assepsia, associados ao avanço tecnológico, os centros cirúrgicos, bem como as técnicas e equipamentos que abarcam tais locais, foram aprimorados e, hoje, há tecnologia de ponta sendo utilizada.

São exemplos de avanços nas técnicas cirúrgicas, baseados em uso de EEM de alta tecnologia, a laparoscopia atual e as cirurgias robóticas.

- **Laparoscopia:** procedimento minimamente invasivo onde a visualização de órgãos internos é feita através de pequenas incisões no abdome, com apoio de uma câmera que possibilita a visualização interna em tempo real durante a cirurgia, como pode ser observado na Figura 6. O tubo fino e flexível que é equipado com uma câmera e luz é chamado laparoscópio, dando origem ao nome da técnica. Ela revolucionou o campo da cirurgia geral, oferecendo uma abordagem minimamente invasiva que resulta em menor tempo de recuperação, menor dor pós-operatória e menor tempo de internação hospitalar em comparação com a cirurgia tradicional aberta (Coutinho *et al.*, 2024).

Figura 6 – Cirurgia laparoscópica.



Fonte: Página Dr. Marcel Autran Machado, 2021.

Alguns EEM têm grande importância na laparoscopia: fontes de energia e lasers. Essas fontes são usadas como unidades eletrocirúrgicas, como bisturis elétricos (7), e os lasers são usados para ajudar a controlar sangramentos e dissecar tecidos. Importante EEM, o bisturi elétrico converte energia elétrica em corrente de alta frequência, que, aplicada ao tecido, permite o corte e coagulação dele. Ele representa um grande avanço para as técnicas inovadoras de cirurgias.

Figura 7 – Caneta de bisturi elétrico.



Fonte: MA Hospitalar, 2024.

- **Cirurgias robóticas:** atreladas ao avanço da robótica na indústria, as cirurgias robóticas, já utilizadas há algum tempo no Brasil, visam a diminuição dos fatores humanos na realização dos procedimentos. Com base em movimentos precisos, os robôs trabalham através de braços e mãos mecânicas, além de embarcar ferramentas especiais, possibilitando, em alguns casos, que sejam atingidas regiões do corpo onde um humano não teria acesso com suas mãos. Um dos mais conhecidos robôs em operação no Brasil é o "da Vinci Surgical System"(Figura 8, do Hospital Israelita Albert Einstein, em São Paulo e ele representa aproximadamente 35 anos de esforços combinados e tecnologia em favor da cirurgia robótica (MORRELL *et al.*, 2021);

Com a introdução de plataformas robóticas, cirurgias que anteriormente necessitavam de grandes incisões e longos tempos de recuperação podem agora ser realizadas através de pequenas incisões com assistência robótica, resultando em menos cicatrizes, menos dor pós-operatória, tempo de inatividade e recuperação (Martins *et al.*, 2024).

Figura 8 – Robô de cirurgia da Vinci, no Hospital Albert Einstein - São Paulo/SP.



Fonte: Página da Ensino Einstein. Acesso em 06 jan. 2025.

- **Realidade virtual (RV):** a realidade virtual é uma tecnologia gerada por computação que disponibiliza informação com o objetivo de simular a vida em seu meio ambiente natural (Skinovsky; Chibata; Siqueira, 2008). Quando citada, a RV pode remeter a filmes de ficção científica ou talvez à pessoas se distraindo em jogos ou em parques de diversão virtuais. Porém, a RV é utilizada não apenas como modo de recreação, mas em diversas áreas, como arquitetura, engenharia, na formação de bombeiros e pilotos e até na indústria, na simulação de produtos ainda na fase de projeto. Sua utilização em um EAS pode ser visualizada na Figura 9.

Como esperado, a medicina também recorre a esse importante recurso do avanço tecnológico. Na área da cirurgia, em decorrência de problemas jurídicos, os aprendizes têm pouca oferta de operações para treinamento, levando à prática deficiente e à queda na autoconfiança (Skinovsky; Chibata; Siqueira, 2008) e uma das soluções possíveis para esse problema é o uso de simuladores de cirurgia que permitem, com a maior fidelidade possível, o contato dos futuros cirurgiões com as práticas em procedimentos cirúrgicos. Além de possibilitar maior oferta de treinamento, o uso de simuladores promove a possibilidade de diversas repetições do mesmo procedimento, no mesmo ambiente e, ainda, avaliação do próprio sistema quanto ao desempenho, conferindo aprimoramento das técnicas e correção de imperfeições.

Figura 9 – Uso da realidade virtual (RV) na medicina.



Fonte: Portal Telemedicina, 2023.

Na educação médica cirúrgica dos países desenvolvidos, a RV tem sido empregada no ensino de anatomia e na simulação de operações, principalmente para o treinamento operatório de cirurgia video-laparoscópica, no planejamento pré-operatório e no suporte intraoperatório. As imagens de modelos virtuais têm como vantagem a possibilidade de se avaliar os órgãos tridimensionalmente, de se observar a estrutura interna do órgão com o recurso da semitransparência, de se avaliar as relações entre os órgãos com suas topografias e de se produzir visões seletivas do corpo. Além destas vantagens, não apresenta limitação de tempo de utilização (Montero; Zanchet, 2003).

E esses simuladores utilizam a RV para que sejam gerados ambientes virtuais de cirurgia, não apenas na questão de visualização, mas permitindo que o treinando experimente a sensação tátil individualizada por tecido, o chamado *biofeedback*, aproximando ainda mais a simulação da realidade (Skinovsky; Chibata; Siqueira, 2008).

Os centros cirúrgicos continuam em ritmo de evolução e vislumbra-se um futuro com ainda mais excelentes descobertas de novas tecnologias que vão aperfeiçoar o que já existe, permitindo que os procedimentos cirúrgicos atinjam maior precisão, menor invasividade e menor tempo de recuperação de pacientes.

### 2.1.2.2 *Evolução da medicina diagnóstica*

Ramo da medicina que tem como objetivo identificar doenças a partir de exames e análises, a medicina diagnóstica possui uma gama de métodos e tecnologias, tais como: exames laboratoriais, técnicas de imagem, análise de amostras biológicas, entre outros.

É possível destacar, ao longo do tempo, os avanços da medicina diagnóstica:

- **Século XIX:** descoberta, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), dos raios-X, permitindo a realização de exames de imagem. Ainda no final deste século houve a descoberta dos grupos sanguíneos, feito realizado pelo médico austríaco Karl Landsteiner (1868-1943). Em 1892, no Brasil, houve o marco do diagnóstico da peste bubônica, através de exames laboratoriais;
- **Década de 1940:** Lançado o primeiro teste de glicose na urina;
- **Décadas de 1950 e 1960:** chega-se à automação dos exames laboratoriais, propiciando que eles fossem mais rápidos e precisos;
- **Década de 1980:** primeiros testes imunocromáticos para identificar, na urina, o hCG (gonadotrofina coriônica humana), mais conhecido como o hormônio da gravidez. Ainda nesta mesma década, o exame de DNA foi criado na Inglaterra, permitindo a identificação única e mais aprofundada das características genéticas, contribuindo inclusive, em diagnósticos de doenças.

É possível inferir que a medicina diagnóstica é intimamente ligada à tecnologia através de EEM, onde pode-se citar equipamentos de raio-X, mamógrafos, tomógrafos computadorizados, equipamentos de ressonância magnética e ultrassonográficos, microscópios, entre outros.

## 2.2 Equipamentos Eletromédicos (EEM)

Equipamentos eletromédicos são dispositivos eletroeletrônicos utilizados no monitoramento, diagnóstico ou tratamento de pacientes em ambiente hospitalar e clínico e que, devido a esse uso, precisam de aprovação e regularização junto aos órgãos competentes, além da necessidade de obedecer à norma específica que os regulamenta. De maneira mais objetiva, são equipamentos que subsidiam tratamentos, suporte à vida e obtenção de dados para viabilizar diagnósticos.

O número de EEM presentes nos hospitais e demais instituições que prestam serviços na área de saúde é cada dia maior. Seu uso é intenso, seja em auxílio a diagnósticos ou em terapias, incluindo as intervenções cirúrgicas (Rebonatto, 2015). A Figura 10 mostra alguns equipamentos instalados no ambiente com o objetivo de monitorar, em tempo real, as condições do paciente ali internado.

Conforme o manual para regularização de equipamentos médicos da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) (ANVISA, 2021), os EEM são classificados em 4 classes de risco, conforme o risco associado à utilização deles.

- Classe I: baixo risco;
- Classe II: médio risco;
- Classe III: alto risco;
- Classe IV: máximo risco.

Figura 10 – UTI com alguns EEM.



Fonte: Portal Hospitais Brasil, 2022.

O que determina a classe de risco do equipamento é a sua finalidade indicada pelo fabricante, ou seja, qual a função que esse equipamento tem. São exemplos de EEM, além de diversos outros que são largamente utilizados em hospitais, clínicas e similares:

- Aparelho de raio-X;
- Aparelho de ressonância magnética;
- Aparelho de eletroencefalograma (EEG);
- Central de ar comprimido e O<sub>2</sub> medicinal;
- Desfibrilador;

- Eletrocardiógrafo (ECG);
- Lâmpadas cirúrgicas;
- Monitor multiparamétrico;
- Oxímetro;
- Respirador artificial;
- Tomógrafo computadorizado.

Com a necessária evolução de ambientes hospitalares, o uso destes dispositivos é imprescindível e o funcionamento adequado deles significa segurança, eficiência e qualidade em terapias e diagnósticos. É importante mencionar que a comercialização de um equipamento eletromédico no Brasil exige o registro do produto junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, que regulamenta a área (Marroni; Moraes, 2007).

Na sequência, serão apresentados, sucintamente, alguns importantes EEM e suas funções.

### **2.2.1 Monitor multiparamétrico**

Ferramenta essencial no cotidiano de médicos, enfermeiros e técnicos em enfermagem, o monitor multiparamétrico, também chamado de monitor de UTI, é um dispositivo que possui uma tela ou *display*, onde são informados diversos sinais vitais contínuos do paciente que está conectado a ele, por eletrodos ou outros tipos de sensores, tendo como principal função o monitoramento de parâmetros que são cruciais para saber o estado do paciente.

Ele possui funções diversas que podem ser ajustadas para cada situação e, uma delas, é emitir sinais sonoros para alertar caso ocorra algum evento que necessite de mais atenção, além de possuir ajuste para que o profissional escolha quais dados ele deve exibir. A Figura 11 mostra um tipo de monitor multiparamétrico.

Em geral, esses monitores de sinais vitais apresentam as seguintes informações:

- Pressão arterial (PA);
- Frequência cardíaca (FC);
- Temperatura corporal;
- Frequência respiratória (FR);
- Saturação de oxigênio (SpO<sub>2</sub>);
- Nível de gás carbônico.

Figura 11 – Monitor multiparamétrico.



Fonte: Prolife, 2021.

Antes do advento dos monitores multiparamétricos, cada sinal era captado individualmente e de forma instantânea.

### 2.2.2 *Eletrocardiógrafo*

O eletrocardiógrafo é um dispositivo eletroeletrônico através do qual é feito o exame de ECG (eletrocardiograma) e tem como função avaliar a atividade elétrica do coração. Ele pode ser visto em unidades de saúde, como UBS (Unidades Básicas de Saúde) e também em clínicas, hospitais e até em ambulâncias de suporte avançado. Através de eletrodos posicionados no tórax e nas extremidades dos braços e pernas do paciente, são detectados os impulsos elétricos do coração e esses dados são traduzidos em gráficos de linha, que podem ser impressos pela própria máquina.

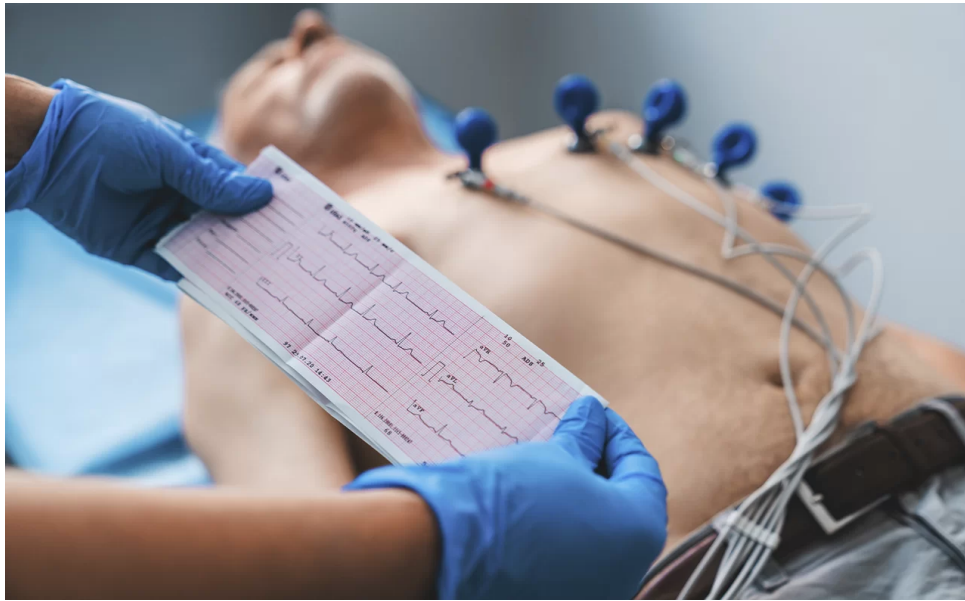
O exame realizado no eletrocardiógrafo pode detectar arritmia (irregularidades no ritmo de batimentos do coração), aumento das cavidades cardíacas, patologias coronarianas, infarto do miocárdio, distúrbios na condução elétrica do coração, problemas nas válvulas do coração, dentre outras anomalias. O resultado de um eletrocardiograma é exibido na Figura 12.

### 2.2.3 *Aparelho de raio-X*

É um equipamento que funciona gerando imagens do interior do corpo do paciente e possibilita a análise de ossos, órgãos e vasos sanguíneos. O resultado é popularmente conhecido como raio-X ou radiografia. O equipamento é mais utilizado na ortopedia, para verificação de fraturas em ossos e também é muito útil para a ortodontia, dentro da odontologia.

Através da emissão de radiação eletromagnética na forma de ondas que atravessam o corpo humano, há a captação por uma superfície sensível a ela, ou seja, que não pode ser ultrapassada pela radiação. A imagem é gerada, em tons de branco e cinza, conforme a quantidade

Figura 12 – Eletrocardiograma.



Fonte: Consultare - Centro Médico Acessível, 2022.

de radiação absorvida ou não pelo corpo. Atualmente, existem no mercado aparelhos do tipo convencional e digital. O primeiro fica fixo na sala de radiografia e utiliza um filme para gravar as imagens. Já o segundo permite a manipulação da imagem e a repetição dos exames, caso necessário. Na Figura 13 é possível ver um modelo de aparelho de raio-X instalado em uma instituição de saúde.

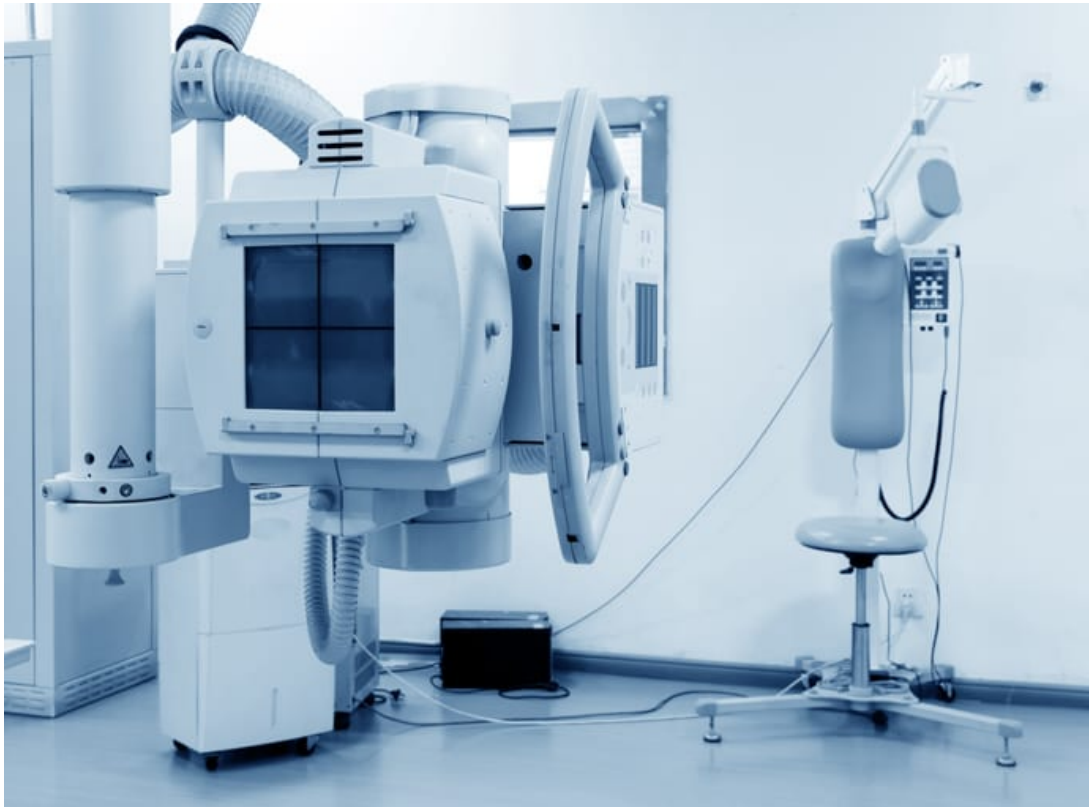
#### 2.2.4 Tomógrafo

Equipamento de alta tecnologia que é utilizado para exames de tomografia computadorizada (TC), que se trata de um exame por imagem que é feito através de raios-X e computadores para construir imagens detalhadas do interior do corpo. A TC é um dos exames mais utilizados na atualidade e serve, entre outras funções, para:

- Monitoramento de diversos tipos de cânceres;
- Detectar vários tipos de tumores;
- Identificar lesões ou fraturas de ossos;
- Detectar hemorragias;
- Detectar doenças como a hidrocefalia.

A TC possibilita a visualização tridimensional e em alta definição, que favorece o diagnóstico e proporciona um tratamento mais preciso em virtude da localização exata das patologias

Figura 13 – Aparelho de raio-X.



Fonte: Morsch Telemedicina, 2021.

(Maciel; Junior, 2016). Em alguns casos, o iodo é administrado ao paciente antes do exame para permitir a visualização mais detalhada de tecidos, vasos sanguíneos e outros. Um tomógrafo pode ser visto na Figura 14.

### **2.2.5 *Aparelho de ressonância magnética***

A ressonância magnética (RM) é um exame de grande precisão que fornece imagens de alta resolução, detalhando a anatomia do corpo inteiro, conferindo diagnóstico e acompanhamento de numerosas patologias. O equipamento responsável por realizar a ressonância magnética não possui um nome específico (Figura 15). Ele emite um campo magnético que alinha os prótons de hidrogênio do corpo; em seguida, um pulso de radiofrequência ocasiona o estímulo desses prótons. Quando o campo de radiofrequência é interrompido, os prótons se alinham novamente com o campo magnético. Com base na energia liberada no movimento e realinhamento dos prótons, os sensores do equipamento, interligados a softwares, geram imagens digitais.

Uma característica importante da RM é que as ondas utilizadas nesse exame são do tipo não ionizantes, ou seja, que não causam mutação em células. A mutação celular, que pode ocorrer no caso de uso intenso de ondas ionizantes, em casos mais extremos, tem a possibilidade de ocasionar aparecimento de tumores benignos e malignos.

Figura 14 – Tomógrafo.



Fonte: START - State Of The Art Radiology, 2024.

Figura 15 – Equipamento de ressonância magnética.



Fonte: Portal Dr. Carlos Costa Marques, 2018.

Figura 16 – Ventilador ou respirador mecânico.



Fonte: Medicina SA, 2020.

### 2.2.6 Ventilador mecânico

Também chamado de respirador mecânico, o ventilador mecânico é um equipamento que auxilia pacientes com insuficiência respiratória no processo de respiração. Ele faz o controle do ar que entra e sai dos pulmões e regula a mistura de gases no corpo, através do fornecimento de oxigênio ( $O_2$ ) e remoção de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Este equipamento é muito utilizado em UTIs, blocos cirúrgicos e em emergências médicas.

O ventilador mecânico (Figura 16) é um dos equipamentos mais importantes de um hospital, pois em casos de pacientes inconscientes, entubados, em estado de coma ou sob anestesia geral, ele substitui a respiração, sendo responsável por dar suporte à vida. Esses importantes EEM foram largamente utilizados durante a pandemia da COVID-19, devido ao grande número de pacientes que apresentaram insuficiência respiratória aguda como consequência da doença.

Dentre todos os equipamentos ora citados, pode-se apontar que o ventilador mecânico é um dos que apresentam mais importância nos cuidados ao paciente. Essa afirmação se apoia em que, em muitos casos, é desse equipamento que depende a vida de quem está conectado a ele.

Na seção seguinte, serão apresentados conceitos importantes quanto à qualidade de energia elétrica (QEE) e os efeitos que podem comprometer-la. Tais conceitos são importantes, considerando que o funcionamento adequado dos EEM é diretamente ligado a ela.

### 2.3 Qualidade de energia elétrica (QEE)

A qualidade de energia elétrica pode ser conceituada como o conjunto de atributos do fornecimento de energia elétrica que assegura a operação apropriada e eficaz de aparelhos elétricos e eletrônicos. A QEE analisa se a energia fornecida está em conformidade com os parâmetros técnicos, visando prevenir problemas que possam afetar o funcionamento de equipamentos ligados à rede elétrica. Tal conceito é imprescindível para este trabalho, considerando que a QEE é fundamental para o funcionamento adequado de EEM.

O termo qualidade da energia elétrica (QEE), que se tornou jargão no setor elétrico nas últimas décadas, tem sido usado, *lato sensu*, para expressar as mais variadas características da energia elétrica entregue pelas concessionárias aos consumidores (DECKMANN *et al.*, 2024).

Normas de qualidade de energia estabelecem os padrões e critérios que devem ser observados para garantir o fornecimento de energia elétrica com características apropriadas para o funcionamento de sistemas elétricos e aparelhos eletroeletrônicos. Tais normatizações definem limites para variações como tensão, frequência, distorções harmônicas, oscilações e interrupções de fornecimento.

Hoje em dia entende-se por energia elétrica de boa qualidade uma energia entregue de forma ininterrupta, com frequência estável, e com formas de ondas senoidais compatíveis com as instalações elétricas e sistemas elétricos de distribuição (Rodrigues, 2009).

No final do século XX houve a privatização de várias empresas de geração e distribuição de energia elétrica e o Brasil passou por uma reformulação do setor elétrico. Essa reformulação provocou o surgimento da preocupação quanto à QEE. Na época, permaneceram sob controle estatal algumas empresas de geração e transmissão. O interesse pela QEE acentuou-se com a implantação de um mercado consumidor no qual o produto comercializado passou a ser a própria energia elétrica (DECKMANN *et al.*, 2024).

A preocupação com a QEE demandava a criação de políticas públicas no tema da QEE, o que foi impulsionado em dezembro de 1996, quando a Lei n. 9427 instituiu, entre outras agências reguladoras, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem como objetivo regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal (Prado, 2006).

Durante esse período de reformulação, os padrões de QEE começaram a ser estruturados, e o primeiro marco disso foi a publicação da primeira edição módulo 8 dos "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional" (PRODIST), que trata sobre a qualidade do fornecimento de energia elétrica, tomando como base a qualidade do produto, a

qualidade do serviço e a qualidade do trabalho. Atualmente, tal documento teve sua última atualização em dezembro de 2021, através da Resolução Normativa ANEEL n. 956. Esse importante documento é a principal normativa para QEE no país. A Figura 17 ilustra os principais fatores analisados pelo PRODIST.

Figura 17 – Pontos tratados pelo PRODIST.



Fonte: Energês, 2021.

O PRODIST é aplicado a consumidores, centrais geradoras, distribuidoras, agentes importadores ou exportadores, transmissoras detentoras de Demais Instalações de Transmissão (DIT) e ao Operador Nacional do Sistema (ONS).

Na seção seguinte, será abordado o equipamento que realiza a análise de QEE, também conhecido como qualímetro.

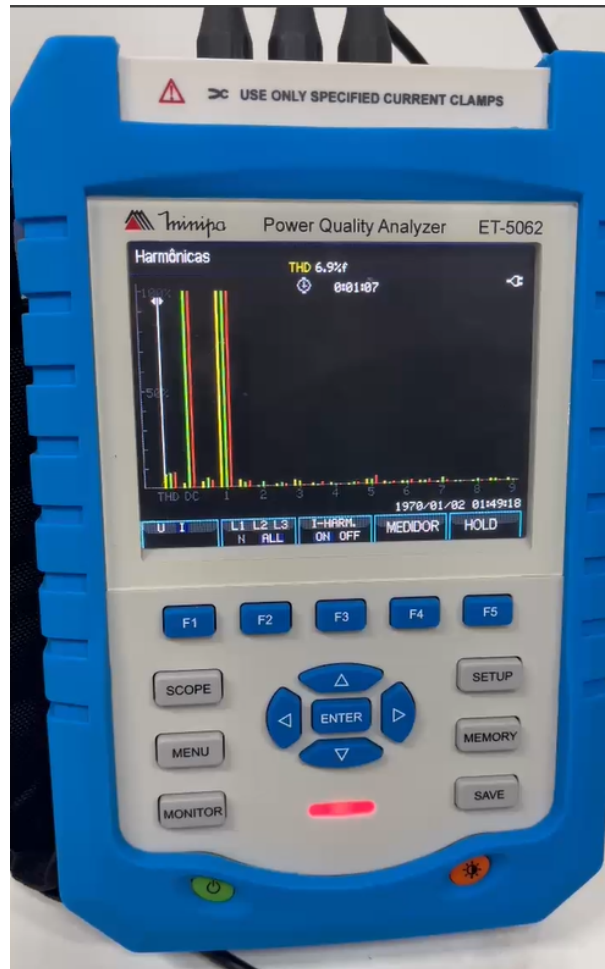
### 2.3.1 Qualímetro

O analisador de qualidade de energia elétrica, também chamado de qualímetro, é uma ferramenta que pode medir e registrar diversos parâmetros da rede elétrica, além de identificar fenômenos que certificam a QEE, apresentando informações pertinentes para mensurar a QEE do sistema analisado.

Essa ferramenta pode ser um importante aliado na indústria quando usada para analisar o mau funcionamento de sistemas elétricos diversos, podendo evitar, através do diagnóstico e intervenções nas instalações a fim de corrigir inadequações, sobrecargas e outros fenômenos que contribuem para a abreviação da vida útil de maquinários e componentes elétricos, perda de eficiência e outros problemas.

O modelo ET-5062, fabricado pela Minipa, disponível no Campus, é um dos instrumentos desse tipo disponíveis no mercado.

Figura 18 – Qualímetro Minipa ET-5062.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O modelo citado pode, entre outras funções, apresentar análise harmônica de tensões e correntes até a 49ª ordem, surtos e quedas de tensão, *flicker* de tensões de entrada, desbalanceamento, medições de corrente de partida de motores (corrente de *Inrush*) e análise de transientes.

A Figura 18 foi capturada pelo autor durante o contato para testes e aprimoramento de conhecimentos com o qualímetro e exibe a FFT do sinal da rede elétrica da sala de convivência do *Campus*, após inserção proposital de distorção harmônica na rede através do acionamento de um forno micro-ondas utilizado no ambiente para aquecer alimentos. Os conceitos de FFT e de distorções harmônicas serão ainda abordados neste capítulo.

Nas seções seguintes, serão apresentados os principais aspectos para a análise da QEE, conforme o PRODIST Módulo 8 (ANEEL, 2022).

### 2.3.2 Tensão em regime permanente

A tensão elétrica fornecida precisa estar dentro de uma faixa tolerável para que os equipamentos operem corretamente. Variações drásticas podem resultar em falhas e prejuízos. A

conformidade de tensão em regime permanente refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição apropriada, no ponto de conexão, em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários ou críticos (ANEEL, 2022).

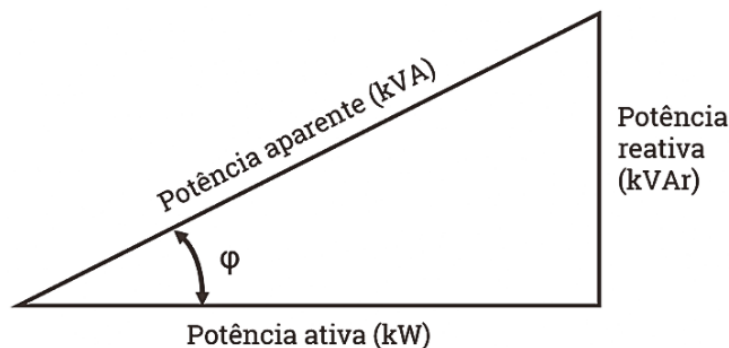
A tensão em regime permanente deve ser acompanhada em todo o sistema de distribuição, devendo a distribuidora dotar-se de recursos e técnicas atuais para tal acompanhamento, atuando de forma preventiva para que a tensão em regime permanente se mantenha dentro dos padrões adequados (ANEEL, 2022).

### 2.3.3 Fator de potência (FP)

O FP um número adimensional, representado pela relação entre a componente ativa medida em kW (ou seus múltiplos e submúltiplos) e a potência aparente ou potência total da carga, em kVA (ou seus múltiplos e submúltiplos) (Mamede, 2007).

$$F_p = \frac{P_{at}}{P_{ap}} \quad (2.1)$$

Figura 19 – Triângulo das potências.



Fonte: Luterled, 2023.

O FP também pode ser definido como o cosseno do ângulo formado entre o componente da potência ativa e o seu componente total, quando a potência que flui no sistema é resultante de cargas lineares (Mamede, 2007).

$$F_p = \cos \varphi \quad (2.2)$$

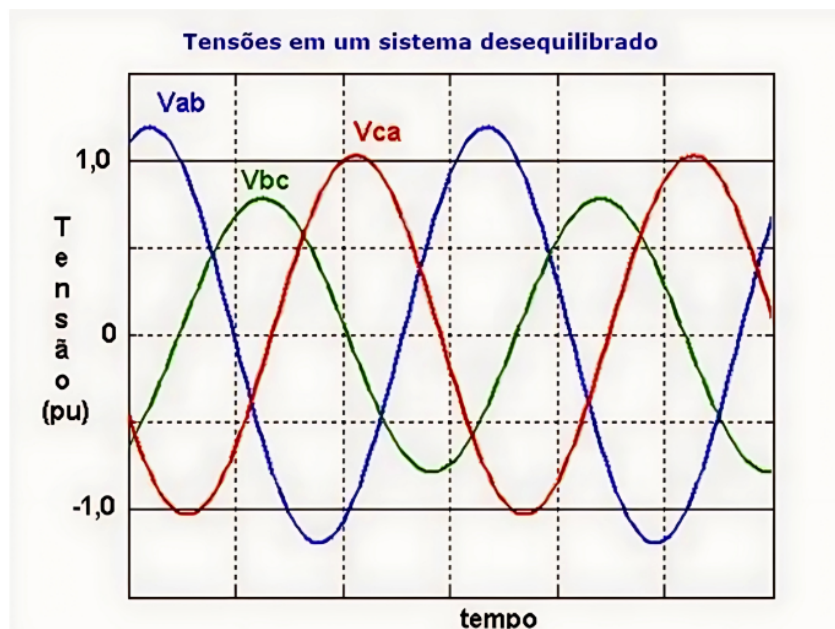
Existem outras formas de calcular o FP, porém, não serão abordadas aqui. De maneira simplificada, pode-se afirmar que o FP é usado para saber quanto da corrente empregada em determinado equipamento ou circuito está sendo utilizada e convertida em potência. Quanto maior o FP, maior a eficiência energética e o aproveitamento da corrente elétrica e, por analogia,

quanto menor o FP, menor o rendimento do sistema analisado. A Figura 19 mostra o conhecido triângulo das potências, onde é possível visualizar as 3 potências existentes e o ângulo  $\varphi$ .

### 2.3.4 Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio em um sistema elétrico trifásico é uma condição na qual as três fases apresentam diferentes valores de tensão em módulo ou defasagem angular entre fases diferentes de 120 elétricos ou, ainda, as duas condições simultaneamente. O desequilíbrio de tensão também é muitas vezes definido como o desvio máximo dos valores médios das tensões ou das correntes trifásicas, dividido pela média dos mesmos valores, expresso em porcentagem (Paulillo, 2013).

Figura 20 – Exemplo de desequilíbrio de tensão.



Fonte: UFPR, acessado em 20 jan. 2025.

Na Figura 20 pode-se visualizar que a condição apresentada é o desequilíbrio dos valores de tensão em módulo, onde observa-se as diferentes amplitudes das fases apresentadas. A título de informação, o desequilíbrio de tensão em uma rede pode levar, entre outras consequências, às listadas a seguir:

- Aumento de perdas na rede;
- Aumento de vibrações e tensões mecânicas em máquinas elétricas;
- Aumento da carga térmica;
- Sobreaquecimento de motores;

- Redução de eficiência de motores;
- Falhas prematuras em máquinas.

### 2.3.5 *Distorção harmônica*

Antes da exposição propriamente dita sobre a distorção harmônica, o conceito da Transformada Rápida de Fourier (FFT) é de relevância para a compreensão do tema, e será apresentado na sequência.

#### 2.3.5.1 *Transformada Rápida de Fourier (FFT)*

A Transformada Rápida de Fourier, do inglês *Fast Fourier Transform* (FFT), é um método derivado da Série de Fourier que visa converter um sinal periódico em componentes espectrais individuais, fornecendo a descrição dele no domínio da frequência, ou seja, é uma ferramenta matemática que realiza a transição entre as variáveis tempo e frequência de sinais (Gonçalves, 2004). A aplicação de tal método é muito importante para analisar falhas, funcionamento e monitoramento de equipamentos e redes diversas, incluindo as distorções harmônicas de um sinal periódico qualquer.

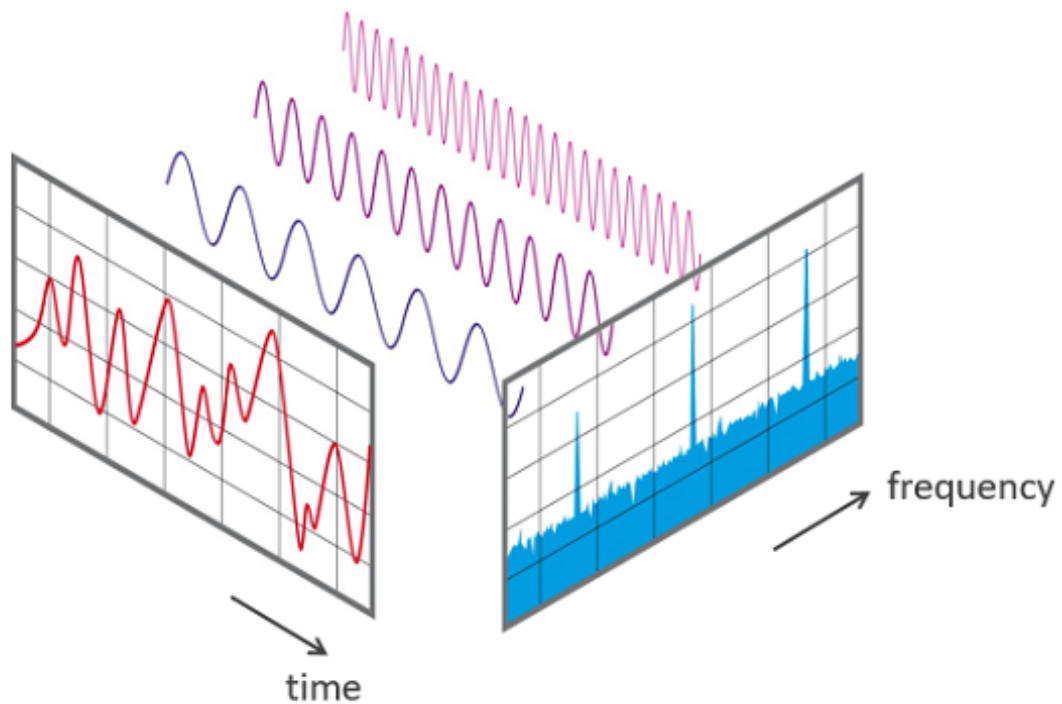
A FFT é um algoritmo otimizado que implementa a Transformada Discreta de Fourier, amostrando um sinal durante um período de tempo e o dividindo em componentes de frequência, que são oscilações sinusoidais (formas de onda que têm uma equação na qual uma variável é proporcional ao seno de outra) únicas em diferentes frequências, cada uma com sua própria amplitude e fase. A Figura 21 mostra, didaticamente, a transformação na prática, onde um sinal possui 3 frequências dominantes e distintas.

Duas regras permeiam a aplicação da FFT: ela é adequada apenas para sinais periódicos, que são descritos por uma função  $f$ , que é dita periódica se existe um número real positivo  $P$ , chamado período de  $f$ , para todo  $x$  no domínio de  $f$  (Santos, 2004), o que pode ser mostrado na equação abaixo.

$$f(x) = f(x + P) \quad (2.3)$$

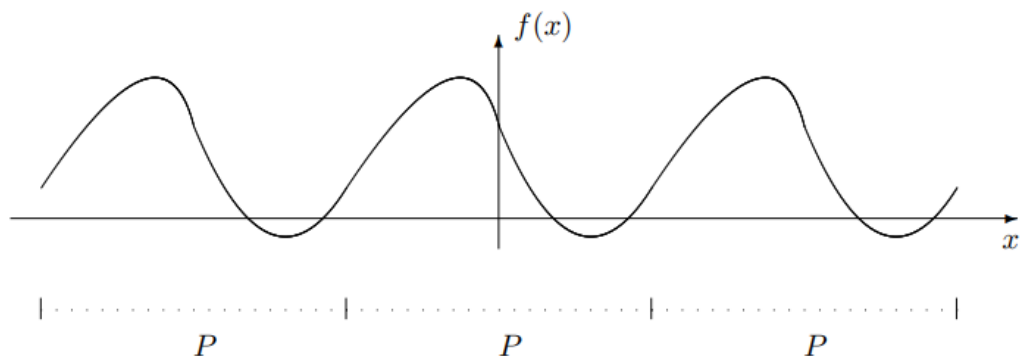
Um sinal periódico é apresentado na Figura 22, que exhibe a repetição de qualquer intervalo de comprimento  $P$ .

Figura 21 – Transformada Rápida de Fourier.



Fonte: NTI Áudio, acessado em 10 fev. 2025.

Figura 22 – Gráfico de uma função periódica.



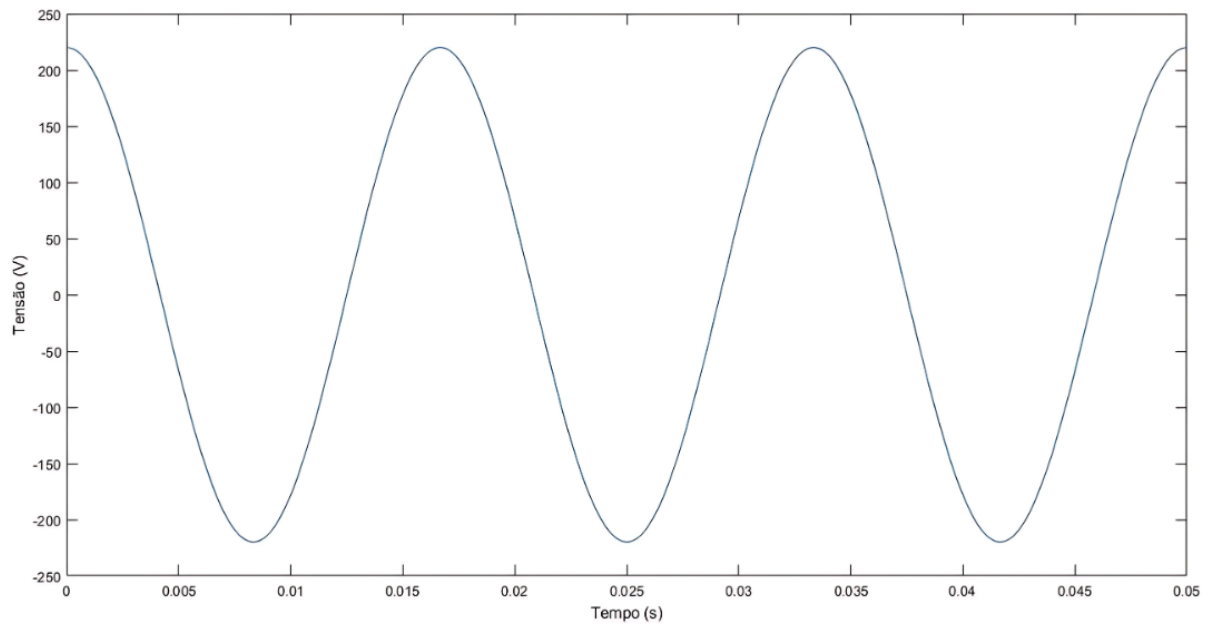
Fonte: (Santos, 2004).

A outra regra é que o segmento do sinal amostrado deve conter um número inteiro de períodos. Quando essa segunda condição não é obedecida, o espectro FFT resultante é chamado de FFT manchado ou "vazamento". Essa condição não será apresentada por não ser relevante para os estudos apresentados neste capítulo.

Partindo agora para a distorção harmônica, pode-se dizer que é um fenômeno associado à deformação nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental (ANEEL, 2022). Para entender melhor o conceito, tem-se as Figuras 23 e 24. Na

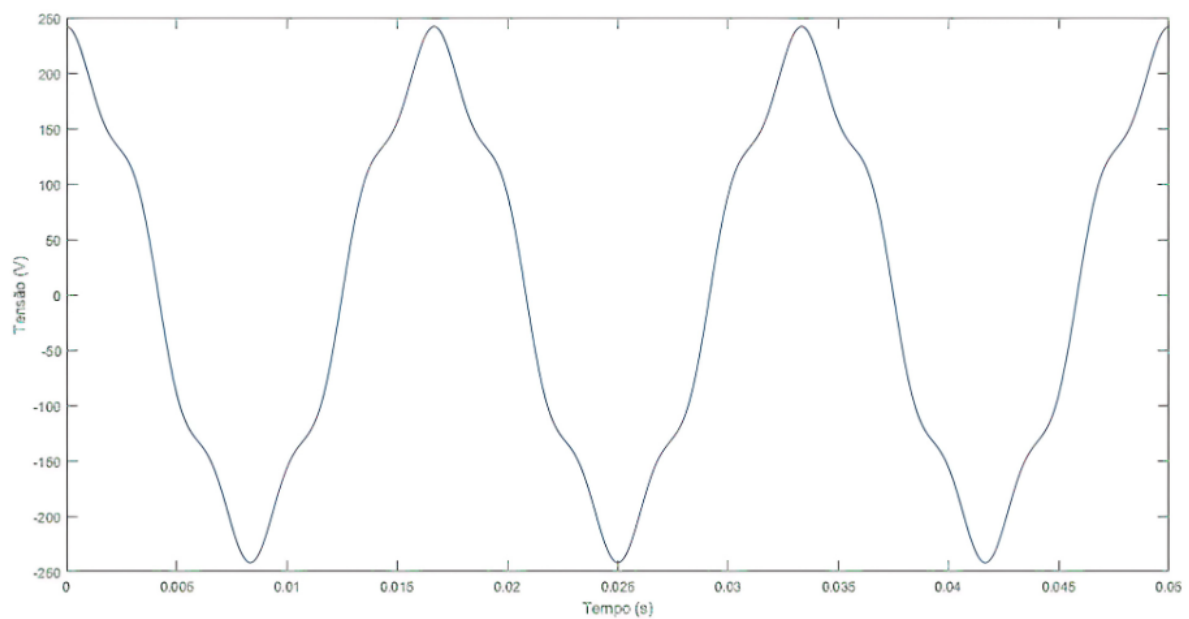
primeira, é mostrado um sinal de tensão com frequência fundamental de 60 Hz e amplitude de 220 V e, na segunda, pode-se visualizar a mesma onda, agora apresentando a frequência fundamental distorcida, através da soma à primeira de uma onda de tensão com frequência de 300 Hz e amplitude de 22 V.

Figura 23 – Onda senoidal de tensão da frequência fundamental.



Fonte: (Rezende, 2018).

Figura 24 – Onda de tensão distorcida.

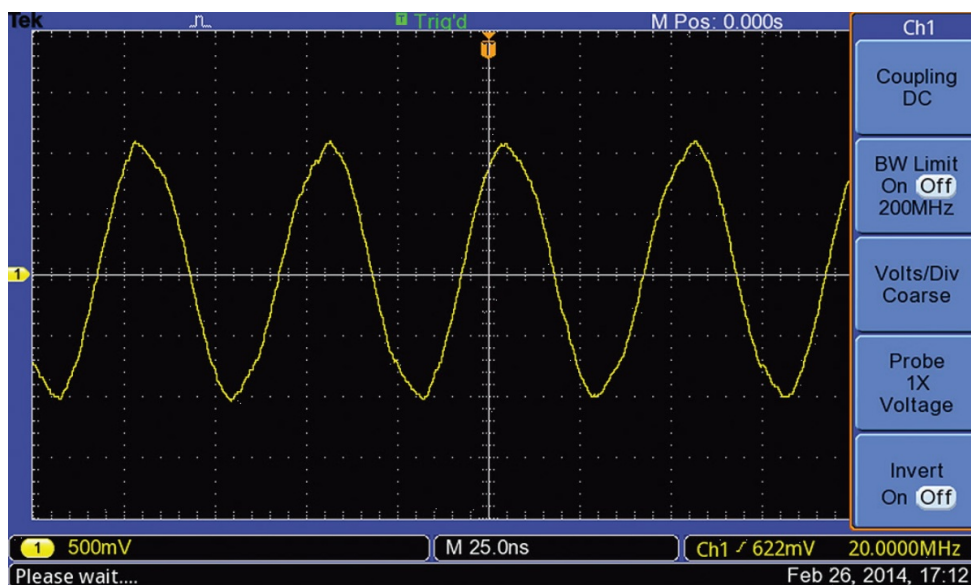


Fonte: (Rezende, 2018).

O sinal mostrado na Figura 24 exhibe o que ocorre com a onda de tensão da frequência fundamental na presença de harmônicos, o que pode ser prejudicial para a QEE de uma instalação (Rezende, 2018).

A melhor avaliação e visualização da distorção harmônica pode ser feita através da aplicação da FFT, que já teve seus conceitos básicos apresentados neste capítulo. Alguns equipamentos possuem a função de exibição da FFT para um sinal, podendo-se citar alguns tipos de osciloscópios. Para melhor compreensão das componentes em frequência de um sinal, a Figura 25 apresenta um sinal qualquer medido por um osciloscópio.

Figura 25 – Sinal no domínio do tempo.



Fonte: Tektronix, acessado em 01 mai. 2025.

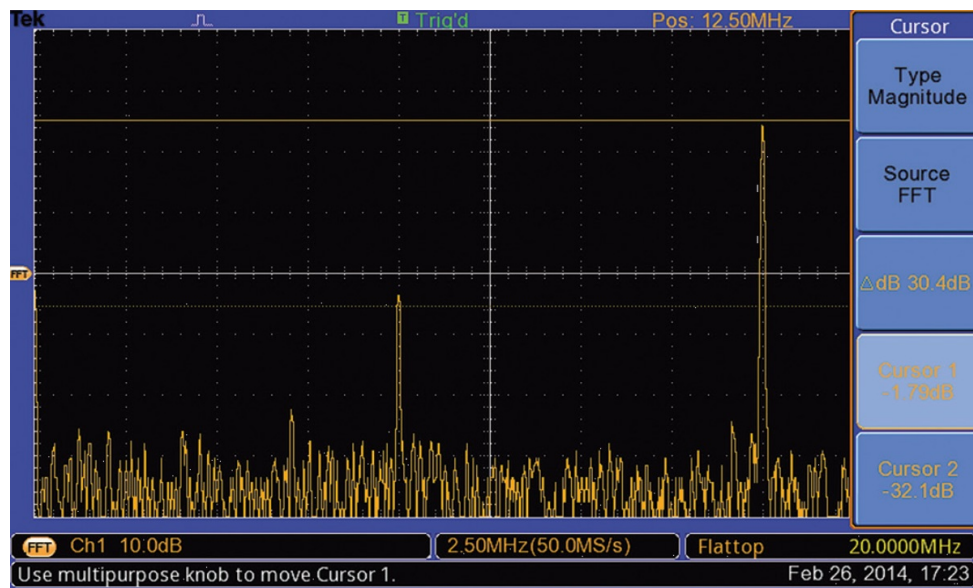
Ao acionar a função de FFT do osciloscópio, é apresentado o que aparece na Figura 26.

Embora o sinal apresentado na Figura 25 permita ignorar as pequenas diferenças nos picos de cada ciclo da forma de onda, podemos deduzir que a irregularidade nesses picos indica a presença de componentes harmônicas. Analogamente ao que foi estudado nesta seção, em um sinal de um sistema elétrico, tais componentes, divergentes da frequência fundamental do sinal, seriam exatamente o que chamamos de distorções harmônicas. A Figura 18 mostra, de maneira análoga ao que foi apresentado pelo osciloscópio, as componentes harmônicas de um sinal trifásico, neste caso, utilizando um qualímetro.

Muitos são os causadores de distorções harmônicas em sistemas elétricos. Segundo (Rodrigues, 2009), com a modernização dos processos industriais e o crescimento na utilização da Eletrônica de Potência, vem-se observando um aumento significativo nos distúrbios gerados na rede de energia.

A introdução de diversos processadores eletrônicos de energia elétrica, como fontes chaveadas, controladores de velocidade de máquinas elétricas, equipamentos de solda e demais

Figura 26 – FFT do sinal da Figura 25.



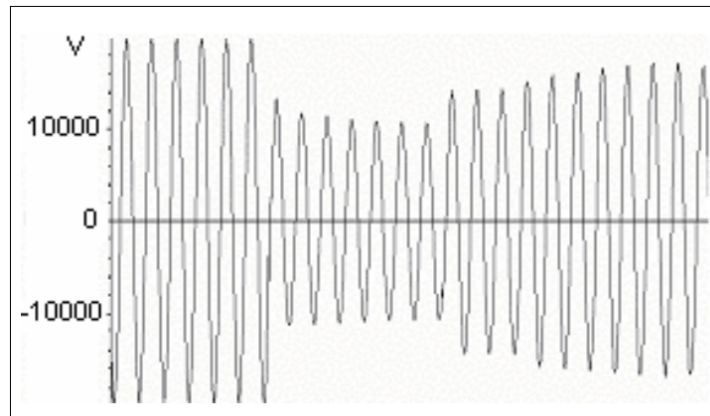
Fonte: Tektronix, acessado em 01 mai. 2025.

conversores estáticos de potência, apresentando-se como cargas não-lineares, em conjunto com uma grande quantidade de dispositivos presentes nos setores comercial e residencial (computadores pessoais, instrumentação eletrônica, dispositivos de entretenimento, reatores eletrônicos de reduzido fator de potência para iluminação, dentre outros e até equipamentos e dispositivos domésticos comuns ao dia a dia da população, como forno micro-ondas, como já pôde ser verificado neste capítulo com o uso do qualímetro e lâmpadas de LED), tem causado um aumento significativo no nível de distorção harmônica de correntes e tensões nas redes de distribuição de energia elétrica.

### 2.3.6 Afundamento de tensão

Uma perturbação importante que pode ocorrer em uma rede elétrica é o afundamento de tensão, ou *voltage sag*. Ele pode ser conceituado como uma redução temporária na magnitude da tensão elétrica, podendo variar entre 10 e 90%, durando de alguns milissegundos até cerca de 1 minuto. Suas principais causas estão atreladas à partida de motores, curto-circuitos, grandes cargas ligadas subitamente ou defeitos na rede elétrica, e podem ter origem externa, quando causados por equipamentos ou condições que não envolvem a instalação elétrica do local onde a perturbação ocorreu, ou interna, quando o causador dela está na própria instalação elétrica interna. A Figura 27 exhibe a forma de onda durante um afundamento de tensão.

Figura 27 – Forma de onda durante um afundamento de tensão.



Fonte: Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica, acessado em 20 mai. 2025.

Um conceito importante atrelado ao afundamento de tensão é a tensão remanescente, que nada mais é do que a tensão que permanece após o evento da queda de tensão. Os efeitos mais importantes relativos ao afundamento de tensão são falhas gerais em equipamentos, perda de dados em dispositivos que contêm apenas memória volátil e abreviação do fim da vida útil de dispositivos e equipamentos em geral.

### 2.3.7 Flutuações de tensão

Julga-se como necessária, previamente ao entendimento sobre as flutuações de tensão, uma breve abordagem sobre o sistema pu (valor por unidade).

#### 2.3.7.1 Sistema pu

A convenção da apresentação de valores em pu, ou por unidade, pode ser utilizada em qualquer ramo da ciência. Falando especificamente sobre seu uso na Engenharia Elétrica, o uso da representação do sistema elétrico em pu possibilita a simplificação da modelagem, da resolução de problemas e da comparação de resultados, onde grandezas são normalizadas em relação a um valor base.

Pode-se encontrar convencionalmente especificações e dados de placas de equipamentos elétricos (geradores, transformadores e outros) com valores em pu.

Visando expressar uma grandeza em pu, primariamente, é necessário definir o valor de base de tal grandeza. Dessa forma, a definição do valor por unidade (pu) é tida como a relação entre o valor real na unidade da grandeza e o seu valor base, logo:

$$\text{Valor pu} = \frac{\text{Valor em unidade da grandeza}}{\text{Valor base}} \quad (2.4)$$

Uma grandeza em pu pode ser escrita de forma percentual:

$$\text{Valor percentual} = \text{Valor pu} \times 100 \quad (2.5)$$

Em sistemas elétricos, a ideia é proceder à mudança de unidade das grandezas fundamentais, que são tensão, corrente, potências, impedância e admitância, que passam a ser expressas em pu.

Na mudança para pu, é necessário definir duas grandezas como bases. Estas grandezas definirão as outras grandezas de base. Em sistemas monofásicos, é usual eleger a tensão de base  $V_b$  (V) e uma potência de base  $S_b$  (VA), sendo elas tensão fase-neutro e potência aparente monofásica, respectivamente.

Conforme as leis básicas da elétrica, podemos encontrar a corrente, impedância e admitância base.

- Corrente base [A]:

$$I_b = \frac{S_b}{V_b} \quad (2.6)$$

- Impedância base [ $\Omega$ ]:

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} \quad (2.7)$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} \quad (2.8)$$

- Admitância base [S]:

$$Y_b = \frac{S_b}{V_b^2} \quad (2.9)$$

Agora é possível escrever as grandezas na forma pu:

$$V_{pu} = \frac{V}{V_b} \quad (2.10)$$

$$I_{pu} = \frac{I}{I_b} \quad (2.11)$$

$$S_{pu} = \frac{S}{S_b} \quad (2.12)$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} \quad (2.13)$$

$$Y_{pu} = \frac{Y}{Y_b} \quad (2.14)$$

Já para os sistemas trifásicos, considera-se:

- $V_b$  (tensão base) como tensão de linha (tensão fase-fase);
- $S_b$  (potência base) como total trifásica.

Analogamente ao que foi feito nos sistemas monofásicos, calcula-se a corrente, a impedância base e a admitância de base:

- Corrente base [A]:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot V_b} \quad (2.15)$$

- Impedância base [ $\Omega$ ]:

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} \quad (2.16)$$

- Admitância base [S]:

$$Y_b = \frac{S_b}{V_b^2} \quad (2.17)$$

A impedância por unidade ( $Z_{pu}$ ) é dada por:

$$Z_{pu} = \frac{Z_{\Omega}}{Z_b} \quad Z_{pu} = \frac{Z_{\Omega} \cdot S_b}{V_b^2} \quad (2.18)$$

Em alguns casos, a impedância em pu de um equipamento do sistema elétrico é expressa em uma base diferente da parte do sistema na qual ele está localizado. Entretanto, nos cálculos, todas as impedâncias devem ser expressas na mesma base e, por isso, torna-se necessário realizar a conversão de impedâncias em pu de uma base para outra, processo comumente chamado de mudança de base.

Supondo uma impedância informada  $Z_{pudada}$  na base  $V_{bdada}$ ,  $S_{bdada}$ , necessitando de conversão para  $Z_{punova}$ , na nova base  $V_{bnova}$  e  $S_{bnova}$ . Sabendo que  $Z_{pu} = \frac{Z_{\Omega}}{Z_b}$ , tem-se:

$$Z_{pudada} = Z_{\Omega} \cdot \frac{S_{bdada}}{V_{bdada}^2} \quad (2.19)$$

$$Z_{punova} = Z_{\Omega} \cdot \frac{S_{bnova}}{V_{bnova}^2} \quad (2.20)$$

A partir de  $Z_{pudada}$  é possível obter  $Z_{\Omega}$  e, na sequência, converter  $Z_{\Omega}$  para  $Z_{punova}$ . Ou ainda,  $Z_{punova}$  pode ser calculada dividindo a equação 2.20 pela 2.19.

$$Z_{punova} = Z_{pudada} \left( \frac{V_{bdada}}{V_{bnova}} \right)^2 \cdot \frac{S_{bnova}}{S_{bdada}} \quad (2.21)$$

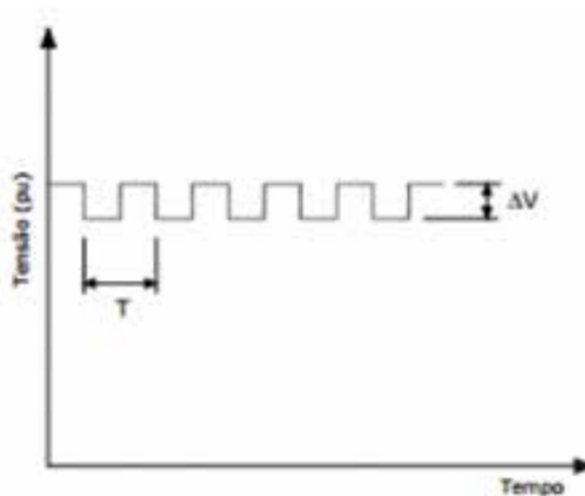
Após a exposição relativa ao sistema pu, pode-se apresentar o conceito das flutuações de tensão, um dos fenômenos que comprometem a QEE.

As flutuações de tensão representam alterações sistemáticas dos valores de tensão eficazes, ou uma sequência de alterações aleatórias, cujas magnitudes são geralmente desconhecidas, que não ultrapassam limites de valores definidos previamente. Estas variações, recorrentes, ocasionais ou aleatórias, geralmente são desencadeadas por mudanças rápidas em suas potências ativas e reativas, semelhantes a fornos a arco.

A Norma IEC 60555-3 define quatro tipos distintos de flutuação de tensão de forma a facilitar a aplicação de métodos de análise e de ensaios de conformidade em equipamentos elétricos (Paulillo; Teixeira, 2013). A seguir, serão apresentados, sucintamente, esses tipos, salientando que os sinais apresentados estão com suas tensões em sistema pu.

- **Tipo A:** mostrado na Figura 28, representa uma série repetitiva de variações retangulares em torno de um nível de tensão de referência. Esta flutuação apresenta um padrão (retangular) bem definido, tendo como variáveis importantes a amplitude e a frequência (Paulillo; Teixeira, 2013).

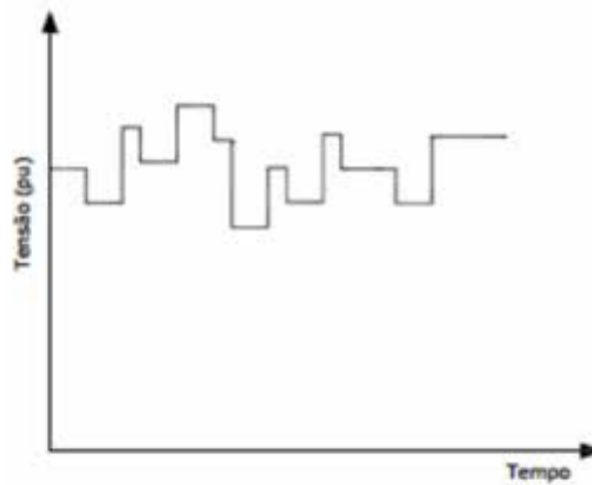
Figura 28 – Flutuação de tensão tipo A.



Fonte: (Paulillo; Teixeira, 2013), acessado em 20 jan. 2025.

- **Tipo B:** pode ser visto na Figura 29. É resultado da composição de uma série irregular de variações bruscas, não apresentando um período ou ciclo definido. Este tipo pode representar sucessivos degraus de tensão, crescentes ou decrescentes, caracterizada pela entrada ou saída de cargas que operam por etapas, tais como elevadores, laminadores, prensas, etc. (Paulillo; Teixeira, 2013).

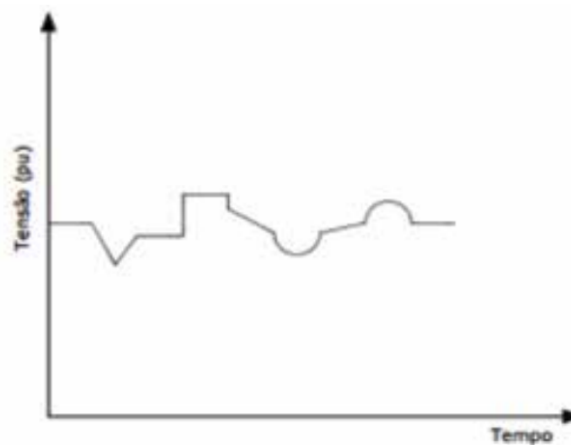
Figura 29 – Flutuação de tensão tipo B.



Fonte: (Paulillo; Teixeira, 2013), acessado em 20 jan. 2025.

- **Tipo C:** exibido na Figura 30. É resultado da composição de uma série irregular de formas diversas, as quais podem ser por degraus (retangular), em rampa (triangular) ou oscilatórias (senoidais) (Paulillo; Teixeira, 2013).

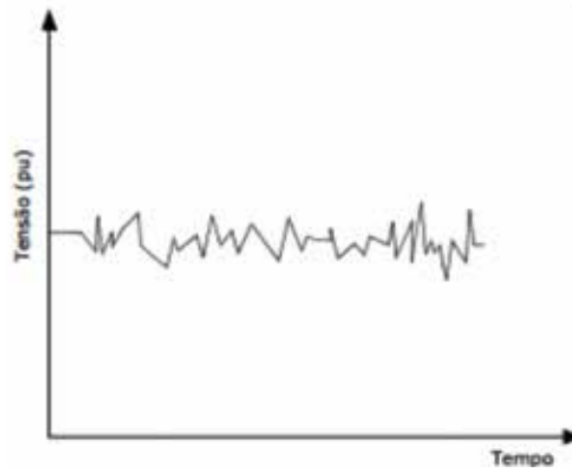
Figura 30 – Flutuação de tensão tipo C.



Fonte: (Paulillo; Teixeira, 2013), acessado em 20 jan. 2025.

- **Tipo D:** pode ser visualizado na Figura 31. É composto por variações contínuas e aleatórias, em geral provocadas por cargas com operação intermitentes, tais como fornos a arco elétrico. Em função da potência das cargas, esta pode se propagar pelo sistema de transmissão e distribuição.

Figura 31 – Flutuação de tensão tipo D.



Fonte: (Paulillo; Teixeira, 2013), acessado em 20 jan. 2025.

Os principais efeitos das flutuações de tensão no sistema elétrico são oscilações de potência e torque em máquinas elétricas, queda de rendimento de equipamentos, interferência em sistemas de proteção, efeito "flicker" e cintilação luminosa (Paulillo, 2013); esses dois últimos são fenômenos relacionados à variação da intensidade luminosa de um ambiente ou estrutura.

### 2.3.8 *Variação de frequência*

O termo variação de frequência, também chamado de desvio de frequência, é usado quando há, diferentemente das distorções harmônicas, ruídos no sinal da própria frequência fundamental do sistema, que está associada à velocidade de rotação dos geradores que suprem o sistema. Pequenas variações, tanto no aumento quanto na redução da frequência, podem ser observadas como resultado do balanço dinâmico entre carga e geração no caso de alguma alteração (variações na faixa de  $60 \pm 0,5$  Hz).

Quanto à redução ou aumento da frequência fundamental, relativas à geração, as causas são a geração insuficiente no primeiro caso e o excesso de geração no segundo.

Variações de frequência que ultrapassam os limites para operação normal em regime permanente podem ser causadas por faltas em sistemas de transmissão, saída de um grande bloco de carga ou pela saída de operação de uma grande fonte de geração (Paulillo, 2013).

### 2.3.9 *Incompatibilidade eletromagnética (EMI)*

Um dos principais fatores causadores de funcionamento inadequado de equipamentos elétricos diversos, inclusive os EEM, é a incompatibilidade eletromagnética (EMI). A compatibilidade magnética, que é exatamente o inverso do que está sendo abordado, é a habilidade de um receptor funcionar satisfatoriamente no seu meio eletromagnético, sem que o mesmo introduza

distúrbios eletromagnéticos intoleráveis para si ou para qualquer outro sistema, equipamento, dispositivo ou seres vivos (Xavier; Belardi, 2005) e, analogamente, a EMI é a perda da funcionalidade de um equipamento em razão da sua suscetibilidade (ou falta de imunidade) à energia eletromagnética proveniente do ambiente onde ele opera (Junior *et al.*, 2006).

A interação eletromagnética entre equipamentos é realizada através de um processo de geração, transmissão e recepção de energia eletromagnética (Junior *et al.*, 2006), sendo a geração feita por um emissor, a transmissão por um caminho de acoplamento e a recepção, logicamente, por um receptor, como pode ser mostrado na Figura 32.

Figura 32 – Interação eletromagnética entre equipamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A “coabitação” de equipamentos de tecnologias modernas, que emitem energias eletromagnéticas, com instalações elétricas projetadas há 20 ou 30 anos, quando arquitetos e engenheiros eletricitistas não podiam prever os efeitos de IEM, cria atualmente o problema de tornar eletromagneticamente compatível, esses equipamentos com o ambiente onde são instalados (Zevzikovas, 2004).

As fontes eletromagnéticas mais comuns podem ser vistas na Tabela 1, que foi elaborada pelo autor.

Pode-se inferir que as fontes naturais são imponderáveis quanto à previsão plena do momento de seu acontecimento, sendo causadas por questões concernentes à natureza, como diz o próprio nome. Porém, logicamente, a correta utilização da engenharia, obedecendo às normas vigentes e às boas práticas de instalações elétricas, principalmente em relação ao sistema de aterramento, poderá mitigar os efeitos por elas causados.

Quanto às fontes artificiais, devido ao avanço tecnológico evidente, o uso de dispositivos remotos cada vez em maior crescimento leva à dedução de que cada vez mais os espaços são ocupados por diversos sinais eletromagnéticos de diferentes fontes e destinados a diversos receptores. São telefones celulares, redes wi-fi, sistemas de comunicação diversos, sistemas de radar, entre outros diversos que podem ser citados. Tal maior incidência de sinais eletromagnéticos torna cada vez mais importante o estudo acerca da EMI, principalmente os efeitos que tal fenômeno pode causar no funcionamento dos mais diversos tipos de equipamentos eletroeletrônicos.

Tabela 1 – Fontes eletromagnéticas mais comuns

<b>FONTES ELETROMAGNÉTICAS</b>		
<b>Fontes naturais</b>	<b>Fontes artificiais</b>	
Descargas atmosféricas	Enlaces digitais	Sistemas de telecomunicações
Descargas eletrostáticas	Estações rádio-base (ERB)	Sistemas de telemetria
Explosões solares	Emissoras de rádio AM/FM	Emissoras de TV (UHF/VHF)
Ruído cósmico	Sistemas de comunicação móvel	Smartphones
Ruídos de gás	Sistemas de radar	EEM
	Arcos elétricos	Lâmpadas
	Chaveamentos	Linhas de transmissão
	Computadores e periféricos	Máquinas industriais
	Eletrodomésticos	Motores elétricos
	Geradores elétricos	

O campo da Interferência Eletromagnética (IEM) e da Compatibilidade Eletromagnética (CEM) está ganhando importância com o avanço da tecnologia e a proliferação de um parque de equipamentos eletrônicos que emitem radiações eletromagnéticas muitas vezes não conhecidas, coabitando com outros muito susceptíveis (Zevzikovas, 2004).

A seguir serão listadas as normas vigentes referentes às instalações elétricas em EAS, que constituem relevante importância para a obtenção da QEE desejada para o funcionamento adequado de EEM.

## **2.4 Normas aplicadas a EAS**

As normas técnicas são essenciais para a padronização e regulamentação de diferentes processos em um país, sendo utilizadas como balizadores para as boas práticas e segurança em diversos setores e áreas de atuação.

No âmbito da engenharia elétrica, como esperado, há normas que regulamentam as atividades dos profissionais envolvidos na área, tanto em relação à segurança quanto à padronização de diversos procedimentos, instalações e operações diversas. As normas mais importantes para o tema deste trabalho serão apresentadas nesta seção.

### **2.4.1 Norma Regulamentadora 10 (NR-10)**

O Brasil possui normas regulamentadoras, conhecidas como NR, pertencentes ao Ministério do Trabalho e Emprego, e nelas estão contidos um conjunto de diretrizes que visam prevenir acidentes e doenças no ambiente laboral, sendo complementares à Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

A NR que se aplica aos trabalhos de segurança em instalações e serviços elétricos é a NR-10. Ela apresenta um conjunto abrangente de regulamentos que visam proteger a integridade dos trabalhadores envolvidos em atividades elétricas, desde a operação até a manutenção de sistemas elétricos. Esta norma abarca aspectos que vão desde o treinamento e capacitação de profissionais até a definição de procedimentos seguros para lidar com instalações elétricas (Gusmão, 2023).

A NR-10 preconiza a observância das normas técnicas oficiais estabelecidas por órgãos competentes e, caso ausentes ou omissas, das normas internacionais relacionadas. É importante citar a NR-10 porque ela normatiza as questões relativas aos trabalhos realizados na área de elétrica e é evidente que a segurança e a integridade física dos profissionais em atuação em todas as áreas são imprescindíveis.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é o órgão responsável por estabelecer normas técnicas, que são documentos técnicos, como o próprio nome diz, que definem padrões e diretrizes para produtos, processos e serviços no país. Tais normas são denominadas NBR e recebem números para identificá-las. Embora não tenham força de lei, elas podem ser usadas como exigência em vários processos e produções, inclusive em trabalhos acadêmicos, como este.

A norma técnica destinada a instalações elétricas classificadas como de baixa tensão é a NBR 5410 e ela estará presente a seguir.

### **2.4.2 Norma técnica NBR 5410**

A NBR 5410, como já citada, é a norma técnica oficial nacional aplicada a instalações elétricas de baixa tensão, e ela estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens (ABNT, 2004).

A NBR 5410 é aplicada (Melo, 2019):

- Aos circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1500 V em corrente contínua;
- Aos circuitos elétricos, que não os internos aos equipamentos, funcionando sob uma tensão superior a 1000 V e alimentados através de uma instalação de tensão igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada (por exemplo, circuitos de lâmpadas a descarga, precipitadores eletrostáticos etc.);
- A toda fiação e a toda linha elétrica que não sejam cobertas pelas normas relativas aos equipamentos de utilização;
- As linhas elétricas fixas de sinal (com exceção dos circuitos internos dos equipamentos).

Até na década de 90, devido ao enquadramento das instalações elétricas dos EAS em sistemas de baixa tensão, a NBR 5410 era utilizada como referência para projetos e construção de tais instalações nesses ambientes. Entretanto, com o passar do tempo, verificou-se a demanda de criar normas dedicadas às áreas ligadas à saúde. E em 1995, foi criada a norma NBR 13.534, denominada "Instalações Elétricas para Estabelecimentos Assistenciais de Saúde - requisitos para segurança". A NBR 13.534 terá seus principais pontos expostos à frente.

### **2.4.3 Norma técnica NBR 13.534**

A NBR 13.534 possui o título "Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde - Requisitos para segurança" e foi criada tomando como base a norma internacional IEC 60364 e é utilizada como complemento ao que é preconizado na NBR 5410. Como já citado, a norma foi criada em 1995 e, então, todos os EAS que forem construídos a partir deste período deveriam atentar-se às regras contidas nela, e ela tem como objetivos (Melo, 2019):

- Especificar as condições exigíveis às instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde, a fim de garantir a segurança de pessoas (em particular de pacientes) e, onde for o caso de animais;
- Ser aplicada a instalações novas e a reformas de instalações existentes;
- Abranger ambientes destinados a fins não assistenciais de saúde quando estes se integrem funcionalmente com os EAS;
- Se referir a instalações elétricas prediais fixas.

Embora seja um avanço muito importante na segurança em instalações elétricas de hospitais, clínicas e outros ambientes voltados à assistência em saúde, a NBR 13.534 não se aplica aos EEM, que são regulados pela norma NBR IEC 60601, que será mostrada a seguir.

#### **2.4.4 Norma técnica NBR IEC 60601**

Visando garantir atenção específica a equipamentos eletromédicos, a ABNT utilizou, como em outros casos, através da tradução e interpretação de normas internacionais, a compatibilidade da norma do IEC (Comitê Eletrotécnico Internacional) 60601, para obter as diretrizes necessárias para a operação segura desses equipamentos.

Segundo (Melo, 2019), a IEC 60601 aborda todos os possíveis perigos relacionados à utilização de eletricidade, produzindo orientações para controlar o desenvolvimento dos aparelhos eletromédicos a fim de evitar qualquer perigo para o público em geral. Além dos testes regulares, esta norma descreve os testes necessários para a realização após os procedimentos de manutenção ou reparação de dispositivos médicos.

A NBR IEC 60601 é intitulada "Equipamento eletromédico - Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial" e é subdividida em várias partes e normas colaterais, e cada uma dessas partes é definida conforme requisitos específicos relativos a EEM e suas situações de uso.

#### **2.4.5 Norma técnica NBR 5419**

Essencial para a segurança de uma instalação elétrica, a presença de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) é imprescindível para o bom funcionamento de sistemas elétricos, garantindo proteção a edificações e estruturas, quanto a danos causados por raios. A norma que trata desse assunto é a NBR 5419, denominada "Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas".

Tal norma apresenta as condições para projeto, instalação e manutenção de SPDA e, como esperado, sua aplicação é de grande importância para ambientes classificados como EAS, sendo o SPDA uma proteção complementar para garantir o funcionamento adequado dos circuitos elétricos presentes na edificação, bem como dos EEM, em condições de incidência de raios e, ainda, a proteção das pessoas que circulam nos ambientes aos quais a norma está aplicada.

#### **2.4.6 RDC 50**

A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) possui em seu escopo regulamentações que objetivam estabelecer normas e procedimentos para a regulação de produtos, serviços e atividades que envolvem a saúde e a segurança da população. Dentro dessas regulamentações estão as RDCs (Resoluções da Diretoria Colegiada). No ano de 2002, foi apresentada a RDC 50 que dispõe sobre o regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Tal regulamento abrange novas construções, ampliações e reformas de EAS, considerando também adaptações de edificações que não eram utilizadas para esse fim anteriormente.

Além das normas apresentadas, é importante também discorrer sobre pontos importantes referentes às instalações elétricas em EAS, que serão apresentados na sequência.

## 2.5 Instalações elétricas em EAS

O sistema elétrico de um EAS pode ser dividido em componentes:

- **Instalações em Média Tensão (MT):** no país são disponibilizadas pelas concessionárias de energia elétrica infraestruturas de média tensão em 13,8 kV, 21 kV e 34,5 kV para hospitais;
- **Subestação Rebaixadora de Tensão:** a subestação é uma instalação presente em vários locais que tem como função, no caso da subestação rebaixadora, abaixar o nível de tensão fornecido pela concessionária para níveis adequados de alimentação de cargas elétricas, que no caso de hospitais, geralmente são de 127, 220 e 380 V. Nessas instalações, também são posicionados os principais Quadros Gerais de Baixa Tensão (QGBT) para distribuição primária das categorias e classes de energia, sendo elas chamadas de normal, de emergência e no-break;
- **Sistema de geração e co-geração:** para gerar energia elétrica de forma alternativa em EAS, pode-se encontrar:
  - **Geração Stand-by:** sistema de geração em emergência, acionados apenas em momentos de falta emergencial de energia elétrica;
  - **Geração em horário de ponta:** geração concomitante ao fornecimento da concessionária de energia elétrica para momentos de maior consumo;
  - **Geração Prime:** planta de geração de energia elétrica 24 horas por dia;
  - **Co-geração de energia:** planta de geração de energia elétrica *full time* com reaproveitamento térmico.
- **Sistema de no-breaks:** os UPS (*Uninterruptible Power Supply* ou fonte de alimentação ininterrupta), popularmente conhecidos como no-breaks, são equipamentos que estão conectados ao sistema de energia de emergência e devem ser alimentados por duas fontes de energia, sendo a concessionária de energia elétrica em regime normal e pelo sistema de geração e co-geração citados. Eles possuem bancos de baterias autônomos para armazenamento de energia, impedindo a interrupção do fornecimento de energia elétrica para o sistema quando ocorre algum corte da concessionária, mesmo no momento em que a geração reserva necessita atuar para alimentar o sistema. O sistema UPS é condicionado para atender áreas de altíssima criticidade que, por suas características específicas, não podem ter o funcionamento de seus equipamentos interrompidos de modo algum;

- **Sistema IT Médico:** quando fala-se em aterramento elétrico, existem diversos tipos, que são identificados por simbologias. Em instalações elétricas de baixa tensão, são preconizados 3 esquemas de aterramento básico, sendo o TT, o TN e o IT, sendo:
  - **Esquema TT:** também chamado de Terra-Terra, nesse tipo de aterramento, o neutro é aterrado na fonte e o usuário faz seu próprio aterramento de proteção, de maneira separada. É utilizado em ambientes rurais ou locais com aterramento precário na rede;
  - **Esquema TN:** nesse caso o neutro do transformador é aterrado e há ligação direta entre o neutro e as partes metálicas dos equipamentos. É subdividido em TN-S (terra e neutro separados em toda a extensão da instalação), TN-C (terra e neutro no mesmo condutor) e TN-C-S (condutor neutro e terra utilizado até certo ponto, geralmente até o quadro de entrada da instalação e depois os condutores do terra e neutro são separados em condutores distintos);
  - **Esquema IT:** sistema isolado da terra ou ligado nela através de alta impedância. Nesse caso, as partes metálicas dos equipamentos são conectadas a um sistema de aterramento tradicional, reduzindo o risco de choques elétricos, incêndios e explosões.

O sistema IT médico é derivado do esquema IT explicado acima e monitora a corrente de fuga e resistência de aterramento em centros cirúrgicos, salas de emergência e UTIs com a função de promover proteção complementar para profissionais da saúde e pacientes;

- **Distribuição de energia em baixa tensão:** a distribuição de energia elétrica internamente em EAS é realizada por barramentos blindados, cabos e painéis, considerando também o uso de régua eletromédicas, régua estativas e outros materiais de apoio;
- **Sistemas de iluminação:** o estudo luminotécnico adequado é de muita relevância para auxiliar no desempenho adequado das funções dos profissionais, devendo abranger o dimensionamento de iluminação normal, de emergência, blocos autônomos e ainda de balizamento para rota de fuga;
- **SPDA:** como já citado, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas é essencial para proteção das edificações e das pessoas em EAS;
- **Sistema de aterramento equipotencial:** necessária a implantação de sistema confiável de aterramento para que todas as instalações do EAS tenham a mesma referência ou equipotencialização;
- **Protetores de surto:** para cargas importantes é prudente a instalação de protetores de surtos visando proteção complementar às demais listadas;

- **Seletividade elétrica:** promove a coordenação das proteções elétricas relativas aos riscos causados por distúrbios (curto-circuito, sobrecorrente, subtensão, potência reversa e outros) das instalações elétricas.

A NBR 13534 estabelece os conceitos de local médico e ambiente de paciente, dentro dos EAS. O primeiro trata-se de ambiente utilizado para procedimentos de diagnóstico, terapia, intervenções cirúrgicas, monitoração e assistência à saúde de pacientes, e o segundo como toda região que se estende até 1,5 metros além do local médico e onde pode ocorrer contato intencional ou não entre equipamentos e pacientes ou com outra pessoa que possa estar em contato com equipamentos.

A seção apresentada na sequência falará sobre a engenharia clínica e sua importância em EAS.

## 2.6 A Engenharia Clínica

Com o avanço da tecnologia na medicina, o uso de equipamentos e sistemas avançados passou a fazer parte do dia a dia de hospitais e outros estabelecimentos de saúde, seja na medicina preventiva, diagnóstica, cuidados terapêuticos, reabilitação, ou na administração, treinamento e educação relacionados à saúde (Ramírez, 2002).

Considerando a quantidade de equipamentos e sistemas envolvidos nessa evolução, atrelada à dependência de uma gestão eficiente deles, foi observada a necessidade de estabelecer a engenharia clínica nos EAS, para cuidar dos aspectos técnicos e administrativos envolvendo a operação segura e eficiente de equipamentos médicos (Panousis *et al.*, 1997).

Ela pode ser conceituada como uma área de conhecimento que, a partir de princípios de engenharia e gestão, visa otimizar o uso de tecnologias em saúde, propiciando segurança, eficácia e sustentabilidade de equipamentos e serviços em estabelecimentos assistenciais de saúde.

Por isso, desde os anos 70, hospitais em alguns países do mundo passaram a reconhecer e efetivar a atuação do engenheiro clínico, que é um profissional com formação básica em engenharia e conhecimento em técnicas de gerenciamento de tecnologias médicas. A engenharia clínica assume a responsabilidade de todo o ciclo de vida da tecnologia, do processo da aquisição até o recebimento, testes de aceitação, treinamento, manutenção, alienação e demais assuntos referentes aos EEM. O setor de engenharia clínica promoveu redução de custos e aumento da eficácia dos processos relacionados com a tecnologia na saúde. As maiores reduções de custos ocorrem na área de manutenção e aquisição de capital, mas economias adicionais são possíveis por meio do treinamento dos usuários ou pessoal de manutenção, gerenciamento de riscos, investigação de acidentes e construção ou reforma do espaço físico (Betts, 1987).

São atribuições do setor de engenharia clínica em um hospital (Ramírez, 2002):

Em relação ao apoio científico:

- Realizar pesquisas para o desenvolvimento de instrumentação biomédica;
- Sugerir adaptações e melhorias em EEM;
- Avaliar a relação custo-benefício de tecnologias médicas.

No apoio técnico:

- Acompanhar o ciclo de vida dos equipamentos médicos (instalação, operação, manutenção corretiva, manutenção preventiva e desativação) para garantir o melhor nível possível de segurança dos seus usuários e pacientes;
- Acompanhar e auxiliar os setores clínicos nos processos de licitação de equipamentos médicos, fornecendo especificações técnicas dos equipamentos desejados;
- Fornecer treinamento, interno e externo, aos usuários e aos técnicos de manutenção dos equipamentos médicos.

No apoio gerencial:

- Auxiliar na gerência de contratos de manutenção externa de equipamentos médicos;
- Participar na padronização de procedimentos administrativos de solicitação de reparos, manutenções de rotina, emergências e manutenções preventivas de equipamentos médicos;
- Otimizar custos durante a vida útil dos equipamentos médicos (instalação, operação, manutenção corretiva, manutenção preventiva e desativação).

No Brasil, a engenharia clínica é mais nova, sendo que os cursos destinados a ela foram criados em 1993, financiados pelo Ministério da Saúde para formar pessoas nesta área (Ramírez, 2002). O prognóstico é que a demanda por profissionais com essa especialidade cresça, devido à necessidade de suporte técnico para o gerenciamento de equipamentos e sistemas de saúde, sobretudo em instituições de saúde públicas, que carecem de melhor gestão de recursos.

Em suma, a engenharia clínica produz um ganho substancial para a área de saúde em geral, unindo engenharia e gestão para aprimorar o funcionamento de hospitais, clínicas e outros espaços utilizados para atendimento em saúde. Quando fala-se sobre as instalações elétricas e

infraestruturas gerais nesses espaços, inclusive os EEM, esta área de conhecimento favorece que o planejamento e a execução adequados de tudo sejam resguardados, contribuindo para a harmonia no funcionamento.

Na seção seguinte serão apresentados alguns dos principais problemas apresentados por equipamentos eletromédicos em detrimento de questões abordadas na seção anterior, que tratou da qualidade de energia elétrica (QEE).

## **2.7 Funcionamento inadequado de EEM - Causas e consequências**

Os equipamentos médicos modernos são compostos de uma eletrônica que varia desde amplificadores analógicos sensíveis a microprocessadores sofisticados (Kimmel; Gerke, 2018). Devido a isso, deduz-se que eles não estão totalmente imunes ao mau funcionamento provocado por problemas diversos e, por isso, é importante entender como eles podem afetar os EEM em estabelecimentos assistenciais de saúde.

Sabe-se que a segurança e confiabilidade da rede elétrica são de fundamental importância para o bom funcionamento dos EAS e é importante que a rede elétrica seja de alta confiabilidade e segurança para que não ocorram falhas no fornecimento de energia elétrica, nem acidentes causados por deficiência das instalações elétricas (Melo, 2019).

É importante entender a relevância do bom funcionamento de EEM, principalmente no que diz respeito à qualidade de diagnóstico e tratamento dos pacientes, como pode ser citado abaixo.

Os estabelecimentos assistenciais de saúde vêm cada vez mais aumentando a utilização de equipamentos eletromédicos, que desempenham importantes funções, como sistemas de informação sobre o paciente, equipamentos de diagnóstico e tratamento, além de outros. Observa-se, portanto, que a eletricidade no ambiente hospitalar é fonte de vida, podendo interferir na sobrevivência ou não do paciente, pela utilização de equipamentos de ventilação pulmonar, bombas de infusão de medicamentos, lâmpadas para iluminação cirúrgica, energia de emergência, ar comprimido, oxigênio, entre outros (Ramos; Júnior, 2009).

Boa parte dos problemas encontrados por EEM está interligada à não observância das normas apresentadas anteriormente e, em alguns casos, o problema não está no equipamento e, sim, nas instalações elétricas inadequadas do ambiente.

Muitas vezes, equipamentos com tecnologia de ponta, instalados em hospitais e locais semelhantes, são alimentados por instalações elétricas deficientes e isentas de manutenção, podendo fornecer dados incorretos (Ramos; Júnior, 2009).

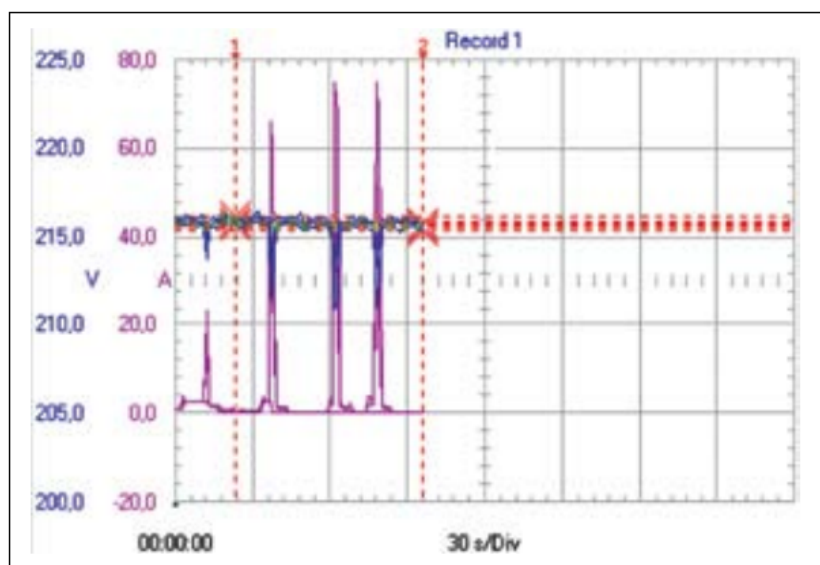
Além da ineficiência de instalações elétricas, a grande utilização de equipamentos sensíveis a perturbações eletromagnéticas e também causadores tem contribuído para que não seja atingida a QEE esperada para o funcionamento adequado de equipamentos. Nos EAS, tais perturbações costumam ser geradas internamente ao local devido à comutação de cargas com elevada potência, variações de velocidade para motores de indução e, principalmente, por equipamentos específicos desses ambientes, como aparelhos de raios X e de ressonância magnética, tomógrafos computadorizados e mamógrafos, por exemplo. É importante salientar que, em um mesmo ambiente hospitalar, são utilizados os mais diversos tipos de equipamentos e dispositivos, sendo diretamente da área médica ou não. Em uma única edificação estão presentes estruturas voltadas para diagnóstico e terapias médicas, dispositivos de comunicação e outros, e essa concomitância de equipamentos, quando mal planejada ou executada, pode ocasionar problemas significativos entre os próprios equipamentos.

Nas seções seguintes serão apresentados 3 equipamentos, dentre os que já foram conceituados anteriormente, em que o funcionamento produz oscilações importantes na rede elétrica.

### ***2.7.1 Aparelho de raio-X como causador de perturbações na rede elétrica***

Como já visto, os aparelhos de raios-X conferiram ganho importante para a medicina, principalmente na ortopedia, possibilitando, de maneira não invasiva, a observação de órgãos internos, principalmente os ossos, devido à capacidade elevada de penetração que esse tipo de raios têm. Durante seu funcionamento, é necessária elevada potência, podendo ocasionar afundamento de tensão na rede. Ajustados os parâmetros de potência, tempo de duração e outras variáveis pelo radiologista para obtenção da melhor imagem possível, o equipamento inicia seu funcionamento até que o exame seja concluído. Durante esse período, através de ensaio, foram observados comportamentos de picos de corrente elétrica e afundamentos de tensão segundo a Figura 33 (Ramos; Júnior, 2009).

Figura 33 – Picos de corrente produzidos por aparelho de raios-X.



Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

É possível perceber que durante o processo do exame, em cerca de 1 minuto e 30 segundos, há uma variação da corrente elétrica de 20 a mais de 70 A, mais que triplicando a intensidade da corrente, enquanto a tensão vai de cerca de 215 a 210 V. Tais variações podem causar possíveis prejuízos aos equipamentos ligados à rede, não apenas o próprio gerador do problema, danificando componentes eletrônicos essenciais para o funcionamento desses, e também comprometer a qualidade do diagnóstico e, principalmente, a segurança do paciente.

### ***2.7.2 Tomógrafo como causador de perturbações na rede elétrica***

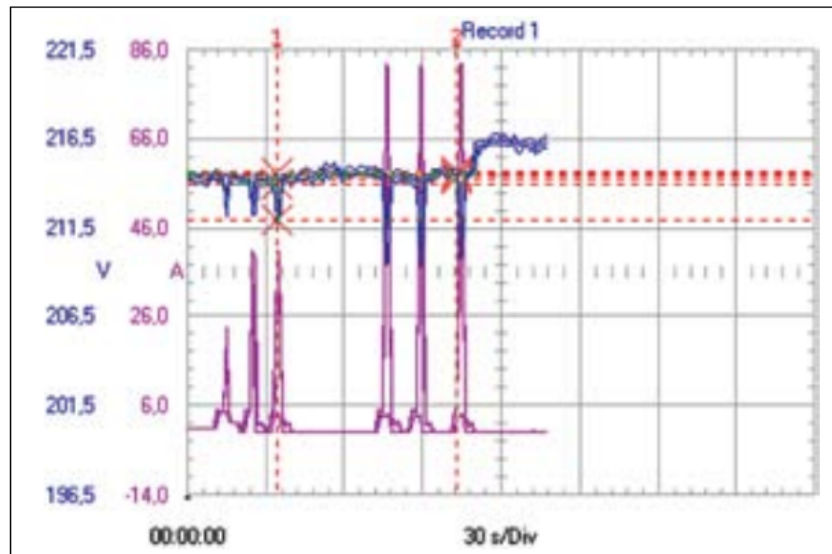
O tomógrafo, que, como já dito, pode ser classificado, de maneira simples, como um aparelho de raios-X que produz radiografias transversais através do movimento de giro em volta do paciente durante o exame, como esperado, possui comportamento semelhante ao descrito na seção acima. Pode-se observar tal comportamento na Figura 34.

Devido à similaridade dos efeitos observados na rede elétrica, tanto do aparelho de raios-X como do tomógrafo, as consequências também podem ser as mesmas. O que é observado de diferente no teste realizado é que os valores de pico de corrente alcançados foram maiores, atingindo valores acima de 80 A.

### ***2.7.3 Equipamento de ressonância magnética como causador de perturbações na rede elétrica***

Diferentemente dos equipamentos anteriores, a ressonância magnética não é realizada através de raios-X, como já abordado. A imagem do exame é obtida através de propriedades

Figura 34 – Picos de corrente produzidos por tomógrafo.

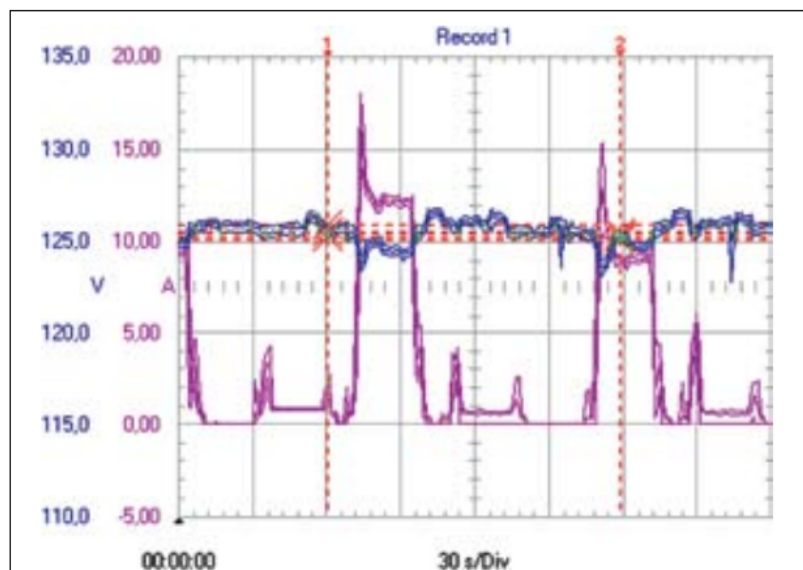


Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

magnéticas dos átomos que constituem todas as substâncias, incluindo, obviamente, o corpo humano (Ramos; Júnior, 2009).

Entretanto, do mesmo modo que os anteriores, o equipamento de ressonância magnética ocasiona elevados picos de corrente elétrica durante seu funcionamento, como pode ser observado na Figura 35.

Figura 35 – Picos de corrente produzidos durante a ressonância magnética.



Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

Na sequência, serão apresentados três EEM que, através de estudo realizado em labo-

ratório (Ramos; Júnior, 2009), denominado "Verificação do impacto da qualidade de energia e das instalações elétricas nos equipamentos eletromédicos", foram analisados para verificar falhas advindas das variações de tensão e corrente apresentadas, além da imposição de distorções harmônicas em suas alimentações de tensão. Tais EEM são imprescindíveis para tratamento em pacientes e até são largamente utilizados em UTIs, sendo o monitor cardíaco (multiparamétrico), o ventilador pulmonar e o oxímetro de pulso.

#### 2.7.4 Comportamento do monitor cardíaco

O estudo realizado, em teste inicial, observou que o equipamento testado não apresentou interferências na forma de onda do eletrocardiograma, quando submetido a condições críticas de submissão a valores de distorção harmônica total, como mostrado na Figura 36.

Figura 36 – Ensaio de distorção harmônica em monitor multiparamétrico.

Ensaio nº	Fundamental (%)	Harmônica			THD <sub>f</sub> (%)
		3ª (%)	5ª (%)	7ª (%)	
1	100	3	-	-	3
2	100	10	-	-	10
3	100	20	-	-	20
4	100	50	-	-	50
5		100	-	-	100
6	100	50	30	20	61,8
7	100	70	50	30	91,5

Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

A manutenção do funcionamento adequado do equipamento, quando submetido a níveis críticos de distorções harmônicas, pôde atestar a qualidade de blindagem dele em relação a esse tipo de perturbação.

O segundo conjunto de ensaios submeteu o mesmo equipamento a afundamentos de tensão similares aos produzidos por aparelhos de raios-X, tomógrafos e equipamentos de ressonância magnética. Os ensaios foram feitos conforme mostra a Figura 37, com tensões de afundamento variando entre 60 e 100 V, com tempos de duração de 0,5 e 1 s e espaçamento de 20 s entre um ensaio e outro.

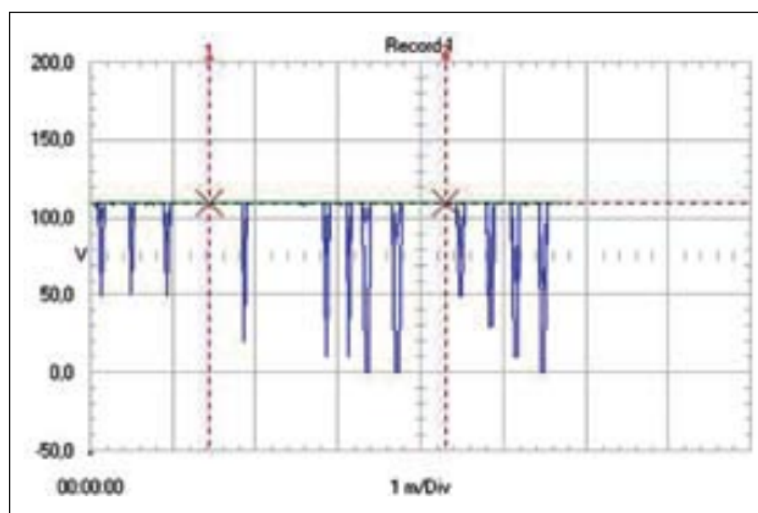
Figura 37 – Ensaio de afundamento de tensão em monitor multiparamétrico.

Afundamento n°	Tensão de afundamento (V)	Tensão remanescente (V)	Tempo de duração (s)	Espaçamento (s)
1, 2 e 3	60	50	0,5	20
4	90	20	0,5	-
5 e 6	100	10	0,5	20
7 e 8	110	0	1	20
9	60	50	1	20
10	80	30	1	20
11	100	10	1	20
12	110	0	1	20

Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

A Figura 38 mostra o gráfico dos afundamentos aplicados nos ensaios realizados.

Figura 38 – Afundamentos de tensão aplicados ao monitor multiparamétrico.



Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

De igual modo ao teste com distorções harmônicas, o monitor testado não teve o resultado do sinal gerado na tela comprometido pela aplicação de afundamento de tensão.

Um outro teste, ainda com afundamentos de tensão foi realizado utilizando os níveis recomendados pela norma NBR IEC 61000-4-11, que especifica os métodos de ensaio de imunidade e a faixa de níveis de ensaio preferidos para os equipamentos elétricos e eletrônicos conectados às redes de alimentação de baixa tensão para quedas, interrupções curtas e variações de tensão. A Figura 39 explicita os dados do ensaio.

Figura 39 – Monitor multiparamétrico submetido a afundamento de tensão conforme NBR IEC 61000-4-11.

Nível de tensão remanescente - %U <sub>n</sub>	Tensão de afundamento ou interrupção - % U <sub>n</sub>	Duração [ciclos]
80	20	0,5
70	30	1
40	60	5
20	80	10
0	100	25
		50
		180

Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

Aplicados os níveis conforme as combinações preconizadas pela norma, o equipamento não apresentou ruídos na forma de onda apresentada na tela. Nos ensaios de tensão remanescente de 20%, com duração de 180 ciclos, o equipamento transferiu automaticamente sua alimentação para a bateria interna, sendo um procedimento normal de proteção do equipamento, que foi realizado com sucesso, pois a forma de onda do eletrocardiograma não sofreu alterações.

Tais resultados apontam que a efetividade de funcionamento da blindagem do equipamento, quando submetido a perturbações críticas, é fator essencial para seu funcionamento adequado, sem causar problemas de segurança de monitoramento e diagnóstico ao paciente, atrelado ao funcionamento de seu sistema de proteção, que aciona a alimentação sobressalente, na detecção de perturbações advindas da rede elétrica convencional.

A seguir, serão apresentados os testes realizados em um ventilador pulmonar, contido no mesmo estudo.

### 2.7.5 Comportamento do ventilador pulmonar

Como já apresentado neste trabalho, o ventilador pulmonar mecânico é um equipamento de grande importância no ambiente de EAS, tendo como função auxiliar pacientes com insuficiência respiratória na manutenção do fluxo de ar que entra e sai dos pulmões. Tal equipamento é, em muitos casos, o responsável pelo suporte à vida da pessoa que está conectada a ele, ou seja, em caso de falhas ou interrupção de seu funcionamento, em ocasiões mais críticas, o paciente pode avançar para um estado muito grave e, em casos muito extremos, até falecer.

Primeiramente, o equipamento foi submetido às mesmas distorções harmônicas mostradas na Figura 36, com tensão nominal de 110 V. Mesmo diante das alterações na forma de onda de corrente entre a alimentação da rede e a com tensão distorcida, não houve alteração no fluxo de ventilação do equipamento, ou seja, assim como o monitor testado, o ventilador mostrou-se

imune às distorções harmônicas impostas.

O mesmo equipamento foi submetido a afundamentos de tensão, conforme mostrado na Figura 40.

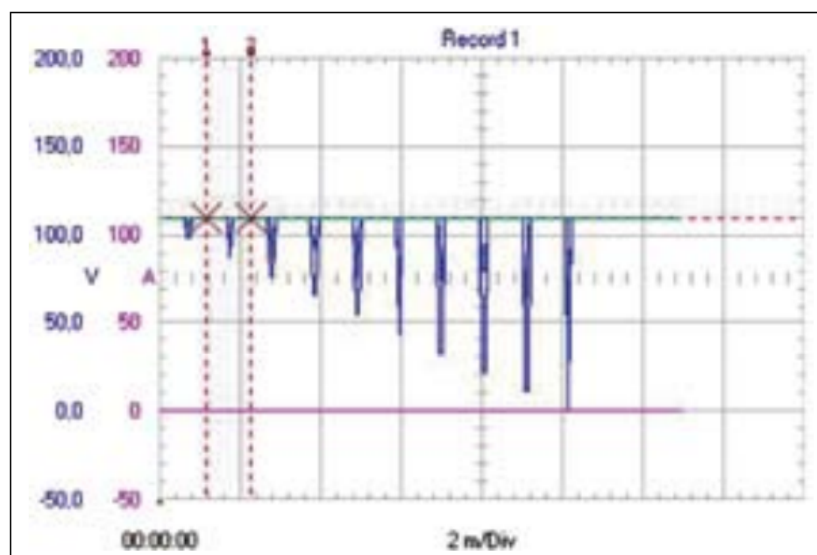
Figura 40 – Ventilador pulmonar submetido a afundamento de tensão.

Ensaio n°	Quant. de afundamentos	Tensão de afundamento (V)	Tensão remanescente (V)	Tempo de duração (s)	Espaçamento (s)
1	10	11	99	3	1
2	10	22	88	3	1
3	10	33	77	3	1
4	10	44	66	3	1
5	10	55	55	3	1
6	10	11 a 110	99 a 0	3	60

Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

A Figura 41 mostra os afundamentos de tensão referentes ao ensaio 6, disposto na Figura 40.

Figura 41 – Afundamento de tensão aplicado ao ventilador pulmonar.



Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

Para o ensaio 6, o equipamento apresentou funcionamento irregular quando os afundamentos foram de 77, 88 e 99 V, ou seja, os mais altos, apresentando também intercorrências

quando houve a interrupção. Os problemas apresentados incluem travamentos, bloqueios de válvula expiratória e ausência de atuação do sistema de alarme (Ramos; Júnior, 2009).

Igualmente ao teste aplicado ao monitor multiparamétrico, o ventilador foi submetido a ensaios baseados no item 5.1 da NBR IEC 61000-4-11, que já teve seus valores mostrados na Figura 39. Como resultado, o ventilador não alterou seu funcionamento perante os afundamentos de 20, 30 e 60% para todas as durações, entre 0,5 e 180 ciclos. Para os afundamentos de 80% e interrupção com tempos de duração de 0,5, 1 e 5 ciclos, de igual modo, não foram observadas quaisquer alterações em seu funcionamento.

Entretanto, para afundamentos de 80%, com interrupções iguais ou maiores que 10 ciclos, o equipamento apresentou intercorrências que, em condições de funcionamento de fato, poderiam causar riscos ao paciente a ele conectado, sendo:

- Interrupção do funcionamento, mesmo com a bateria com carga total. Porém, os parâmetros configurados nele não foram perdidos no religamento;
- Durante alguns momentos, houve um erro preocupante: a válvula expiratória, que é o componente responsável por controlar a saída de ar dos pulmões durante a expiração, funcionou de maneira anômala e passou a expulsar todo o oxigênio que deveria chegar aos pulmões do paciente. Mesmo com a ocorrência da falha, o sistema de alarme não emitiu aviso e o equipamento teve de ser desligado da rede de alimentação e reprogramado para retornar à operação convencional;
- Em outro momento, o equipamento travou e continuou injetando oxigênio, mesmo com a válvula expiratória permanentemente fechada. Novamente o alarme não foi acionado, necessitando mais uma vez do desligamento e reprogramação. Um medidor de pressão conectado ao equipamento para testes, detectou um valor de pressão que poderia ser prejudicial aos pulmões do paciente.

### **2.7.6 Comportamento do oxímetro de pulso**

Um oxímetro de pulso, EEM responsável pela medição do nível de saturação de oxigênio (SpO<sub>2</sub>) do sangue arterial através de sensores ópticos posicionados no pulso do paciente, foi submetido aos mesmos testes que o monitor multiparamétrico e o ventilador pulmonar.

Diferentemente dos dois anteriores, alimentando o equipamento com tensão nominal de 110 V contendo os componentes harmônicos presentes na Figura 36, o equipamento apresentou comportamento alterado, afetando consideravelmente a exibição de resultados na tela.

Acerca dos testes com afundamento de tensão, quando submetidos às condições propostas na norma NBR IEC 61000-4-11, foram observados os problemas apresentados na Figura 42.

Figura 42 – Afundamento de tensão aplicado ao oxímetro de pulso conforme a NBR IEC 61000-4-11.

Nível de tensão remanescente - % Un	Tensão de afundamento ou interrupção - % Un	Duração [ciclos] / ocorrência
800	20	≥ 5 ciclos / o visor reduz o brilho, mas não perde as informações
70	30	≥ 5 ciclos / o visor reduz o brilho, mas não perde as informações
40	60	10 ciclos / travou e a tela apresentou caracteres aleatórios. Necessitou ser desligado para retornar a funcionar. 25, 50 e 80 ciclos / apagou, mas retornou à tela principal. Voltou a funcionar normalmente.

Fonte: (Ramos; Júnior, 2009).

Foram expressos aqui ensaios realizados em 3 EEM a partir de apenas 2 tipos de perturbações que podem ser causadas por fatores internos à instalação elétrica de um EAS. Pode-se observar que a presença dessas perturbações, quando somada à falha de ação mitigatória dos equipamentos, em ambientes em pleno funcionamento, pode gerar consequências graves. É importante salientar que os testes foram realizados com equipamentos fornecidos pelos fabricantes que se interessaram pelo estudo e, provavelmente, equipamentos novos ou com pouco tempo de uso. Quando analisados no próprio "chão de fábrica", os resultados podem ser ainda mais preocupantes.

Além dessas perturbações, os equipamentos eletromédicos em geral podem ser afetados por diversos problemas, além de outros equipamentos essenciais para o bom funcionamento de EAS. Serão listados a seguir alguns problemas e perturbações, boa parte já citada durante este trabalho, que podem afetar diretamente tais equipamentos, bem como a segurança dos pacientes, profissionais e outras pessoas que circulam no ambiente hospitalar:

- Quedas e variações de tensão;
- Falta de sistema de aterramento adequado;
- Interferência eletromagnética;
- Circuitos sobrecarregados ou mal dimensionados;

- Ausência de proteção contra surtos (DPS);
- Ausência de proteção contra correntes de fuga (DR);
- Falta de *backup* na alimentação de energia elétrica (UPS);
- Ausência ou ineficiência de Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Existem ainda muitos outros problemas que podem envolver uma instalação elétrica. Por isso, no Capítulo 4 deste trabalho, serão abordados, além da pesquisa realizada com profissionais da área da saúde e da engenharia clínica, as melhores práticas para mitigar o mau funcionamento dos EEM como consequência da falta de qualidade de energia elétrica.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho de conclusão de curso foi construído apoiando-se na consulta a artigos e publicações científicas diversas convergentes com o tema estudado e apresentação das principais informações obtidas, exibindo alguns conceitos importantes para a compreensão da relação entre a tecnologia e a medicina e, em momento posterior, abordagem de assuntos concernentes à engenharia elétrica, essenciais para o entendimento do que estava por ser tratado: a junção entre a engenharia elétrica e a medicina, através dos equipamentos eletromédicos (EEM), essenciais para os atendimentos médicos em geral em EAS.

O tema deste trabalho constitui assunto um tanto quanto delicado, principalmente no tocante às consequências de instalações elétricas inadequadas em ambientes hospitalares ou de assistência à saúde, que podem ir de diagnósticos imprecisos ou equivocados até a óbitos em casos mais extremos, onde EEM de suporte à vida falham ou interrompem o funcionamento e, por algum motivo, não há substituição a tempo de evitar o pior. Com isto, era prevista a dificuldade de realizar estudos presenciais nesses locais, embora esse trabalho tenha como objetivo conscientizar sobre a observância das normas vigentes que concernem a instalações elétricas em ambientes sensíveis tal como estes e não, apresentar algum tipo de denúncia ou algo equivalente.

Para não comprometer o andamento do trabalho, foi definida a aplicação de um formulário eletrônico para obter informações necessárias para referendar o trabalho, considerando o largo alcance que o recurso pode ter. O formulário, que pode ser visto no APÊNDICE A, foi encaminhado para profissionais da área da saúde e engenharia clínica na região da cidade de Ouro Preto/MG e compartilhado também pelos profissionais nas instituições em que trabalham. Paralelamente a isto, o formulário foi encaminhado ao Conselho Federal de Enfermagem (Cofen), à Associação Brasileira de Engenharia Clínica (Abeclin) e para diversos conselhos regionais de enfermagem (Coren), que atuam nos estados da federação, dos quais posso citar Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, somando mais de 20 estados.

Foram consideradas para este trabalho, como as perguntas mais importantes, considerando as direcionadas a todos os entrevistados:

- Atualmente você trabalha em que tipo de instituição de saúde?
- Você tem contato com equipamentos ou instrumentos eletrônicos da área da saúde (equipamentos eletromédicos) em seu trabalho?
- Você é profissional da saúde (técnico(a) em enfermagem, enfermeiro(a), médico(a), entre outros) ou da engenharia clínica (eletricista, engenheiro(a), entre outros)?

Agora, as direcionadas a profissionais da área de saúde:

- Qual a sua formação ou ocupação atual?;

- Quanto tempo tem de formação?;
- Quanto tempo tem de experiência na área?;
- Quais os principais equipamentos médicos você tem contato no seu dia a dia?;
- Os equipamentos que tem contato são utilizados para quais fins?;
- Você já presenciou algum funcionamento inadequado em algum(uns) desse(s) equipamento(s)?;
- Caso possível, descreva, por gentileza, o problema observado;
- Você consegue avaliar qual(is) pode(m) ter sido a(s) causa(s) do problema? Cite.;
- Você já presenciou algum episódio em que a falha de um equipamento pode ter custado a vida do(a) paciente, naquele momento?;
- Os equipamentos utilizados no seu local de trabalho podem ser considerados novos? (caso haja em maior quantidade equipamentos novos, responda "Sim" e caso contrário "Não");
- Há uso de extensões elétricas e adaptadores "T" em equipamentos médicos no seu trabalho?;
- Você utiliza aparelho celular durante o seu trabalho, especificamente em ambientes que possuem equipamentos eletromédicos?;
- Há alguma regulação quanto ao uso de celulares nesses locais no seu trabalho?
- Na instituição que trabalha, há setor específico de engenharia clínica?;
- Caso tenha algum conhecimento, você considera a engenharia clínica importante para o bom funcionamento de instituições de saúde?.

As direcionadas a profissionais da engenharia clínica e manutenção:

- Qual a sua formação/ocupação atual na instituição de saúde?;
- Quanto tempo tem de formação?;
- Quanto tempo tem de experiência na área?;
- Você enxerga uma boa receptividade dos profissionais de saúde aos profissionais da engenharia clínica, quanto à regras de bom uso das instalações/equipamentos do local?;
- Para você, qual a importância da qualidade nas instalações elétricas em ambientes de saúde em geral, principalmente onde há equipamentos sensíveis?;

- Você observa se acontecem práticas inadequadas no uso dos equipamentos ou das instalações elétricas do ambiente?;
- Quais equipamentos eletromédicos você tem mais contato?;
- A instituição que você atua tem instalações elétricas antigas e que não passaram por manutenção há pouco tempo?;
- Você considera essas instalações adequadas, seguindo as normas vigentes para tal?;
- Há presença de rede elétrica estabilizada em seu local de trabalho?;
- Na instituição em que atua, caso haja necessidade de alta disponibilidade energia elétrica (equipamentos que não podem ser desligados ou ocorrência de procedimentos cirúrgicos), o backup da alimentação do local (baterias ou similares) é suficiente ou até redundante?;
- Liste quais equipamentos você considera mais susceptíveis a falhas devido ao funcionamento inadequado da rede elétrica;
- Você considera o dimensionamento da carga do local adequada para a quantidade de equipamentos instalados?;
- Há ocorrência de funcionamento inadequado de equipamentos médicos no local, principalmente os de maior complexidade e que podem causar maiores danos ao diagnóstico e tratamento dos(as) pacientes?;
- Você acha que é dada a devida atenção ao que a manutenção/engenharia clínica sugere quanto à melhorias e manutenções elétricas devidas no prédio?;
- Na empresa há profissional de engenharia responsável pela infraestrutura geral local?;
- Você observa se acontecem práticas inadequadas no uso dos equipamentos ou das instalações elétricas do ambiente?;
- Você enxerga uma boa receptividade dos profissionais de saúde aos profissionais da engenharia clínica, quanto à regras de bom uso das instalações/equipamentos do local?;
- Caso conheça ou tenha acesso, quais as normas você considera importantes para a instalação de equipamentos elétricos, bem como para construção e manutenção de instalações elétricas no âmbito de instituições de saúde?.

Finalmente, após a explanação de conceitos teóricos, a aquisição das informações importantes, apresenta-se nos resultados as principais respostas dadas ao formulário, incluindo a interpretação delas. Para finalizar, atrelando os conceitos estudados e a análise das respostas, são mostradas as recomendações para mitigar os problemas de EEM relacionados à qualidade de energia elétrica em EAS. Na sequência, têm-se, para a finalização do trabalho, as conclusões

acerca do que foi apresentado, bem como a proposta para a continuidade dos estudos em área correlata.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta a discussão baseada nas respostas do formulário aplicado, propondo, através delas e dos conceitos apresentados, recomendações, intervenções e outros processos importantes para mitigar os efeitos que a falta da QEE pode causar em EEM, afetando o funcionamento adequado, podendo ocasionar má qualidade na prestação de serviços de saúde, essenciais para a população em geral.

A seguir serão apresentadas as principais respostas do formulário eletrônico explanado na metodologia do trabalho, sendo aquelas que representaram alguma importância para os resultados da pesquisa e, na sequência, apontamentos com o intuito de identificar algo que seja relevante para a conclusão da pesquisa. É importante expressar que as conclusões inseridas são baseadas nas respostas desse formulário, não possuindo caráter científico comprovado, caracterizando-se apenas como *insights* do autor através da análise lógica das respostas dadas.

### 4.1 Respostas do formulário eletrônico

Primeiramente, é cabível apontar que a grande maioria dos órgãos não retornou com resposta à solicitação para divulgação do formulário. Os que responderam pediram informações complementares do trabalho para melhor esclarecer o pedido e outros informaram que o formulário seria avaliado pela comissão de ética da instituição para autorização ou não da publicação.

Uma das instituições retornou com a autorização da publicação na página da instituição, que está reproduzida na Figura 43. Entretanto, no momento de tal retorno, a análise das respostas já estava em curso e o formulário já não estava mais disponível para acesso.

Devido aos fatores apresentados, no encerramento da pesquisa, foram captadas respostas de 21 profissionais e as cidades de atuação dos profissionais entrevistados são, todas no estado de Minas Gerais: Belo Horizonte, Mariana, Montes Claros e Ouro Preto.

#### 4.1.1 *Ambiente de atuação dos profissionais*

Acerca do local de atuação dos profissionais que aderiram à pesquisa, enfatizando que o profissional pode atuar em mais de um local, foram obtidos os seguintes resultados:

- Hospitais: 14 profissionais;
- Unidades de pronto atendimento (UPA): 6 profissionais;
- *Home care* (cuidado domiciliar) de adoentados ou idosos dependentes: 2 profissionais;
- Clínicas de atendimento médico e medicina diagnóstica: 1 profissional cada;
- Empresa de engenharia clínica: 1 profissional.

Figura 43 – Formulário de pesquisa em página oficial de instituição.

Os impactos da qualidade de energia elétrica em equipamentos de monitoramento e manutenção da vida em instituições de saúde

**Instituição:** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Itabirito/MG

**Responsavel:** Kierley Sebastião da Silva



**E-mail responsavel:** [REDACTED]

**Telefone:** [REDACTED]

**Descrição / Objetivo**

Estou fazendo uma pesquisa para o TCC (bacharelado em Engenharia Elétrica) e o tema é: "os impactos da qualidade de energia elétrica em equipamentos de monitoramento e manutenção da vida em instituições de saúde". Dessa forma, preciso de algumas informações provenientes de profissionais de saúde e engenharia clínica. Através do preenchimento deste formulário eu consigo uma valiosa contribuição para a minha formação acadêmica (é um formulário simples e de pouco tempo de resposta). Os dados são anônimos e não apresentarão nenhuma identificação dos que responderem ao formulário.

Obrigado.

 Anexo  Participar da pesquisa

Fonte: Reprodução de página de internet, 2025.

#### 4.1.2 *Contato com EEM no ambiente de trabalho*

A resposta quanto ao contato com equipamentos eletromédicos era primordial para a sequência do formulário e os 21 profissionais responderam ter contato com EEM em seu ambiente de trabalho.

#### 4.1.3 *Área de atuação*

Essa resposta conduzia o entrevistado a perguntas específicas da área de saúde ou de manutenção/engenharia clínica. No total, 2 entrevistados(as) responderam ser da área de manutenção/engenharia clínica e os demais da área de saúde.

Na sequência, serão divididas as respostas por área de atuação, começando pelas perguntas específicas da área de saúde.

#### 4.1.4 *Respostas dos profissionais de saúde*

Essa parte exibirá as respostas dadas pelos profissionais da área da saúde, englobando a formação técnica ou superior, o tempo de formação, de atuação na área, além da visão geral

quanto ao contato com EEM.

#### **4.1.4.1 *Formação ou ocupação do profissional***

Foram obtidos os seguintes resultados:

- Curso técnico em enfermagem: 9 profissionais;
- Enfermagem superior: 6 profissionais;
- Medicina, biomedicina, especialista em instrumentação cirúrgica, área administrativa de EAS: 1 profissional cada.

#### **4.1.4.2 *Tempo de formação***

As respostas obtidas foram:

- Acima de 30 anos de formação: 1 profissional;
- Entre 10 e 15 anos de formação: 9 profissionais;
- Entre 5 e 9 anos de formação: 5 profissionais;
- Entre 1 e 4 anos de formação: 4 profissionais;
- Não respondeu: 1 profissional.

#### **4.1.4.3 *Tempo de atuação na área***

As respostas obtidas foram:

- Acima de 30 anos de formação: 1 profissional;
- Entre 10 e 15 anos de formação: 7 profissionais;
- Entre 5 e 9 anos de formação: 6 profissionais;
- Entre 1 e 4 anos de formação: 4 profissionais;
- Abaixo de 1 ano: 1 profissional
- Não respondeu: 1 profissional.

#### 4.1.4.4 *Uso de equipamentos eletromédicos*

Nessa pergunta, foi possível perceber a variedade de EEM utilizados pelos(as) profissionais:

- Aparelho de raios-X;
- Aparelho de ressonância magnética;
- Aparelho de vídeo cirurgia;
- Bomba de infusão;
- Desfibrilador;
- Eletrocardiógrafo;
- Esfigmomanômetro digital;
- Foco de luz;
- Monitor multiparamétrico;
- Respirador;
- Tomógrafo computadorizado.

Foram citados também equipamentos gerais utilizados em cirurgias, como furadeiras, e também foi citado o carrinho de anestesista, que não se enquadra na categoria de EEM. Ao todo, 18 profissionais listaram os EEM utilizados.

#### 4.1.4.5 *Funções dos EEM utilizados*

Como na pergunta anterior foram listados equipamentos diversos, como esperado, os(as) profissionais selecionaram todos os tipos de utilização dos EEM, sendo diagnóstico, tratamento, monitoramento e suporte à vida.

#### 4.1.4.6 *EEM com funcionamento inadequado*

Das 19 respostas dadas, 15 profissionais ou 78,9% confirmaram já terem observado algum mau funcionamento de EEM durante o trabalho. Esse percentual permite inferir que são comuns os problemas ocorridos em equipamentos utilizados na saúde e isso pode ser devido ao tempo de uso, manutenção inexistente ou ineficiente e, até, utilização inadequada de tais equipamentos, além das questões relativas às instalações elétricas dos EAS.

#### 4.1.4.7 *Tipos de problemas observados em EEM*

No total, 13 profissionais listaram os problemas presenciados, sendo os mais relevantes:

- Interferência em monitor multiparamétrico e aparelhos de ECG;
- Falha ao inserir comandos;
- Erro nos dados apresentados;
- Aferição de sinais vitais incorreta;
- Desligamento indesejado de EEM devido a mau comportamento de tomada;
- Queda de energia elétrica;
- Queima constante de lâmpadas;
- Baterias de equipamentos sem funcionar;
- Equipamentos quebrados.

Observa-se que os problemas listados estão diretamente ligados à elétrica, exceto o último, que deve ter como causa provável a falha na manutenção preventiva ou corretiva adequada dos equipamentos. Tal fato é relevante por propiciar a ideia de que os principais fatores que afetam a qualidade de funcionamento dos EEM estão ligados à energia elétrica, foco principal deste trabalho. Entretanto, há alguns outros responsáveis por tais problemas e serão apresentados na sequência.

#### 4.1.4.8 *As possíveis causas de falhas em EEM*

Foram obtidas 16 respostas, que agrupadas são:

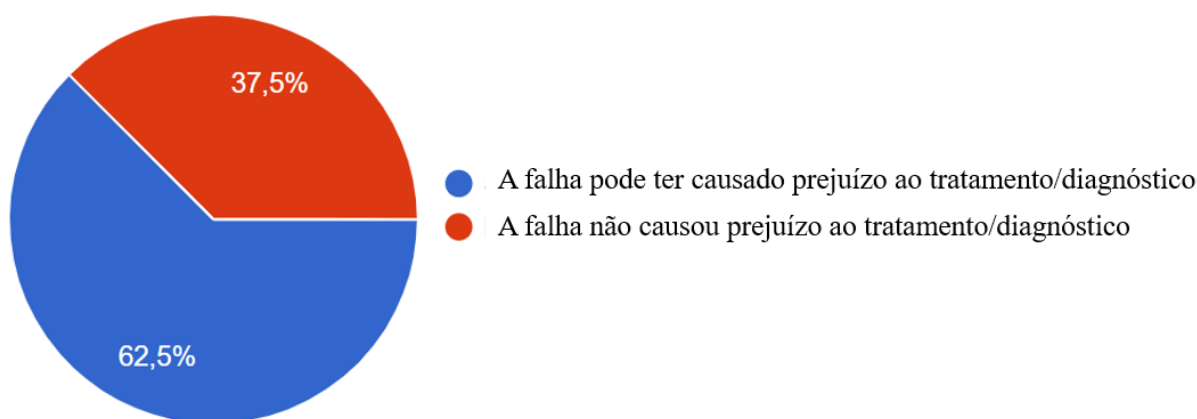
- Queda de fornecimento de energia elétrica;
- Mau contato;
- Equipamentos com muitos anos de uso;
- Falta de manutenção;
- Excesso de umidade no ambiente;
- Erro na configuração de parâmetros pelo profissional em vista às condições do paciente;
- *Software* dos equipamentos desatualizados;
- Imperícia, mau uso ou negligência na manipulação dos equipamentos;

- Falha de comunicação entre profissionais.

Além dos problemas elétricos, fica evidenciado que em dois tipos de resposta, a provável falta de treinamento adequado ou capacitação dos profissionais pode ter contribuído para o comportamento indesejável dos equipamentos. A falta de um programa de manutenções preventivas também foi apontada, provocando a aceleração do processo de deterioração deles. Ainda foi apontada uma questão de inadequação do local em relação à umidade e, por último, questões relativas ao comportamento profissional, sendo a comunicação ineficiente entre os profissionais que fazem uso dos EEM.

A pergunta que seguia era relativa às consequências de prejuízo ao tratamento e diagnóstico dos pacientes em detrimento da falha de EEM. As respostas mostram a importância do funcionamento adequado deles, onde 62,5% dos 16 profissionais que marcaram, responderam que acreditam que as falhas listadas por eles podem ter comprometido o resultado do tratamento ou o diagnóstico. O resultado está expresso na Figura 44.

Figura 44 – Percentual de respostas sobre as consequências de falhas em EEM em pacientes.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

#### 4.1.4.9 Óbitos em possível consequência à falha de EEM

Na construção do formulário, não acreditava-se que ela teria alguma resposta afirmativa, devido à questão sensível que envolve a perda de vidas. Porém, contrário ao pensado, foram obtidas 18 respostas, das quais 4 profissionais acreditam ter sido a falha de um EEM o fator principal para culminar no falecimento do(a) paciente, chegando a um percentual superior a 20%, algo alarmante e carente de estudos mais aprofundados.

Figura 45 – Possíveis óbitos em consequência a falha de equipamentos eletromédicos



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Acredita-se que as respostas dadas, que podem ser vistas na Figura 45, sejam relativas à opinião do profissional e devido à experiência de tempo de atuação. Nesse ponto, é importante apontar que, dos 4 profissionais que responderam positivamente, 2 afirmaram ter experiência de 15 anos na área e os outros dois, de 9 e 7 anos, corroborando para dizer que eles possuem um tempo considerável de atuação.

Complementarmente à questão sobre o possível número de mortes causadas por falhas em EEM, foi perguntado qual seria o equipamento que falhou ou parou de funcionar. Dois equipamentos apontados foram bombas de infusão, provavelmente utilizadas para administrar medicamentos essenciais à manutenção da vida do(a) paciente, e outros 2 foram respiradores/ventiladores, que, sugestivamente, a falha pode ter causado a parada cardiorrespiratória no(a) paciente.

#### 4.1.4.10 *Condição dos equipamentos eletromédicos*

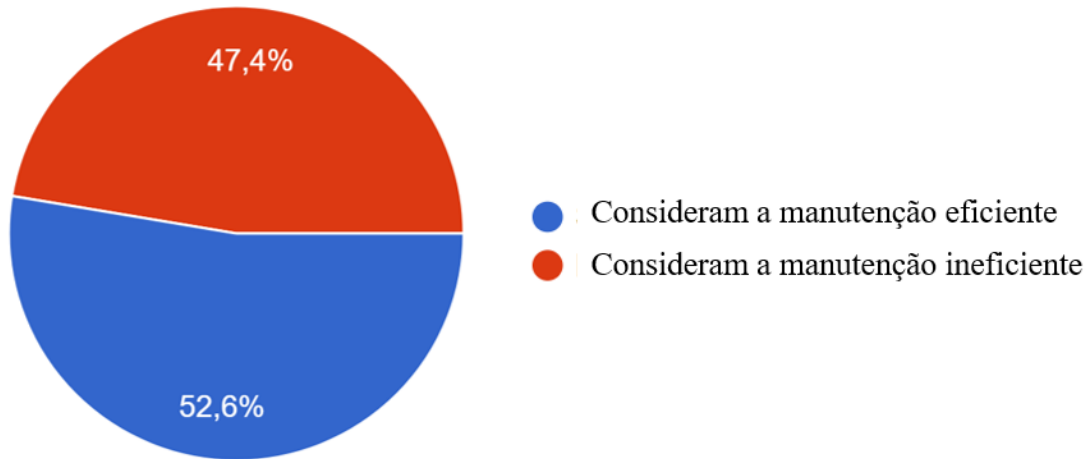
Essa seção abordará os questionamentos quanto à condição dos EEM aos quais os profissionais entrevistados utilizam na execução de seus trabalhos.

A pergunta visava apurar sobre o tempo de uso dos EEM e foi apresentado um resultado que leva à conclusão que os equipamentos são, em sua maioria, novos, com 73,7% dos profissionais respondendo "Sim" e 26,3% para "Não". O que pode ser inferido também é que os EAS dos profissionais entrevistados podem ter passado por recente troca de equipamentos ou ter uma política de renovação periódica deles. Entretanto, nenhuma afirmação pode ser dada com precisão.

Na sequência, foi indagado sobre a percepção de eficiência da manutenção dada aos equipamentos e, obteve-se um resultado de praticamente igualdade, onde 52,6%, como reproduzido na Figura 46, responderam positivamente quanto à eficiência e 47,4% apontaram ineficiência.

Tal dado é importante para verificar que a falta de manutenção adequada pode ser um problema quanto ao bom funcionamento desses equipamentos.

Figura 46 – Opinião quanto à eficiência da manutenção no EAS



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

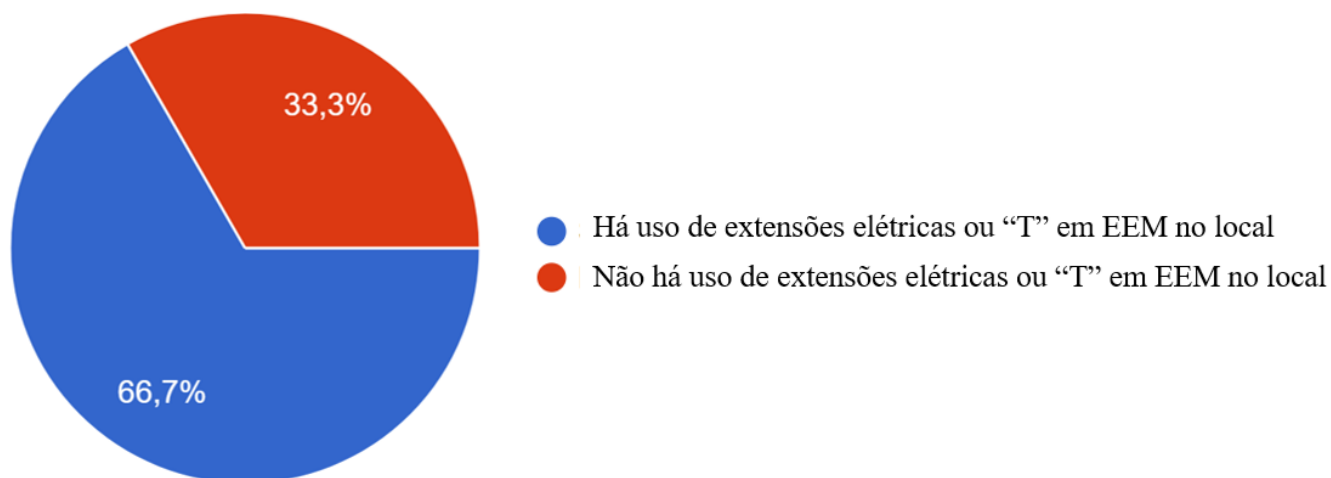
Sobre a presença de equipe específica para manutenção elétrica, 14 dos 19 profissionais apontaram a presença de profissionais para esse tipo de serviço de maneira específica. Ainda no tratamento da manutenção aos equipamentos, todos responderam que, no local de trabalho, há mecanismos para reportar às instâncias superiores a ocorrência de mau funcionamento de equipamentos.

#### 4.1.4.11 Condições das instalações elétricas do local

Quanto às questões que envolvem as instalações elétricas dos EAS, foi perguntado se era considerado que as instalações elétricas do local de trabalho eram adequadas. Mais de 70% disseram considerar as instalações adequadas, sendo 14 das 19 respostas. O resultado é satisfatório quanto à percepção de instalações elétricas, porém, muitos dos problemas relativos às instalações elétricas não são visíveis. As respostas provavelmente foram dadas com base em estado de conservação de tomadas e interruptores e, até, poucas ocorrências de falhas elétricas aparentes.

Outra pergunta realizada para complementar a anterior foi acerca do uso de adaptadores de energia elétrica e extensões elétricas em locais críticos e obteve um resultado alarmante: 66,7% dos entrevistados selecionaram a opção "Sim", chegando a uma quantidade de dois terços dos locais, conforme Figura 47.

Figura 47 – Uso de adaptadores de energia elétrica no ambiente



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O percentual relativo ao uso desses adaptadores pode levar a crer que as instalações elétricas desses locais não são adequadas ou, pelo menos, não sofreram dimensionamento correto de tomadas para satisfazer a quantidade de equipamentos presentes no ambiente.

#### 4.1.4.12 *Uso de celulares em ambientes com EEM*

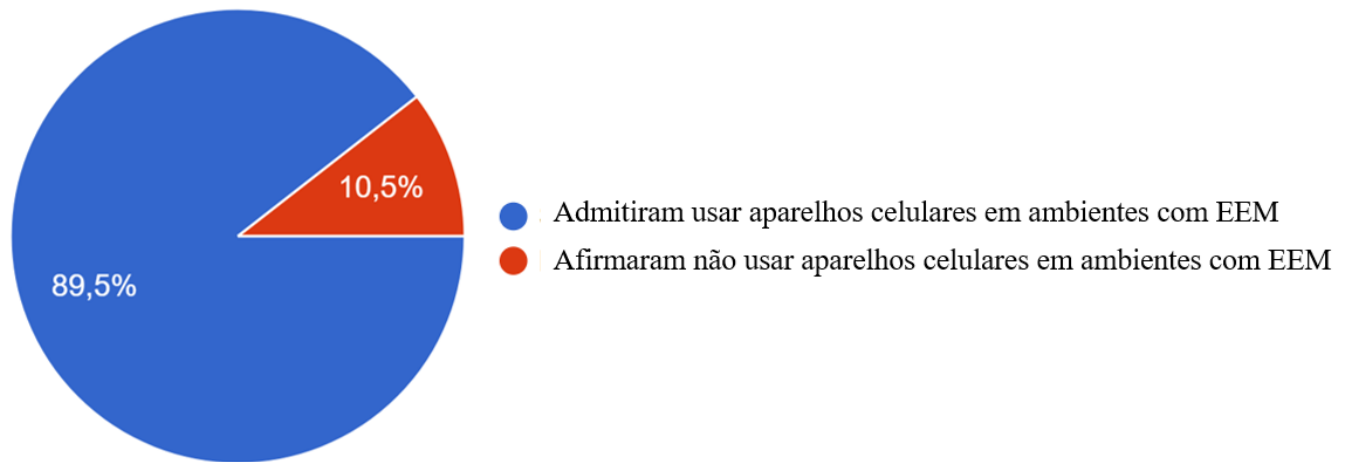
É importante saber quanto à utilização de aparelhos celulares no local de trabalho, principalmente em relação à incompatibilidade eletromagnética (EMI) que pode ocorrer entre esses e os equipamentos eletromédicos, como tratado no capítulo anterior.

As respostas, conforme pode ser visualizado na Figura 48, não fugiram do que era esperado, considerando a larga utilização desse tipo de dispositivo por quase todos diariamente e obteve-se que quase 90% dos profissionais assumiram fazer uso em locais com EEM em funcionamento.

Outros entes participantes do ambiente, os pacientes e acompanhantes, também podem utilizar os celulares pessoais. Por isso, foi perguntado se os profissionais observam tal uso. Pouco mais de 70% afirmaram que observam o uso pelos pacientes ou acompanhantes, enquanto os demais não observam.

Quanto à regulação pela administração das instituições acerca do uso de celulares, dos 19 profissionais, 14 responderam que, na instituição, não há norma própria do local delimitando ou proibindo o uso de *smartphones* em ambientes controlados dos EAS e os demais, 26,3% afirmaram que há norma, podendo o resultado ser observado na Figura 49.

Figura 48 – Uso de aparelho celular no ambiente de trabalho com EEM



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Figura 49 – Presença de norma interna para regular uso de celulares em ambientes controlados



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

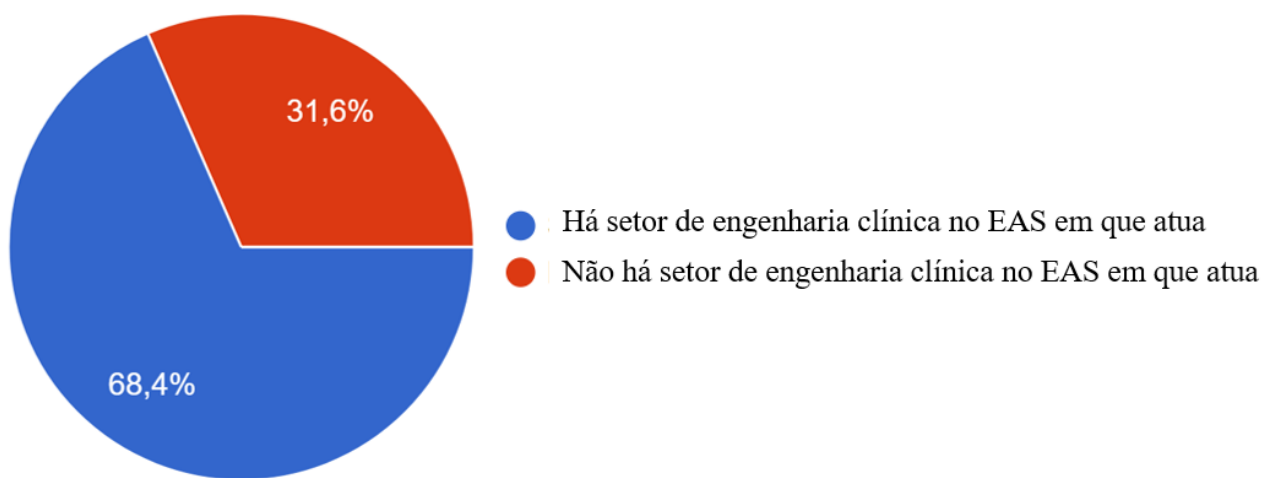
Por coincidência, o mesmo percentual de profissionais que responderam haver normativa referente ao citado é o percentual que apontou uso de celulares por pacientes acompanhantes. Numa dedução mais direta, é possível assumir que os acompanhantes e pacientes podem ser mais obedientes às normativas do ambiente hospitalar ou semelhante.

Sobre a utilização de celulares, logicamente, não pode-se descartar o uso necessário deles, principalmente para meio de comunicação entre pacientes e familiares, ou algo semelhante, bem como o uso recreativo, quando a condição de saúde do paciente permite. O que pode ser inadequado é o uso em locais em que a consequência pode ser o prejuízo à saúde do paciente.

#### 4.1.4.13 Relação dos profissionais com a engenharia clínica

Como já estudado, a engenharia clínica em muito contribui para o bom funcionamento de EAS em diversas áreas, inclusive em relação às instalações elétricas e aos equipamentos eletromédicos. Para aferir a presença dela, foi perguntado se na instituição em que o profissional atua há setor específico de engenharia clínica. Obteve-se 68,4% de respostas positivas e 31,6% negativas, como mostrado na Figura 50. Considerando que na região do estado com maior número de respostas o conceito de engenharia clínica ainda é recente, vê-se como importante que a maioria dos EAS já conta com tão importante atuação.

Figura 50 – Atuação da engenharia clínica nos locais de trabalho



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Para os que responderam sobre a ausência de setor de engenharia clínica, foi perguntado se já havia ouvido falar acerca dela. 6 profissionais haviam dado a resposta anterior como negativa e, deles, metade afirmou nunca ter ouvido falar da engenharia clínica. Tomando como base a amostra total, cerca de 16% ainda não havia tido qualquer contato com ela. Com o crescimento da presença de profissionais da área em EAS, acredita-se que daqui a um curto período de tempo, todos, ou praticamente todos os profissionais terão contato direto ou indireto com a área.

Finalmente, quando perguntados sobre a importância da engenharia clínica, todos os que têm contato com ela reconheceram sua importância, não havendo nenhuma resposta negativa. Concluindo, um dos profissionais que respondeu às perguntas deixou um comentário que é importante para verificar a essencialidade da engenharia clínica em EAS: "Uma equipe de engenharia clínica é de grande importância. É um engano pensar que uma instituição de saúde precisa apenas de uma equipe médica eficiente e qualificada para seu perfeito funcionamento." Devido às regras apresentadas no escopo do formulário, o autor da afirmação não será identificado.

#### **4.1.4.14 Impressões sobre o mau funcionamento de EEM**

Encerrando a pesquisa para os profissionais de saúde, foi deixado um espaço para que eles discorressem sobre como equipamentos com mau funcionamento poderiam prejudicar os profissionais e pacientes em EAS. Os principais pontos apresentados foram:

- Problemas de diagnóstico impreciso ou incorreto acarretando tratamento inadequado ou ineficiente;
- Atraso no atendimento desde o diagnóstico até o tratamento. Quando o quadro do paciente depende de ação imediata após diagnóstico, as consequências da demora na conclusão do diagnóstico pode ser muito prejudicial;
- Pode ocasionar lesão física, dependendo do equipamento;
- Apresentação de parâmetros de monitoração incorretos.

Alguns citaram que a falha de equipamentos pode comprometer a qualidade do trabalho prestado, que é o objetivo principal da atuação do profissional.

#### **4.1.5 Respostas dos profissionais de engenharia clínica**

Aqui serão apresentadas as perguntas e respostas mais relevantes destinadas aos profissionais atuantes na área de engenharia clínica.

##### **4.1.5.1 Informações sobre formação e atuação**

Dos 2 profissionais da área que responderam ao questionário, um disse ter formação técnica em eletrônica e em equipamentos biomédicos e o outro em enfermagem, com experiência em manipulação de equipamentos eletromédicos. Os dois profissionais afirmaram ter mais de 10 anos de tempo de formação e mais de 9 anos de atuação.

##### **4.1.5.2 Instalações elétricas e equipamentos eletromédicos**

Em relação à importância de instalações elétricas de qualidade, foi perguntado:

Como esperado, os profissionais responderam que instalações elétricas executadas com qualidade e observando as normas vigentes são fundamentais para a segurança do paciente, da instituição, dos ambientes e dos usuários.

Acerca de quais EEM os profissionais têm mais contato durante a execução dos serviços nas instituições, foram listados:

- Cardioversores;

- Eletrocardiógrafos;
- Focos cirúrgicos;
- Monitores;
- Torres de vídeo-cirurgia;
- Equipamentos de imagiologia.

Quando perguntados sobre as condições das instalações elétricas do prédio em que trabalham, 1 respondeu que elas são novas e o outro que as instalações são antigas e que não sofreram manutenção ou readequação recente. Sobre as instalações estarem adequadas às normas que as regulamentam, ambos responderam que elas estão de acordo, mesma resposta dada quando perguntados sobre a presença de rede elétrica estabilizada no EAS.

Uma outra pergunta relevante foi acerca da presença de alimentação de backup, para o caso de falta de fornecimento de energia elétrica pela concessionária. Os profissionais afirmaram que há sim, rede de backup redundante para possibilitar a manutenção do fornecimento ininterrupto de energia elétrica.

Visando entender os equipamentos mais suscetíveis a falhas em consequência do mau funcionamento da rede elétrica, os profissionais foram submetidos a uma questão para que listassem os EEM que se enquadram nessa característica, segundo a visão deles. Os mais citados foram EEM de aquisição de imagens (aparelho de raios-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultrassonografia), em sequência equipamentos de monitoramento e vídeo-cirurgia. Ainda foram citados eletrocardiógrafos e aparelho de encefalograma. É possível deduzir que, então, boa parte dos equipamentos é sensível a falhas na rede elétrica, alguns até de maior importância para o bom atendimento ao paciente, como os monitores multiparamétricos, que são imprescindíveis para avaliação do paciente internado ou não.

Outra informação importante dada pelos profissionais é sobre o dimensionamento de cargas do local de trabalho, onde ambos responderam estar adequado conforme a quantidade de equipamentos utilizados. Sobre a ocorrência de funcionamento inadequado de EEM relativo a problemas da rede elétrica, 1 dos profissionais respondeu que há sim, no local de trabalho, e que essas falhas ocorrem em equipamentos que podem causar incorreções no diagnóstico e tratamento de pacientes, por serem de maior complexidade.

Duas respostas que foram satisfatórias quanto à segurança de funcionamento dos locais de trabalho dos profissionais entrevistados foram quanto à atenção dada em relação às manutenções solicitadas ou melhorias sugeridas pelo setor de engenharia clínica. Ambos responderam que as demandas são atendidas pela administração das instituições.

#### 4.1.5.3 *Práticas inadequadas no uso de EEM ou das instalações elétricas*

Sobre a observação de conduta incorreta no uso de EEM, foram listadas a supressão do pino terra das tomadas dos equipamentos, provavelmente devido a instalações elétricas inadequadas ou antigas, que ainda não possuem aterramento, o que pode ser considerado grave para o funcionamento adequado do EEM, bem como da proteção dele e daqueles que o operam e também a prática de manutenções paliativas ou provisórias na rede elétrica que podem comprometer o funcionamento adequado dos equipamentos. Essa última prática teve como justificativa a falta de recursos financeiros da instituição para promover manutenções de melhor qualidade e definitivas.

Finalmente, foi abordado como eles enxergam a receptividade dos profissionais de saúde em relação à presença da engenharia clínica nas instituições de saúde. Ambos responderam que a receptividade é boa, principalmente quanto à segurança que a atuação dessa área proporciona nesses ambientes, tanto a profissionais quanto a pacientes.

Para concluir a pesquisa, foi sugerido aos profissionais da engenharia clínica que apontassem quais as normas ou procedimentos julgados importantes para o funcionamento adequado de EEM em relação a instalações elétricas. Um dos profissionais apresentou informações que julgou importantes, separadas por área:

- **Segurança elétrica:** as instalações devem ser projetadas para minimizar o risco de choques elétricos, incluindo o uso de dispositivos de proteção como disjuntores diferenciais (DR). Sobre o aterramento, todas as partes metálicas devem ser equipotencializadas para evitar diferenças de potencial que possam causar choques;
- **Sinalização:** todos os painéis elétricos, disjuntores e áreas com riscos elétricos devem ser claramente sinalizados para garantir a segurança dos funcionários e visitantes;
- **Confiabilidade e continuidade:** equipamentos críticos, como os utilizados em unidades de terapia intensiva (UTIs) e salas cirúrgicas, devem ter fontes de alimentação ininterrupta para garantir funcionamento contínuo e em caso de falha na rede elétrica, geradores devem ser instalados para assegurar que os serviços essenciais continuem operando;
- **Separação de circuitos e áreas:** equipamentos eletromédicos devem ter circuitos elétricos dedicados para evitar sobrecargas e interferências e as áreas onde equipamentos sensíveis são usados devem ter circuitos separados dos demais;
- **Iluminação adequada:** a iluminação deve ser projetada para atender às necessidades específicas das diferentes áreas da instituição. Em relação às luzes de emergência, áreas críticas devem ter iluminação sobressalente adequada para garantir a segurança em caso de falta de energia;

- **Manutenção regular e treinamento:** verificar regularmente a integridade das instalações elétricas e dos equipamentos e a equipe deve ser treinada sobre o uso seguro dos equipamentos elétricos e os procedimentos, em caso de emergência;
- **Conformidade com normas técnicas:** além da NBR 5410, outras normas específicas podem se aplicar, como as relacionadas à segurança do paciente e ao uso de equipamentos médicos;
- **Projeto e dimensionamento das cargas:** a estrutura e instalação deve ser projetada já pensando no parque de equipamento a ser adquirido. Por medidas de segurança o dimensionamento da carga elétrica tem que ser compatível ou maior, e se caso tiver acréscimos de demandas de equipamentos e máquinas deve ser avaliado preventivamente o aumento do consumo, e atuar na qualidade e melhorias das instalações com manutenções periódicas e adequações conforme a norma NR-10, sendo assim será um ambiente segura para todos.

A seguir serão apresentadas propostas com o intuito de minimizar os problemas causados à EEM devido à qualidade de energia elétrica. Elas têm como base os estudos realizados e também informações capturadas na pesquisa realizada através do formulário.

## 4.2 Análise e recomendações para minimização de problemas em EEM

Com base no conteúdo teórico apresentado atrelado ao conhecimento adquirido de alguns dos equipamentos eletromédicos, conjugado a algumas respostas dadas no tópico 4.1.4.8 serão apresentados alguns pontos de atenção, objetivando mitigar problemas relacionados à qualidade de energia elétrica, causando mau funcionamento em EEM, sabendo que a segurança do paciente é a razão principal para minimizar esses problemas e suas consequências. Os pontos apresentados na sequência serão relativos, principalmente, aos ambientes classificados pela norma NBR 13.534:2008 como grupo 2, sendo o local médico destinado à utilização de partes aplicadas em procedimentos intracardíacos, cirúrgicos, de sustentação de vida de pacientes e outras aplicações em que a descontinuidade da alimentação elétrica pode resultar em morte (ABNT, 2008).

### 4.2.1 Alimentação elétrica em EAS

A alimentação de energia elétrica para Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) é uma das prioridades para a segurança do funcionamento dos equipamentos eletromédicos. O fornecimento adequado da energia elétrica, conforme normas e regras impostas, por exemplo, pela ANEEL, mostra-se necessário para que problemas sejam evitados.

Na Figura 51, pode-se observar o título de uma veiculação no portal G1, de 8 de maio de 2020, onde a morte de dois pacientes pode ter tido como responsável a falta de energia em um hospital da cidade do Rio de Janeiro, causada, em tese, por falha no gerador da unidade.

Figura 51 – Mortes com causa possível de mau funcionamento de sistema de geração de energia elétrica em hospital



Fonte: Portal G1, acessado em 21 mai. 2025.

Analisados apontamentos dos profissionais de engenharia clínica que responderam ao formulário, quanto à confiabilidade e continuidade, atrelado ao fato de que os equipamentos do grupo 2 de EAS não podem sofrer interrupções do fornecimento de energia elétrica, é necessário que esses locais possuam suprimento reserva de energia elétrica capaz de permitir a normalidade da operação enquanto o fornecimento convencional é restabelecido, em caso de acidentes na rede elétrica ou outros fatores que poderiam causar tal fato. Além de baterias acopladas aos próprios equipamentos, alimentações de backup dos hospitais devem ser dimensionadas para garantir o fornecimento ininterrupto.

A norma ABNT NBR 13.534:2008 preconiza, em seu anexo AA, o tempo de fornecimento disponível de maneira automática, conforme o nível de riscos aos pacientes que a interrupção de fornecimento pode causar, o que pode ser visto na Figura 52.

São alguns exemplos de locais médicos divididos por classes, segundo a ABNT NBR 13.534:2008:

- **Classe 0,5 (interrupção breve):** sala de procedimentos invasivos e sala de emergência para politraumatismos e parada cardíaca;
- **Classe 15 (interrupção média):** sala de inalação e reidratação, e salas de hemodinâmica;
- **Classe > 15 (interrupção longa):** posto de enfermagem e sala de curativos.

Figura 52 – Classificação de serviços de segurança para EAS - ABNT NBR 13.534:2008

Classe 0 (sem interrupção)	Alimentação disponível automaticamente sem interrupção
Classe 0,15 (interrupção muito breve)	Alimentação disponível automaticamente em até 0,15 s
Classe 0,5 (interrupção breve)	Alimentação disponível automaticamente em até 0,5 s
Classe 15 (interrupção média)	Alimentação disponível automaticamente em até 15 s
Classe > 15 (interrupção longa)	Alimentação disponível automaticamente em mais de 15 s
<p>NOTA 1 De um modo geral, não é necessário prover alimentação ininterrupta para equipamentos eletromédicos. Entretanto, determinados equipamentos controlados por microprocessador podem exigir uma alimentação desse tipo.</p> <p>NOTA 2 A alimentação de segurança destinada a locais enquadrados em mais de uma classe deve satisfazer os requisitos da classe que demanda uma maior segurança de alimentação. O Anexo BB traz orientação sobre a correspondência entre tipo de local médico, grupo em que se enquadra e classe de alimentação de segurança.</p> <p>NOTA 3 A expressão "em até" significa "<math>\leq</math>".</p> <p>NOTA 4 A classificação apresentada na tabela é a mesma que consta na ABNT NBR 5410. Na prática, porém, a classe 0,15 não é levada em conta nesta Norma.</p>	

Fonte: (ABNT, 2008).

Devido a tudo isso, pode-se elencar algumas das vantagens do uso de grupos de baterias ou nobreaks em EAS:

- Continuidade dos serviços para não haver interrupção de procedimentos vitais, bem como o funcionamento de equipamentos críticos à qualidade de atendimento ao paciente, como ventiladores pulmonares, monitores paramétricos e outros tipos de EEM;
- Os nobreaks podem proteger equipamentos contra danos causados por flutuações e quedas de energia;
- Tais equipamentos podem promover estabilização da tensão de alimentação, mitigando possíveis falhas de EEM.

Destaca-se também que a presença de sistema de geração de energia elétrica nos hospitais é uma prática muito importante como alternativa de alimentação reserva em caso de interrupções, bem como a adoção de sistemas fotovoltaicos em conjunto com bancos de bateria.

Em suma, promover sistemas eficientes de backup de alimentação elétrica é imprescindível para o funcionamento de estabelecimentos de saúde, e a falta deles pode ocasionar efeitos danosos à segurança dos pacientes.

### 4.2.2 Projetos elétricos em EAS

O projeto adequado de instituições de saúde, principalmente antes de sua implementação, é outro item importante para a segurança elétrica dos ambientes. O levantamento de cargas adequado, somado ao dimensionamento correto da alimentação, sistemas de proteção, divisão de circuitos e outros processos, é primordial para que, durante o funcionamento, a probabilidade de panes elétricas seja diminuída.

Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) são consideradas instalações especiais com várias particularidades, ou seja, alimentam cargas críticas, as quais suprem circuitos destinados à sustentação e ao monitoramento da vida dos pacientes. Isso requer cuidados especiais desde a fase de projeto, instalação até a operação dos circuitos elétricos (Castellari, 2013).

Uma matéria veiculada no portal G1, em 15 de dezembro de 2023, que pode ter seu título visto na Figura 53 aponta para óbitos de pacientes possivelmente causados por falta de energia elétrica em um hospital na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, ocasionada por incêndio iniciado na rede elétrica do local.

Figura 53 – Matéria do portal G1 sobre mortes em hospital por possível pane em rede elétrica



Fonte: Portal G1, acessado em 21 mai. 2025.

Acidentes como o mostrado na matéria jornalística podem ser causados por curto-circuitos, sobrecarga de circuitos e diversos outros fatores advindos de instalações elétricas mal projetadas ou executadas à margem das normas vigentes.

A instalação elétrica de um EAS deve ser iniciada com a construção de um projeto referenciado em regulamentos técnicos e normativas em vigência, podendo ser citados, além das normas ABNT NBR 5410/2004 e ABNT 13534/2008, já largamente citadas neste trabalho, a ABNT

NBR 5419/2005 (proteção de estruturas contra descargas atmosféricas), a Portaria 2.662/1995 do Ministério da Saúde (requisitos de segurança para instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde) e a Resolução RDC 50/2002, também já citada.

Dentro do projeto elétrico, alguns pontos merecem destaque, e serão apresentados sucintamente, para melhor compreensão.

- **Aterramento:** todas as instalações elétricas de um EAS devem possuir um sistema de aterramento que leve em consideração a equipotencialidade das massas metálicas expostas em uma instalação, sendo vedado o uso do sistema TN-C (terra neutro combinado em um único condutor). Todos os sistemas devem atender às normas vigentes, no que diz respeito ao sistema de aterramento. Outra questão é que nenhuma tubulação destinada a instalação pode ser usada para fins de aterramento. No entanto, tubulações de gases devem ser interligadas com o sistema de aterramento para equipotencialização. (Castellari, 2013);
- **Instalações em zonas de risco:** deve haver utilização de piso condutivo, que é um tipo de pavimento utilizado em hospitais para impedir a acumulação de cargas eletrostáticas devido ao seu material de fabricação, somente quando houver uso de misturas anestésicas inflamáveis com oxigênio ou óxido nitroso, bem como quando houver agentes de desinfecção. Inclui-se também a proibição de instalação de quadros de distribuição em tais zonas (Castellari, 2013);
- **Proteção de instalações elétricas e equipamentos:** as regras de acessibilidade da ABNT NBR 5410 para pessoas comuns podem diferir de pessoas treinadas ou instruídas e podem também variar para diferentes produtos e locais. Enfermeiras, por exemplo, não devem acessar de forma alguma quadros elétricos. A proteção sob condições normais é provida pela proteção básica. A proteção destinada a suprir a proteção contra choques elétricos quando as massas ou as partes condutíveis acessíveis tornam-se acidentalmente vivas, ou de forma genérica, aquela destinada a preservar a segurança em caso de falha da proteção básica. Esta proteção é provida pela proteção supletiva (Castellari, 2013).

A proteção básica é relativa à imposição de obstáculos de acesso às localizações importantes e críticas das instalações elétricas, sendo também importante a sinalização e o controle de acesso.

Já a proteção suplementar engloba mecanismos técnicos, como proteção com aterramento equipotencial, utilização do condutor PE (proteção elétrica), uso de disjuntores ou fusíveis, dos conhecidos DRs (dispositivos diferenciais residuais) ou, ainda, dos IDRs (interruptores diferenciais residuais), que conferem proteção contra correntes de fuga, resguardando a ocorrência de choque elétrico.

Entre as particularidades das instalações elétricas em ambientes assistenciais de saúde, destacam-se a necessidade de sistemas de energia de reserva, como os geradores, para garantir o fornecimento contínuo de energia em casos de falhas na rede elétrica principal. Além disso, é fundamental a utilização de dispositivos de proteção diferencial residual (DR) e dispositivos de proteção contra surtos (DPS) para prevenir choques elétricos e danos aos equipamentos em situações de sobretensão (Silva, 2024).

Acerca da separação de circuitos, outro ponto importante de projetos elétricos voltados a EAS, pode-se destacar:

- **Circuitos normais:** usados para alimentação de cargas de uso geral, com menor necessidade de continuidade de fornecimento;
- **Circuitos críticos:** alimentam sistemas e equipamentos essenciais para o funcionamento do hospital, como iluminação de emergência, sistemas de segurança e EEM;
- **Circuitos do sistema IT médico:** o sistema IT é aquele onde não há ligação direta entre o terra e os condutores de alimentação. Em EAS, circuitos que utilizam esse sistema visam garantir a segurança de pacientes em área de risco, como salas cirúrgicas e UTIs, a fim de evitar choques elétricos.

O conhecimento das normas e procedimentos de segurança é fundamental para garantir o funcionamento seguro e eficiente das instalações elétricas, contribuindo para a proteção da vida e saúde dos pacientes e profissionais de saúde (Silva, 2024).

Conclui-se então, que os projetos elétricos destinados a EAS, assim como os demais, devem obedecer às normas criadas para regulamentá-los. Especificamente, os voltados a EAS, devido à criticidade de tais instalações, devem ser projetados e executados com todo o rigor técnico possível, a fim de evitar funcionamentos inadequados, panes e até interrupções, podendo comprometer drasticamente o atendimento a pacientes.

### 4.2.3 *Manutenções em sistemas elétricos de EAS*

Como em qualquer sistema ou instalação, manutenções preventivas são essenciais para o funcionamento adequado. Quando fala-se em EAS, devido à necessidade de ininterruptibilidade de energia de alguns ambientes dessas edificações, leva a uma necessidade e a uma dificuldade. A necessidade diz respeito à importância de manter manutenções preventivas periódicas com o objetivo de antever problemas que poderiam ocorrer se não houvesse tais intervenções, que visam conferir instalações e analisar parâmetros diversos da rede. A dificuldade diz respeito ao

desafio de realizar procedimentos de manutenções preventivas sem interromper o funcionamento da rede elétrica, devido a provavelmente o EAS estar em pleno funcionamento. Cabe ressaltar que a grande maioria dos hospitais que possuem atendimento de urgência e emergência tem funcionamento pleno, ou seja, ficam abertos nas 24 horas do dia.

Figura 54 – Reprodução de profissional durante manutenção preventiva



Fonte: Verzani & Sandrini Facilities, acessado em 21 mai. 2025.

Devido a isto, faz-se necessário planejamento criterioso, em alguns casos denominado plano de prevenção, considerando todos os fatores necessários para o cumprimento da tarefa. Tal planejamento deve conter um cronograma de execução, os equipamentos e instalações a serem vistoriados, os equipamentos e medidores utilizados na manutenção e até um plano de contingência, para lidar corretamente, caso ocorram imprevistos. A metodologia de como realizar os testes também é importante, bem como o acesso a projetos elétricos e diagramas da instalação elétrica, quando possível. Na Figura 54 pode-se observar um profissional durante a execução de um procedimento de manutenção em EAS.

São várias as ferramentas que contribuem para a efetiva manutenção preventiva, sendo instrumentos de medição, como multímetros e similares. Em relação a QEE, pode ser utilizado o qualímetro, dispositivo estudado neste trabalho e, como sugestão, uma das técnicas que pode ser usada para atestar o funcionamento de uma rede elétrica é a termografia, ou análise termográfica, que é uma ferramenta utilizada para se detectar pontos de aquecimento no sistema elétrico, causados principalmente por maus contatos. Por se tratar de medição sem contato físico e sem desligamento do sistema, permite a inspeção de grande quantidade de equipamentos em espaço reduzido de tempo. Deve ser realizada anualmente e sempre que uma manutenção preventiva esteja programada, facilitando as intervenções corretivas necessárias (COUTINHO, 2015). O dispositivo utilizado para a termografia é a câmera termográfica, que pode ser visualizada na

Figura 55.

Figura 55 – Câmera termográfica em uso.



Fonte: ISAR - Isolamentos térmicos e acústicos, acessado em 21 mai. 2025.

Deve ser criada uma rotina de manutenção semanal, mensal e anual, conforme a criticidade de cada tipo de instalação. As manutenções devem ocorrer sem prejudicar a continuidade de operação do hospital (COUTINHO, 2015).

Outros aconselhamentos são importantes quanto à boa execução de manutenções preventivas: utilização de profissionais capacitados e qualificados para promover procedimentos tão críticos como esse tipo de manutenção. É pertinente também registrar e documentar de maneira clara e acessível acerca do que foi realizado, para que esses registros possam ser usados para consultas em procedimentos posteriores.

#### **4.2.4 *Treinamento e capacitação em EAS***

Um dos problemas apresentados como possível causa de falhas de EEM, no 4.1.4.8 foi relativo à operação inadequada de EEM, possivelmente relacionada à falta de treinamento e capacitação dos profissionais. O manuseio incorreto de EEM pode iniciar já na alimentação, antes do acionamento, de fato, do equipamento. Foi abordada neste capítulo a importância da separação de circuitos elétricos conforme o grau de criticidade dos equipamentos alimentados por eles. Considerando isto, a alimentação de um EEM crítico em, por exemplo, uma tomada de uso geral que não atende às necessidades de continuidade e confiabilidade pertinentes ao equipamento, poderia acarretar funcionamento indesejável ou até o não funcionamento dele.

É cada vez mais importante conhecer e saber utilizar EEM de forma correta, resultando assim em diminuição de custos, já que as falhas por erros no manuseio tornam-se menores, e também melhor qualidade no atendimento, uma vez que, também se torna mais atento aos parâmetros de segurança ao utilizar os EEM e consegue contribuir de forma positiva para a instituição em que atua (Chaves, 2022).

A execução de treinamentos periódicos, como apontado na Figura 56, com abordagem de assuntos pertinentes aos que foram apresentados em respostas do formulário, como o uso indiscriminado de celulares em ambientes críticos de EAS, a conexão de extensões de energia elétrica e adaptadores “T” na rede elétrica, bem como capacitações voltadas para a própria operação dos EEM, permitindo ao profissional, inclusive, o diagnóstico de falhas do equipamento ocasionadas por falhas na rede elétrica local, poderia contribuir para o melhor funcionamento geral das estruturas de equipamentos de EAS. A segurança também, tida como primordial em ambientes laborais, considerando o trabalho direto com equipamentos elétricos, alguns até de alta potência de operação, é de carente abordagem em treinamentos teóricos e, principalmente, práticos, a fim de evitar acidentes, como choques elétricos e similares.

Figura 56 – Treinamento em EAS.



Fonte: ISGH - Instituto de Saúde e Gestão Hospitalar, acessado em 22 mai. 2025.

O aconselhamento a treinamentos não foge do escopo do trabalho, porque, em muitos casos, a qualidade da energia elétrica está diretamente ligada ao comportamento de colaboradores e profissionais, como no caso de utilização indevida de extensões, adaptadores de energia, supressão do pino terra de equipamentos, entre outras condutas indesejáveis no ambiente de trabalho.

Conclui-se, então, que o investimento de tempo para treinamentos e capacitações no ambiente de EAS configura-se como item relevante para o bom andamento dos serviços de

saúde, principalmente os relacionados ao manuseio e operação de EEM.

#### 4.2.5 Investimentos em estrutura e equipamentos

No Capítulo 2 deste trabalho, mais especificamente no tópico 2.1.2, foram abordados os principais fatos relevantes do avanço na tecnologia na medicina moderna, englobando os avanços nas estruturas e equipamentos, bem como nos procedimentos médicos, como cirurgias robóticas e o uso da realidade virtual e da inteligência artificial em EAS.

Entretanto, embora a tecnologia seja imprescindível para a melhoria dos atendimentos gerais na área da saúde, a realidade de boa parte das instituições de saúde, principalmente as públicas, não possibilita o uso dessas tecnologias.

A Figura 57 mostra o título de uma matéria veiculada no portal Medicina S/A, em 9 de maio de 2019, apontando que em uma fiscalização do Conselho Federal de Medicina, realizada em 2018, abrangendo 506 hospitais públicos, foram encontradas diversas irregularidades e sinais de precarização do sistema de saúde. Em relação aos EEM, a fiscalização apontou que, das 102 salas cirúrgicas fiscalizadas, 33%, ou seja, mais de 30 salas, não possuíam foco cirúrgico com bateria, ou seja, no caso de uma falha no fornecimento de energia elétrica para aquele ambiente, durante uma cirurgia em condições de baixa iluminação natural, os profissionais poderiam ficar às escuras.

Figura 57 – Matéria sobre a precarização de hospitais.



Fonte: Portal Medicina S/A, acessado em 22 mai. 2025.

É sabido que a tecnologia tem avançado muito, inclusive em relação a equipamentos eletromédicos, onde é possível encontrar no mercado EEM que dispõe de avançados sistemas de proteção contra boa parte dos surtos e falhas de QEE apresentados neste trabalho. Entretanto, boa parte dos EAS, principalmente os de gestão pública, não dispõe de recursos para manter sempre um parque atualizado de equipamentos e estruturas físicas, que geralmente são consideravelmente onerosos, atrelados ainda à complexidade de construir processos licitatórios em conformidade com as leis de controle.

A Figura 58 mostra o título de uma matéria jornalística publicada em 2023 sobre a queda de investimento em saúde pública no Brasil. Segundo a mesma matéria, o investimento total feito passou de R\$16,8 bilhões para R\$6,4 bilhões, de 2013 para 2023, representando uma queda de 64%. Tais recursos são usados para melhor equipar e promover a reforma de EAS.

Figura 58 – Estudo indica queda de investimentos em saúde pública no país.



Fonte: Portal UOL, acessado em 22 mai. 2025.

Os dados apresentados não refletem críticas do autor em relação às administrações públicas, sendo considerada a complexidade que envolve a gestão, tanto de recursos públicos, quanto do colossal Sistema Único de Saúde (SUS). Porém, faz-se importante ressaltar que a robustez de investimentos na área da saúde, falando principalmente de melhor estruturação de EAS, inclusive quanto ao fornecimento de equipamentos de última geração, contribuiria para gerar maior confiabilidade e segurança no uso das estruturas de hospitais e afins.

Ademais ao que foi apresentado visando propor melhorias, cabe ressaltar que o surgimento e crescimento da atuação de profissionais da engenharia clínica em EAS é de grande valia para que todas as normas e procedimentos corretos sejam observados, englobando também aqueles que convergem para a qualidade de energia elétrica nesses ambientes, proporcionando melhor funcionamento dos equipamentos eletromédicos. Tal ramo de especialização da engenharia também é muito útil na atuação de controle e gestão de equipamentos e instalações, planejamento de compras de equipamentos e gestão de manutenções.

Além do que foi proposto, sabe-se que muitas outras alternativas podem contribuir para a melhoria nas condições de infraestrutura elétrica e tecnológica de estabelecimentos assistenciais de saúde e, com isso, evitar que mortes sejam causadas por falhas ou mau funcionamento de equipamentos eletromédicos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade de energia elétrica é um fator preponderante para o desempenho adequado de instalações e equipamentos em geral. Quando se trata de equipamentos eletromédicos, aqueles utilizados em ambientes hospitalares e afins, atuando como ferramentas essenciais para atendimento a pessoas, a observação de práticas que contribuam para atingir a QEE nesses locais, livrando suas instalações de perturbações e problemas gerais que a comprometem, é essencial. Para tal, a obediência às normas técnicas em todas as partes que envolvem a segurança, o planejamento adequado de manutenções e outros fatores, como treinamentos periódicos, são imprescindíveis para o melhor funcionamento desses equipamentos, a fim de conferir diagnósticos e tratamentos precisos e seguros a todos.

Quando o bom funcionamento de um sistema ou equipamento pode estar atrelado à qualidade do diagnóstico ou de tratamento de um ser humano ou até à sua própria sobrevivência, todo esforço tem de ser canalizado para que tudo esteja em conformidade com os mais rígidos padrões de confiabilidade.

Foi possível enxergar a importância da Engenharia Clínica para gerenciar toda a estrutura tecnológica em EAS, que tem um peso de importância e complexidade bem grandes. Acredita-se que o crescimento da quantidade de profissionais capacitados nessa área de conhecimento corrobore para que, brevemente, possa-se ter profissionais dedicados a isto em todas as instituições de saúde, quer privadas ou públicas.

Quanto às regulações que envolvem os ambientes hospitalares, em relação aos EEM e às instalações elétricas, a atualização das normas conforme o avanço tecnológico, bem como o fortalecimento de parcerias já existentes entre a ABNT e órgãos como o IEC, ANVISA e outros, podem também cooperar para o aperfeiçoamento de toda a vasta estrutura de EAS do país. A fiscalização também é uma importante ferramenta de aperfeiçoamento da qualidade das instalações dos EAS e órgãos como o CREA devem continuar mantendo os olhos abertos para esses tipos de edificações.

Aos órgãos públicos, principalmente ao Ministério da Saúde e às secretarias estaduais e municipais de saúde, englobando as prefeituras, cabe enfatizar que os investimentos pujantes em equipamentos, estruturas e instalações de qualidade na área da saúde, projetadas com profissionalismo e rigor técnico, podem salvar vidas, assim como o investimento em melhores condições de trabalho a profissionais e, ainda, em medicamentos para a população de baixa renda. A tecnologia tem muito a oferecer à saúde, mas ela depende de pesquisas, e estas dependem também de investimentos.

Para estudos futuros, vislumbra-se o aprofundamento na pesquisa dos mesmos impactos em ambientes de *home care*, onde são estruturadas instalações praticamente idênticas às salas de internação e UTIs, mas em ambientes domésticos, contendo diversos EEM estudados neste trabalho, para tratamento e cuidados a pacientes acamados e com mobilidade reduzida. O estudo

teria como objetivo a criação de procedimentos e orientações que permitissem, a baixo custo, conferir qualidade às instalações elétricas nesses ambientes, muitas vezes montados com muito esforço, devido às condições econômicas precárias da população.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. d. N. T. **NBR: Instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos específicos para instalação em estabelecimentos assistenciais de saúde.** [S.l.]: ABNT, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 76 e 78.
- ABNT, A. B. de N. T. **NBR: Instalações elétricas de baixa tensão.** [S.l.]: ABNT, 2004. Citado na página 40.
- ALMEIDA, L. M.; SILVA, H. T. H. Equipamento médico-hospitalar: uma gestão na área da saúde. **IJHE-Interdisciplinary Journal of Health Education**, v. 1, n. 1, 2016. Citado na página 1.
- ALMEIDA, M. J. de. Tecnologia e medicina: uma visão da academia. **Revista bioética**, v. 8, n. 1, 2000. Citado na página 1.
- ANEEL, A. N. d. E. E. Regras e procedimentos de distribuição de energia elétrica - prodist. Aneel, 2022. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 28.
- ANVISA, A. N. d. V. S. Manual para regularização de equipamentos médicos na ANVISA. p. 9, 2021. Citado na página 15.
- BETTS, W. F. Cost-effective clinical engineering programs: an expanding role in hospitals. **Journal of Clinical Engineering**, LWW, v. 12, n. 2, p. 119–126, 1987. Citado na página 45.
- CASTELLARI, S. Capítulo iii - instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde. **Revista O Setor Elétrico, São Paulo**, v. 86, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 79 e 80.
- CHAVES, M. Â. F. **Avaliação dos impactos de treinamento na implantação de um novo equipamento de ECG na ala cardíaca de um hospital privado do município do Natal/RN.** Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Citado na página 84.
- COUTINHO, A. **O papel da Energia Elétrica nos Hospitais.** 2015. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 83.
- COUTINHO, I. M. de A. *et al.* Avanços na técnica cirúrgica laparoscópica em cirurgia geral. **Periódicos Brasil. Pesquisa Científica**, v. 3, n. 1, p. 01–10, 2024. Citado na página 10.
- DECKMANN, S. M. D. *et al.* Qualidade da energia elétrica, conceituação e processamento digital. Sociedade Brasileira de Automática, São Paulo, SP, 2024. Disponível em <[https://storage.blucher.com.br/book/pdf\\_preview/PDF\\_qualidadeeletrica.pdf](https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/PDF_qualidadeeletrica.pdf)>. Citado na página 22.
- GONÇALVES, L. A. Um estudo sobre a transformada rápida de fourier e aplicações. 2004. Citado na página 27.
- GUSMÃO, I. L. Análise de acidentes elétricos e medidas de prevenção sob a perspectiva da nr10. Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Citado na página 40.
- GUSMÃO, S. História da medicina: evolução e importância. **JBNC-Jornal Brasileiro De Neurocirurgia**, v. 15, n. 1, p. 5–10, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 5.
- JUNIOR, W. V. *et al.* Avaliação do ambiente eletromagnético em estabelecimentos assistenciais de saúde. Florianópolis, SC, 2006. Citado na página 38.

- KIMMEL, W. D.; GERKE, D. **Electromagnetic compatibility in medical equipment: a guide for designers and installers**. [S.l.]: CRC Press, 2018. Citado na página 47.
- LORENZETTI, J.; TRINDADE, L. d. L.; PIRES, D. E. P. d.; RAMOS, F. R. S. Tecnologia, inovação tecnológica e saúde: uma reflexão necessária. **Texto & Contexto-Enfermagem**, SciELO Brasil, v. 21, p. 432–439, 2012. Citado na página 1.
- MACIEL, M. T.; JUNIOR, P. P. A importância da tomografia computadorizada em diagnósticos clínicos. **UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 13, n. 30, p. 234, 2016. Citado na página 19.
- MAMEDE, J. F. **Instalações elétricas industriais**. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2007. Citado na página 25.
- MARRONI, A. C.; MORAES, J. C. T. d. B. Problemas de segurança e desempenho em equipamentos eletromédicos relacionados aos diferentes padrões de alimentação elétrica. **Rev. bras. eng. biomed**, p. 31–44, 2007. Citado na página 16.
- MARTINS, V. A. da S. *et al.* Novas tecnologias em cirurgia robótica e minimamente invasiva: Uma visão geral e comparação com cirurgias tradicionais. **Periódicos Brasil. Pesquisa Científica**, v. 3, n. 2, p. 1728–1732, 2024. Citado na página 11.
- MELO, C. de A. Segurança e confiabilidade da rede elétrica aplicada à área. PUC Minas, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 40, 41, 42 e 47.
- MONTERO, E. F. d. S.; ZANCHET, D. J. Realidade virtual e a medicina. **Acta Cirúrgica Brasileira**, SciELO Brasil, v. 18, p. 489–490, 2003. Citado na página 13.
- MORRELL, A. L. G. *et al.* Evolução e história da cirurgia robótica: da ilusão à realidade. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, SciELO Brasil, v. 48, p. e20202798, 2021. Citado na página 11.
- NASCIMENTO, A. J. d. S. *et al.* Química dos medicamentos: proposta de sequência didática. Universidade Federal de Alagoas, 2022. Citado na página 6.
- PANOUSIS, S. G. *et al.* A study on the current situation in the biomedical technology and clinical engineering sector in bulgaria—advances, trends and needs. **Journal of Clinical Engineering**, LWV, v. 22, n. 6, p. 391–399, 1997. Citado na página 45.
- PAULILLO, G. Capítulo iii desequilíbrios de tensão. **Revista O Setor Elétrico, São Paulo**, v. 86, p. 42–48, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 37.
- PAULILLO, G.; TEIXEIRA, M. Flutuações de tensão. **O Setor Elétrico**, v. 90, p. 1–8, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 35, 36 e 37.
- PRADO, O. Agências reguladoras e transparência: a disponibilização de informações pela aneel. **Revista de Administração Pública**, SciELO Brasil, v. 40, p. 631–646, 2006. Citado na página 22.
- RAMÍREZ, E. F. F. Implantação de serviços de engenharia clínica no hurnp/uel. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 23, n. 1, p. 67–76, 2002. Citado 3 vezes nas páginas 9, 45 e 46.
- RAMOS, M. C.; JÚNIOR, A. A. P. Capítulo xii (final) verificação do impacto da qualidade de energia e das instalações elétricas nos equipamentos eletromédicos. **Revista O Setor Elétrico, São Paulo**, p. 18–28, 2009. Citado 10 vezes nas páginas 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55 e 56.

- REBONATTO, M. T. Métodos para análise de correntes elétricas de equipamentos eletromédicos em procedimentos cirúrgicos e detecção de periculosidade aos pacientes. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2015. Citado na página 14.
- REZENDE, J. d. C. Avaliação de indicadores de qualidade de energia elétrica no prédio do bloco de laboratórios ii da ufersa campus caraúbas. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- RODRIGUES, A. M. Influência da distorção harmônica e de desequilíbrios em medidores de energia elétrica ativa. **Trabalho de conclusão de curso–Universidade Federal do Paraná–2009**, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 30.
- SANTOS, F. J. Introdução às séries de fourier. **Belo Horizonte: PUC Minas, Instituto de**, p. 93, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- SANTOS, M. K. *et al.* Inteligência artificial, aprendizado de máquina, diagnóstico auxiliado por computador e radiômica: avanços da imagem rumo à medicina de precisão. **Radiologia brasileira**, SciELO Brasil, v. 52, p. 387–396, 2019. Citado na página 8.
- SANTOS, W. S.; JÚNIOR, J. H. de S.; SOARES, J. C.; RAASCH, M. Reflexões acerca do uso da telemedicina no brasil: oportunidade ou ameaça? **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde**, v. 9, n. 3, p. 433–453, 2020. Citado na página 8.
- SECOLI, S. R.; NITA, M. E.; ONO-NITA, S. K.; NOBRE, M. Avaliação de tecnologia em saúde: Ii. a análise de custo-efetividade. **Arquivos de Gastroenterologia**, SciELO Brasil, v. 47, p. 329–333, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.
- SILVA, A. C. da; SILVA, D. d. S. M.; SILVA, M. d. S. de L. Diagnóstico por imagem e medicina: Sua importância como aplicação multidisciplinar para a saúde. **Seven Editora**, p. 1528–1533, 2023. Citado na página 7.
- SILVA, G. A. A. **Instalações elétricas, funcionamento e particularidades para edificações hospitalares. Estudo de caso em um Complexo de saúde em Natal/RN.** Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2024. Citado na página 81.
- SILVA, L. C. da *et al.* Safe teleconsultation check list: A tool that can improve telemedicine and telepedeutics. **Health and Society**, v. 3, n. 06, p. 163–181, 2023. Citado na página 8.
- SKINOVSKY, J.; CHIBATA, M.; SIQUEIRA, D. E. D. Realidade virtual e robótica em cirurgia: aonde chegamos e para onde vamos? **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgões**, SciELO Brasil, v. 35, p. 334–337, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- SOLAR, J. G. M. D. A engenharia clínica brasileira: objetivos, responsabilidades, requisitos. 2017. Citado na página 7.
- SOUZA, S. C. de. Anatomia: aspectos históricos e evolução. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 10, n. 1, p. 3–6, 2011. Citado na página 6.
- XAVIER, M. P. S.; BELARDI, A. A. Compatibilidade eletromagnética. 2005. Citado na página 38.
- ZEVZIKOVAS, M. Efeitos da interferência eletromagnética conduzida em equipamentos eletromédicos no ambiente hospitalar. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas-São Paulo: Universidade Estadual de Campinas-UNICAMPI**, p. 86, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.

## **APÊNDICE A – FORMULÁRIO APLICADO**

# Pesquisa TCC - Tema: os impactos da qualidade de energia elétrica em equipamentos de monitoramento e manutenção da vida em instituições de saúde

Olá prezado(a).

Meu nome é Kierley Sebastião da Silva e estou concluindo o curso de bacharelado em Engenharia Elétrica, pelo IFMG - Campus Itabirito/MG. Se você recebeu este formulário é porque está prestes a contribuir para minha formação acadêmica e, por isso, já agradeço sua colaboração. Ele foi criado para subsidiar minha monografia para finalização do curso.

Ele chegou até você devido à sua experiência na área da saúde/engenharia clínica e as informações repassadas através dele serão de suma importância para a minha pesquisa, que envolve uma parte sensível da medicina, que são os equipamentos largamente utilizados em clínicas, hospitais e outras instituições de saúde.

Peço, por gentileza, dentro do seu tempo disponível para isso, a inserção do máximo de informações, para possibilitar a captura de dados para os resultados da minha pesquisa. Saliento que as informações pessoais ou profissionais aqui repassadas **não serão divulgadas em nenhum meio e apenas vão servir, como já citado, de subsídio para a pesquisa.**

Deus abençoe você! Feliz 2025! Muito obrigado.

*"Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não desfalecerão." Isaías 40:31*

1. Qual o seu primeiro nome? (essa informação ficará oculta no trabalho, \* não será divulgada e é apenas para eu ter controle)

---

2. Qual a sua cidade/estado? \*

---

3. Atualmente você trabalha em que tipo de instituição de saúde? (é possível selecionar vários locais) \*

*Marque todas que se aplicam.*

- Hospital
- UBS/posto de saúde
- UPA
- Clínica de atendimento médico
- Clínica de medicina diagnóstica
- Empresa de engenharia clínica/manutenção
- Outro: \_\_\_\_\_

4. Você tem contato com equipamentos ou instrumentos eletrônicos da área da saúde (equipamentos eletromédicos) em seu trabalho? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

## Perguntas específicas

Agora vamos partir para perguntas específicas.

5. Você é profissional da saúde (técnico(a) em enfermagem, enfermeiro(a), médico(a), entre outros) ou da engenharia clínica (eletricista, engenheiro(a), entre outros)? \*

Marcar apenas uma oval.

- Profissional da saúde *Pular para a pergunta 6*
- Manutenção/engenharia clínica *Pular para a pergunta 31*

## Profissionais da saúde

Perguntas específicas para profissionais da saúde.

6. Qual a sua formação ou ocupação atual? (pode citar mais de uma, caso tenha) \*

---

---

---

---

---

7. Quanto tempo tem de formação? (em anos)

---

8. Quanto tempo tem de experiência na área? (em anos)

---

9. Quais os principais equipamentos médicos você tem contato no seu dia a dia?

---

---

---

---

---

10. Os equipamentos que tem contato são utilizados para (é possível selecionar mais de um item):

*Marque todas que se aplicam.*

- Diagnóstico
- Tratamento
- Monitoramento
- Suporte à vida
- Outro: \_\_\_\_\_

11. Você já presenciou algum funcionamento inadequado em algum(uns) \* desse(s) equipamento(s)?

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim
- Não

12. Caso possível, descreva, por gentileza, o problema observado (pode listar mais de um, caso tenham acontecido).

---

---

---

---

---

13. Você consegue avaliar qual(is) pode(m) ter sido a(s) causa(s) do problema? Cite.

---

---

---

---

---

14. Caso a resposta anterior seja positiva, você considera que essa falha pode ter prejudicado o tratamento/diagnóstico do(a) paciente?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

15. Você já presenciou algum episódio em que a falha de um equipamento pode ter custado a vida do(a) paciente, naquele momento?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

16. Se a resposta anterior foi positiva, qual equipamento seria esse?

---

17. Os equipamentos utilizados no seu local de trabalho podem ser considerados novos? (caso haja em maior quantidade equipamentos novos, responda "Sim" e caso contrário "Não") \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

18. Há uso de extensões elétricas e adaptadores "T" em equipamentos médicos no seu trabalho?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

19. Você considera eficiente a manutenção dada aos equipamentos? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

20. Em seu local de trabalho, há equipe específica para manutenção elétrica? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

21. Quando algum equipamento apresenta funcionamento inadequado, é relatado ao superior para tomada de providências?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

22. Você considera as instalações elétricas do seu local de trabalho (tomadas, interruptores e similares) adequadas? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

23. Você utiliza aparelho celular durante o seu trabalho, especificamente em ambientes que possua equipamentos eletromédicos? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

24. Quanto aos(às) pacientes e acompanhantes, há uso de telefones celulares nesses ambientes? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

25. Há alguma regulação quanto ao uso de celulares nesses locais no seu trabalho? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

26. Na instituição que trabalha, há setor específico de engenharia clínica? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

27. Caso não haja, você já ouviu falar em engenharia clínica?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

28. Caso tenha algum conhecimento, você a considera importante para o bom funcionamento de instituições de saúde?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

29. Caso queira, faça um relato que julgue importante para ajudar minha pesquisa (como equipamentos em mau funcionamento podem prejudicar os profissionais e pacientes em instituições de saúde):

---

---

---

---

---

30. Se desejar, deixe seu contato para eu procurá-lo(a) caso necessitar de mais alguma informação. Ele não será compartilhado em hipótese alguma. Obrigado.

---

---

---

---

---

### **Profissionais da engenharia clínica/manutenção**

Perguntas específicas para profissionais da saúde.

31. Qual a sua formação/ocupação atual na instituição de saúde? \*

---

---

---

---

---

32. Quanto tempo tem de formação? (em anos)

---

33. Quanto tempo tem de experiência na área? (em anos) \*

---

34. Para você, qual a importância da qualidade nas instalações elétricas em ambientes de saúde em geral, principalmente onde há equipamentos sensíveis?

---

---

---

---

---

35. Quais equipamentos eletromédicos você tem mais contato? \*

---

---

---

---

---

36. A instituição que você atua tem instalações elétricas antigas e que não passaram por manutenção há pouco tempo? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

37. Você considera essas instalações adequadas, seguindo as normas vigentes para tal? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

38. Há presença de rede elétrica estabilizada em seu local de trabalho? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

Não sei responder

39. Na instituição em que atua, caso haja necessidade de alta disponibilidade energia elétrica (equipamentos que não podem ser desligados ou ocorrência de procedimentos cirúrgicos), o backup da alimentação do local (baterias ou similares) é suficiente ou até redundante?

---

---

---

---

---

40. Liste quais equipamentos você considera mais susceptíveis a falhas devido ao funcionamento inadequado da rede elétrica:

---

---

---

---

---

41. Você considera o dimensionamento da carga do local adequada para a quantidade de equipamentos instalados?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

42. Há ocorrência de funcionamento inadequado de equipamentos médicos no local, principalmente os de maior complexidade e que podem causar maiores danos ao diagnóstico e tratamento dos(as) pacientes? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

43. Você acha que é dada a devida atenção ao que a manutenção/engenharia clínica sugere quanto à melhorias e manutenções elétricas devidas no prédio?

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

44. Na empresa há profissional de engenharia responsável pela infraestrutura geral local? \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim

Não

45. Você observa se acontecem práticas inadequadas no uso dos equipamentos ou das instalações elétricas do ambiente? Relate caso ocorra, por gentileza.

---

---

---

---

---

46. Você enxerga uma boa receptividade dos profissionais de saúde aos profissionais da engenharia clínica, quanto à regras de bom uso das instalações/equipamentos do local? Comente.

---

---

---

---

---

47. Caso conheça ou tenha acesso, quais as normas você considera importantes para a instalação de equipamentos elétricos, bem como para construção e manutenção de instalações elétricas no âmbito de instituições de saúde?

---

---

---

---

---

48. Caso julgue necessário, deixe um comentário ou dica para enriquecer minha pesquisa. Sua experiência é de suma importância para o levantamento das informações que preciso.

---

---

---

---

---

49. Se desejar, deixe seu contato para eu procurá-lo(a) caso necessitar de mais alguma informação. Ele não será compartilhado em hipótese alguma. Obrigado.

---

---

---

---

---

---

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

**Google** Formulários