



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SILAS WENDEL DA SILVA PEREIRA

**SEGURANÇA E CONFIABILIDADE NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE
ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE: Uma verificação normativa no
Hospital das Clínicas da UFPE**

Recife
2024

SILAS WENDEL DA SILVA PEREIRA

**SEGURANÇA E CONFIABILIDADE NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE
ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE: Uma verificação normativa
no Hospital das Clínicas da UFPE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Zanoní Dueire Lins

Coorientador: Eng. Especialista Gabriel Liberalquino Soares Lima

Recife
2024

ESTA FOLHA DEVERÁ SER TROCADA PELA FICHA ELETRÔNICA QUE SERÁ ELABORADA PELO AUTOR EM <https://fichaeletronica.ufpe.br/ficha.html>

Folha reservada para a ficha eletrônica que deve ser **emitida pelo autor do trabalho**, após a defesa e realização das alterações sugeridas pela banca examinadora. A mesma deve ser gerada a partir do preenchimento de dados através do link <https://www.ufpe.br/sib/graduacao-deposito>.

SILAS WENDEL DA SILVA PEREIRA

**SEGURANÇA E CONFIABILIDADE NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE
ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE: Uma verificação normativa
no Hospital das Clínicas da UFPE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Engenheiro Eletricista.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Zanoni Dueire Lins (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. Especialista Gabriel Liberalquino (Coorientador)
Hospital das Clínicas da UFPE

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Simoni (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alexander Barros Lima (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Como símbolo de toda minha gratidão, dedico este trabalho: A Deus, por seu imerecido e eterno amor, e por sua constante presença na minha vida, especialmente nos momentos mais difíceis. Aos meus pais, Arnaldo e Eliane, por serem meu alicerce nesta vida, por todo apoio, amizade, ensinamentos e por não medirem esforços para que hoje eu pudesse escrever isto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de estar vivo e ao lado daqueles que amo. Por estar comigo todos os dias, apesar das minhas falhas. Por todo conhecimento obtido ao longo desses anos, que me possibilitou vislumbrar a beleza de sua criação com uma ligeira maior noção de todo seu poder. Nada do que eu pudesse escrever aqui chegaria perto do que o Senhor merece. "Que darei eu ao Senhor por todos os benefícios que me tem feito?" (Salmos 116:2) Aos meus pais, meus pilares de força, fé, respeito e amor. Vocês me ensinaram muito mais do que qualquer Universidade poderia. Me ensinaram a honrar a Deus, a como ser forte em momentos onde só a fé nos conforta e a acreditar que os pensamentos dEle são mais altos que os nossos. Sempre me apoiaram, me incentivaram e acreditaram em mim. Vocês são meus melhores amigos. Por esses, e incontáveis outros motivos, eu serei eternamente grato a Deus pela vida do meu pai, Arnaldo da Silva Pereira, e pela minha vida da minha mãe, Eliane Maria da Silva Pereira. Obrigado, papai. Obrigado, mamãe. Eu amo vocês.

Agradeço aos meus irmãos, Allan Kyndel e Maria Júlia. A Allan, por sempre ter sempre sido alguém que eu cresci admirando. Obrigado por ter me ensinado e me incentivado em muitas coisas. Nas brincadeiras de infância, na música e nos estudos, eu sempre me inspirei em você. À Júlia, por me ensinar mais sobre o amor, atenção e cuidado. É bem clichê dizer que você vai ser sempre minha irmãzinha, mas é verdade. Você alegra a casa com seu jeito doce e carinhoso. Eu amo vocês.

Agradeço à minha família do coração: vovó Ana, vovô Silva, tia Sibeles, tia Sintia e tio Silvinho. Vocês são minha segunda casa. Para sempre vou guardar na memória as melhores lembranças da minha infância dentro de uma família repleta de amor, brincadeiras e boas histórias. Eu amo vocês.

Agradeço à minha namorada, Anabele Campos, por fazer minha vida mais colorida e cheia de amor. Por ser minha companhia diária e a pessoa em quem sei que posso confiar sempre que precisar. Eu amo você.

Aos meus amigos, Andreyson Adryan, Felipe Melo, Flávio Fernando e Joás Lima, por todos bons momentos e aprendizados compartilhados ao longo do tempo. Vocês fazem minha vida mais divertida.

À minha amiga e ex-monitora, Brenda Estefany, por toda ajuda e paciência em diversos momentos ao longo do curso, inclusive durante a finalização do mesmo.

Ao orientador deste trabalho, professor e amigo, Dr. Zanoni Dueire Lins, por todo conhecimento repassado, pelas boas lembranças de salas de aula, pelo suporte e pela parceria.

Ao coorientador deste trabalho, Eng. Gabriel Liberalquino, juntamente com o Eng. Antony Júnio, pela constante disponibilidade em auxiliar e pelo apoio indispensável na realização da visita técnica ao Hospital das Clínicas da UFPE, sem a qual o desenvolvimento deste trabalho não seria possível.

Ao Hospital das Clínicas, pela oportunidade concedida e pela colaboração essencial para a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPE, vocês foram essenciais para a minha formação. Pela disponibilidade, presteza em ajudar, paciência e pelo alto nível de exigência e conhecimento que, de fato, tornam esse departamento tão valorizado e admirado.

Aos servidores da Superintendência de Projetos e Obras, pela receptividade e excelente ambiente de trabalho que me proporcionaram. Em especial, ao meu supervisor de estágio, Geraldo Cabral, e à diretora Maria Isabel, por todo cuidado, compreensão, assistência e confiança que depositaram em mim ao longo de mais de um ano. Ao Eng. Hugo Vale, que me ensinou os primeiros passos no ramo de projetos, e ao Eng. Ricardo Moura, pela ótima companhia e ensinamentos trocados. Esse estágio me proporcionou um crescimento gigantesco do ponto de vista profissional, minha eterna gratidão a todos.

Ao meu professor e orientador de estágio, Dr. Vicente Ribeiro Simoni, com quem aprendi bastante ao longo do curso, por toda disponibilidade em ajudar e pelos excelentes conhecimentos repassados.

Agradeço também à Universidade Federal de Pernambuco, por oferecer um ambiente educacional de excelência, com professores altamente qualificados, e pela oportunidade de me graduar nesta instituição.

“E ainda que eu tivesse o dom de profecia, conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, eu nada seria.”
(1 Coríntios 13:2)

RESUMO

A segurança e a confiabilidade das instalações elétricas hospitalares são cruciais para garantir o pleno funcionamento de equipamentos médicos essenciais e a continuidade dos serviços em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS). Este trabalho analisa as particularidades e normas técnicas relacionadas a essas instalações, com foco em aterramento, proteção contra choques elétricos e sistemas de alimentação de emergência, incluindo o esquema de aterramento IT-Médico, amplamente utilizado em áreas críticas. Além da pesquisa teórica, realizou-se uma verificação in loco no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco (HC-UFPE), em conformidade com a NBR 13534 e outras regulamentações pertinentes. A inspeção técnica, conduzida com o apoio de engenheiros especializados, avaliou sistemas como geradores, nobreaks e dispositivos de proteção, garantindo que os requisitos de segurança e confiabilidade fossem atendidos. O estudo destaca a relevância de uma infraestrutura elétrica robusta para a segurança dos pacientes e profissionais de saúde, especialmente em cenários de crescente dependência tecnológica. Como resultado, foram identificados sistemas que atendem plenamente às normas vigentes, evidenciando o comprometimento das instalações elétricas do HC-UFPE com os padrões técnicos estabelecidos. Essa constatação não apenas valida os esforços da administração hospitalar em manter a infraestrutura elétrica em conformidade, mas também serve como um exemplo prático da relevância de investimentos contínuos em manutenção preventiva e em atualizações tecnológicas.

Palavras-chave: IT-médico; NBR 13534; segurança; confiabilidade; HC-UFPE; Estabelecimentos Assistenciais de Saúde.

ABSTRACT

The safety and reliability of hospital electrical installations are crucial to ensure the proper functioning of essential medical equipment and the continuity of services in Healthcare Establishments (EAS). This work analyzes the particularities and technical standards related to these installations, focusing on grounding systems, protection against electric shocks, and emergency power systems, including the IT-Medical grounding scheme widely used in critical areas. In addition to theoretical research, an on-site verification was conducted at the Hospital das Clínicas of the Federal University of Pernambuco (HC-UFPE), in compliance with NBR 13534 and other relevant standards. The technical inspection, carried out with the support of specialized engineers, assessed systems such as generators, uninterruptible power supplies (UPS), and protection devices, ensuring that safety and reliability requirements were met. The study highlights the importance of a robust electrical infrastructure for the safety of patients and healthcare professionals, particularly in scenarios of increasing technological dependence. As a result, systems were identified that fully comply with current standards, demonstrating the commitment of the electrical installations at HC-UFPE to established technical standards. This finding not only validates the hospital administration's efforts to maintain electrical infrastructure in compliance but also serves as a practical example of the importance of continuous investment in preventive maintenance and technological updates.

Keywords: IT-medical; NBR 13534; security; reliability; HC-UFPE; Health Care Establishments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação dos condutores elétricos para aterramento.	27
Figura 2 – Esquema TN tipo TN: (a) Variação TN-S, (b) Variação TN-C, (c) Variação TN-C-S.....	28
Figura 3 – Massas aterradas em esquema TT: (a) Com haste comum, (b) Com hastes distintas.....	29
Figura 4 – Esquema IT e suas variações: (a) A, (b) B, (c) B.1, (d) B.2, (e) B.3.....	30
Figura 5 – Esquema TN-C-S a jusante do QDP: (a) Carga sendo alimentada normalmente, (b) Defeito ocasionado após o rompimento do condutor PEN.....	32
Figura 6 – Funcionamento do DR em esquemas TN-S e TN-C:(a) Sistemas TN-S sem falha, o DR não atua, (b) Sistemas TN-S com falha, o DR atua, (c) Sistema TN-C com falha, o DR não atua.....	32
Figura 7 – Diagrama unifilar do caso tomado como exemplo.	35
Figura 8 – Topologia de um sistema IT-médico monitorado por um DSI.....	35
Figura 9 – Instalação global de um sistema IT-médico para sala cirúrgica.	38
Figura 10 – Modelo equivalente de impedância do corpo humano.....	40
Figura 11 – Resistência interna do corpo humano para diferentes percursos.....	41
Figura 12 – Gráfico de zonas tempo x corrente para choques elétricos em humanos.	43
Figura 13 – Tempos máximos de seccionamento de acordo com as tabelas 25 e 26 da NBR 5410.	44
Figura 14 – Etapas de funcionamento da UPS: (a) Etapa 1, (b) Etapa 2, (c) Etapa 3..	49
Figura 15 – Quadro elétrico destinado ao IT-médico da sala de angiografia: (a) Quadro instalado na parede, (b) Fotografia com ênfase no valor da resistência de isolamento medida (1,6 MΩ).....	52
Figura 16 – Local dos transformadores.....	53
Figura 17 – Transformadores do IT-médico (UTIs).....	53
Figura 18 – Dados de placa dos transformadores responsáveis pelo sistema IT-médico das UTIs: (a) Transformador 01, (b) Transformador 02.....	54
Figura 19 – Chave seletora de alimentação dos sistemas IT-médico.....	55

Figura 20 – Quadro elétrico dedicado ao IT-médico que alimenta a UTI cirúrgica (QIT-UTI): (a) Quadro instalado na parede, (b) Resistência de isolamento medida (2,1 MΩ).....	56
Figura 21 – Quadro elétrico dedicado ao IT-médico que alimenta a atual UTI clínica (QIT-URCC): (a) Quadro instalado na parede, (b) Resistência de isolamento medida (560 kΩ).....	56
Figura 22 – Quadro elétrico dedicado ao IT-médico que alimenta a atual UTI clínica (QIT-URCC): (a) Alarme de emergência instalado na UTI clínica, (b) Aviso informativo para o caso de falha no sistema.....	57
Figura 23 – Geradores a diesel do HC-UFPE: (a) Gerador 1 (G1), (b) Gerador 2 (G2).....	58
Figura 24 – Painel de comando do gerador G1, acompanhado da chave seletora de prioridade.....	59
Figura 25 – Painel de comando do gerador G2, acompanhado do módulo de controle.	59
Figura 26 – Diagrama esquemático referente ao gerador G1.	60
Figura 27 – Diagrama esquemático referente ao gerador G2.	60
Figura 28 – Recinto de um dos transformadores de potência.....	61
Figura 29 – Ficha de manutenção dos geradores: (a) Para o gerador G1, (b) Para o gerador G2.....	62
Figura 30 – Aviso de partida automática semana.	63
Figura 31 – Iluminação de emergência: (a) Em local do Grupo 1 (angiógrafo). (b) No banco de capacitores da subestação. (c) No recinto dos transformadores. (d) Nos painéis de comando.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre os critérios normativos e os pontos avaliados durante a visita técnica ao Hospital das Clínicas da UFPE.....	64
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMIU	Aspiração Manual Intrauterina
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BMS	<i>Battery Management System</i> (Sistema de Gerenciamento de Bateria)
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DICRI	Duração da Interrupção Individual ocorrida em dia Crítico por Unidade Consumidora
DMIC	Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora
DR	Diferencial Residual
DSI	Dispositivo Supervisor de Isolamento
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
Ebserh	Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares
ECG	Eletrocardiograma
EEG	Eletroencefalograma
EM	Eletromédico
EMG	Eletromiografia
FA	Fator de Agrupamento
FCT	Fator de Correção de Temperatura
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
HC	Hospital das Clínicas
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissão Eletrotécnica Internacional)
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PVC	Policloreto de Vinila
QDC	Quadro de Distribuição de Circuitos
QDP	Quadro de Distribuição Principal

RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RN	Recém Nascido
SE	Subestação
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
UBS	Unidade Básica de Saúde
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i> (Fonte de alimentação ininterrupta)
UPA	Unidade de Pronto Atendimento
URCC	Unidade de Recuperação de Cirurgia Cardíaca
USF	Unidade de Saúde da Família
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
UTQ	Unidade de Tratamento de Queimados

LISTA DE SÍMBOLOS

I_F	Corrente de falta [A]
U_n	Tensão nominal fase-neutro [V]
U_L	Tensão de contato limite [V]
R_A	Resistência de aterramento das massas [Ω]
R_F	Resistência de isolamento entre os condutores fase e proteção no sistema de aterramento IT-médico [Ω]
I_L	Corrente nominal de carga [A]
m	Massa do corpo humano [kg]
I_{choque_limite}	Corrente de choque máxima suportada pelo corpo humano sem a ocorrência de fibrilação ventricular durante um intervalo de tempo [mA]
t	Intervalo máximo de tempo durante o qual a corrente de choque limite pode atravessar o corpo humano sem causar fibrilação ventricular [s]
S_L	Potência aparente nominal de carga [VA]
I'_b	Corrente de projeto corrigida [A]
Z_{pele}	Impedância da camada externa da pele [Ω]
$Z_{interna}$	Impedância de caminho interno ao corpo humano [Ω]
Z_{total}	Impedância total do corpo humano [Ω]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Geral	19
1.1.2	Específicos	19
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1	TERMOS E DEFINIÇÕES RELEVANTES	23
3.1.1	Terminologia técnica	23
3.1.2	Classificação dos ambientes hospitalares.....	25
3.2	SISTEMAS DE ATERRAMENTO: APLICAÇÕES EM EAS	26
3.2.1	Conceitos iniciais.....	26
3.2.2	Esquema TN.....	27
3.2.3	Esquema TT	28
3.2.4	Esquema IT	29
3.2.5	Considerações acerca dos esquemas de aterramento	30
3.3	PROTEÇÃO POR SECCIONAMENTO AUTOMÁTICO DA ALIMENTAÇÃO 39	
3.3.1	Generalidades	39
3.3.2	Corpo humano e o choque elétrico.....	39
3.4	INSTALAÇÕES DE SEGURANÇA.....	45
3.4.1	Fontes de segurança.....	45
3.4.2	Prescrições especiais.....	46
3.4.3	Integração de Fontes de Alimentação Ininterrupta em ambientes críticos ...	47
4	VERIFICAÇÃO IN LOCO DOS ASPECTOS NORMATIVOS	49
4.1	AUTORIZAÇÃO E REALIZAÇÃO DA VISITA TÉCNICA.....	50
4.2	ESQUEMA IT-MÉDICO DENTRO DO HC-UFPE	51
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	65
5.1	TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICES.....	68
	ANEXOS.....	70

1 INTRODUÇÃO

A saúde é um dos bens mais preciosos para a humanidade, sendo essencial para o bem-estar individual e para o desenvolvimento de sociedades prósperas. Nos últimos anos, esse valor foi reafirmado de forma dramática pela pandemia global de COVID-19, que trouxe à tona desafios cruciais para todos os sistemas de saúde ao redor do mundo. Hospitais e clínicas enfrentaram uma pressão sem precedentes, evidenciando a importância de infraestruturas robustas e confiáveis, que garantam a segurança de pacientes e profissionais de saúde.

Nesse contexto, as instalações elétricas hospitalares assumem um papel central. O fornecimento contínuo e seguro de energia elétrica é vital para o funcionamento adequado de equipamentos médicos essenciais, como ventiladores pulmonares, monitores cardíacos, bombas de infusão, entre outros. Qualquer falha no sistema elétrico dessas unidades pode comprometer severamente os procedimentos médicos e administrativos, colocando vidas em risco. Além disso, a crescente dependência tecnológica na área médica, especialmente com a introdução de sistemas de automação e digitalização de dados, impõe novas exigências de confiabilidade e segurança para essas instalações.

Diante disso, este trabalho visa explorar as particularidades e normas técnicas que envolvem as instalações elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), focando em segurança, confiabilidade e soluções que possam assegurar o fornecimento contínuo de energia, mesmo em condições adversas. Serão analisados os principais requisitos de aterramento, proteção contra choques elétricos e os sistemas de alimentação de emergência, com especial atenção ao esquema de aterramento IT-Médico, amplamente utilizado em áreas críticas hospitalares.

Além da pesquisa teórica e da fundamentação normativa, foi realizada uma verificação *in loco* no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco (HC-UFPE), com o objetivo de validar a conformidade das instalações elétricas com as normas pertinentes, como a NBR 5410 [1] e especialmente a NBR 13534 [2] [3] e outras regulamentações específicas para ambientes hospitalares. A visita técnica foi realizada com o apoio do Eng. Gabriel Liberalquino e do Eng. Antony Júnio, que auxiliaram na análise dos sistemas de aterramento, dispositivos de proteção contra choques elétricos e sistemas de alimentação de emergência, como geradores e *nobreaks*, garantindo que todos os componentes estivessem operando conforme as

exigências legais e de segurança. O processo de autorização para a realização da visita envolveu o contato com a administração do hospital, de responsabilidade da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (Ebserh) e o cumprimento rigoroso dos protocolos de segurança, garantindo que todas as medidas necessárias fossem adotadas para assegurar a integridade da equipe técnica e a continuidade dos serviços hospitalares essenciais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Apresentar e analisar os principais requisitos de proteção, segurança e confiabilidade para o pleno funcionamento de EAS, com foco na verificação *in loco* da conformidade das instalações elétricas do HC-UFPE em relação às normas técnicas vigentes.

1.1.2 Específicos

- Analisar as normas técnicas aplicáveis a instalações elétricas em EAS, com ênfase nas exigências da NBR 13534 [2] [3] e NBR 5410 [1].
- Verificar a conformidade das instalações elétricas do HC-UFPE com as normas vigentes, por meio de uma visita técnica e inspeção *in loco*.
- Avaliar os requisitos de segurança, confiabilidade e proteção para garantir o funcionamento adequado dos sistemas elétricos hospitalares, considerando aspectos como aterramento IT-Médico, proteção contra choques elétricos e sistemas de alimentação de emergência.
- Explorar e investigar os principais sistemas de fornecimento de energia elétrica para áreas críticas hospitalares, como geradores e *nobreaks*, e a implementação e operação de sistemas de backup e redundância, visando assegurar a confiabilidade e o atendimento contínuo, mesmo em condições adversas.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em 5 seções, referências, anexos e apêndices. Na Seção 1, é apresentado o contexto no qual este trabalho está inserido, abordando a importância do tema no cenário atual e destacando a relevância da pesquisa, enfatizando suas implicações para a segurança e a eficácia das instalações elétricas em ambientes hospitalares. Além disso, são delineados os objetivos que se pretende alcançar ao longo do estudo, bem como a estrutura organizacional do documento, proporcionando ao leitor uma visão clara do que será abordado nas seções subsequentes.

Na Seção 2, é apresentada uma breve abordagem das principais normas, diretrizes e estudos relacionados às instalações elétricas em ambientes hospitalares. Essa seção tem como objetivo fornecer uma fundamentação teórica sólida, explorando as melhores práticas e abordagens existentes na área e destacando suas contribuições para a segurança, confiabilidade e eficácia das instalações elétricas.

A Seção 3, dedicada à fundamentação teórica, aborda conceitos essenciais relacionados aos requisitos de aterramento, proteção contra choques elétricos, confiabilidade dos sistemas elétricos e soluções de emergência, como fontes de alimentação ininterrupta e geradores. O objetivo é proporcionar uma compreensão aprofundada das justificativas que sustentam as decisões normativas, garantindo a segurança e a continuidade operacional das infraestruturas elétricas em EAS.

A Seção 4 descreve a visita técnica realizada ao HC-UFPE, com o objetivo de verificar in loco a conformidade das instalações elétricas do hospital em relação às normas e requisitos técnicos estabelecidos. Durante a visita, foram observados e analisados os sistemas de fornecimento de energia elétrica, incluindo geradores, nobreaks e sistemas de backup, assegurando que as infraestruturas críticas estivessem operando de acordo com as melhores práticas e normas vigentes. A análise foi realizada com o apoio do Eng. Gabriel Liberalquino e do Eng. Antony Júnio, garantindo uma abordagem detalhada e precisa na verificação dos aspectos técnicos e operacionais das instalações.

A Seção 5, dedicada às conclusões e sugestões de trabalhos futuros, sintetiza os principais achados do estudo, destacando a importância de garantir a conformidade das instalações elétricas hospitalares com as normas técnicas vigentes,

especialmente no que diz respeito à segurança, confiabilidade e continuidade operacional. A seção também apresenta sugestões de trabalhos futuros relacionados ao tema do estudo, destacando áreas potenciais para pesquisas subsequentes, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento contínuo do setor e o aprimoramento das condições de segurança nas infraestruturas hospitalares.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para iniciar o estudo, é fundamental estabelecer uma fundamentação sólida que sustente todos os aspectos a serem abordados neste trabalho. Com essa premissa, a seguir, apresenta-se uma breve análise das principais referências que servirão como diretrizes para a pesquisa: a NBR 5410 [1] é a norma brasileira que estabelece as condições mínimas para as instalações elétricas de baixa tensão. Embora não seja específica para estabelecimentos de saúde, suas diretrizes são fundamentais para garantir a segurança das instalações elétricas em qualquer tipo de edificação. A norma aborda questões como dimensionamento de circuitos, proteção contra choques elétricos, dispositivos de proteção e aterramento. Sua contribuição para este trabalho reside na sua aplicação como base para a construção de uma infraestrutura elétrica segura e eficiente, essencial para o funcionamento contínuo dos serviços de saúde. A NBR 13534 [2] [3] estabelece os requisitos específicos para instalações elétricas em ambientes hospitalares, funcionando como uma extensão da NBR 5410 adaptada às necessidades do setor de saúde. Esta norma é fundamental para garantir a segurança e confiabilidade das instalações elétricas em EAS, assegurando que esses sistemas atendam às exigências operacionais dos equipamentos médicos e às condições críticas dos ambientes hospitalares. Sua contribuição para este trabalho reside na definição de diretrizes para a implementação de sistemas de aterramento, proteção contra choques elétricos, fornecimento ininterrupto de energia, iluminação de emergência e outros aspectos essenciais. Isso garante que as instalações elétricas hospitalares sejam projetadas e executadas de maneira a promover a integridade dos equipamentos e a segurança dos pacientes. A RDC 50 da Anvisa [4] estabelece as diretrizes gerais para o funcionamento de serviços de saúde, incluindo as condições para instalações elétricas. Esta norma é crucial para assegurar que os estabelecimentos de saúde atendam aos requisitos mínimos de segurança, higiene e conforto. Ela contribuirá para o trabalho ao oferecer um referencial para a adequação das instalações elétricas às exigências de funcionamento seguro e eficiente dos serviços de saúde, refletindo a importância de se cumprir as regulamentações sanitárias.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seção de fundamentação teórica apresenta os conceitos, normas técnicas e princípios essenciais que embasam o desenvolvimento deste trabalho. São abordados temas fundamentais relacionados à proteção e segurança elétrica em ambientes hospitalares, de acordo com as principais normas técnicas relacionadas, a exemplo da NBR 5410 [1], NBR 13534 [2] [3] e RDC 50 da Anvisa [4].

3.1 Termos e definições relevantes

Com o objetivo de assegurar uma compreensão assertiva dos tópicos subsequentes, a seguir são apresentadas algumas das principais definições que são utilizadas ao longo do trabalho. Esses conceitos são provenientes da IEC 60601-1 [5] [6] e da NBR 13534 [2] [3], e proporcionarão noções norteadoras acerca de alguns conceitos da engenharia clínica. As definições, acompanhadas de exemplos desenvolvidos pelo autor para facilitar a compreensão do leitor, são as seguintes:

3.1.1 Terminologia técnica

- **Paciente** [5]: ser vivo (pessoa ou animal) sujeito a um procedimento médico, cirúrgico ou odontológico.

Exemplos: gato levado ao veterinário para vacinação; idoso recebendo quimioterapia; gestante realizando acompanhamento pré-natal.

Nota: um paciente pode ser um operador [6].

Exemplos: monitores de glicemia, pressão arterial ou oxímetros de pulso operados pelo paciente para medir parâmetros vitais.

- **Operador** [5]: pessoa que trabalha com equipamento.

Exemplos: médico que utiliza um desfibrilador para reanimar um paciente durante uma emergência; dentista utilizando broca elétrica nos tratamentos de cárie.

- **Estabelecimento assistencial de saúde ou estabelecimento de saúde** [3]: denominação dada a qualquer edificação destinada a prestação de assistência à saúde a população, que demande o acesso de pacientes, em regime de internação ou não, qualquer que seja o seu nível de complexidade.

Exemplos: clínicas odontológicas; Unidades de Pronto Atendimento (UPA); Unidades Básicas de Saúde (UBS); Unidades de Saúde da Família (USF); hospitais; unidades de terapia ocupacional; centros de reabilitação.

- **Parte aplicada** [3]: parte do equipamento eletromédico que, em uso normal: – entra necessariamente em contato físico com o paciente para que o equipamento possa cumprir sua função, – pode vir a entrar em contato com o paciente, ou – precisa ser tocada pelo paciente.

Exemplos: eletrodos utilizados em um eletrocardiograma (ECG), que precisam estar em contato direto com a pele do paciente para captar os sinais elétricos do coração; cabo de um aparelho de ultrassom que, durante o exame, pode vir a entrar em contato com o paciente; balança de bioimpedância que, para obter os resultados da avaliação, é essencial que o paciente toque o equipamento (mãos e pés).

- **Equipamento eletromédico (EM)** [5]: equipamento elétrico que possui parte aplicada ou que transfere energia do ou para o paciente ou detecta tal transferência de energia de ou para o paciente e que é:

- a) fornecido com não mais que uma conexão a uma rede de alimentação elétrica particular; e
- b) destinado por seu fabricante para ser utilizado:
 - no diagnóstico, tratamento ou monitorização de um paciente; ou
 - compensação ou alívio de doença, ferimento ou invalidez

Exemplos: monitor de sinais vitais que registra e exibe a frequência cardíaca e a pressão arterial dos pacientes; desfibrilador, utilizado para restabelecer o ritmo cardíaco normal em casos de arritmias, fornecendo choques elétricos controlados.

- **Corrente residual** [2]: soma algébrica dos valores instantâneos das correntes que circulam através de todos os condutores sob tensão de um circuito, em um determinado ponto da instalação elétrica.

Exemplo: equipamento EM permitindo fuga de corrente residual para a estrutura do equipamento devido a falhas no isolamento ou aterramento inadequado.

- **Tensão de contato** [2]: tensão que pode aparecer acidentalmente durante a ocorrência de uma falta de isolação entre duas partes acessíveis simultaneamente.

Exemplo: nos locais médicos dos grupos 1 e 2, a tensão de contato limite (UL) é 25 V, qualquer que seja o esquema de aterramento (TN, TT ou IT).

3.1.2 Classificação dos ambientes hospitalares

Os conceitos de Grupo e Classe são responsáveis por categorizar os ambientes hospitalares conforme o tipo de equipamento eletromédico empregado e sua classe de alimentação de segurança, respectivamente, e a exigência de instalações elétricas de emergência. Essas categorias, baseadas nas normas técnicas, ajudam a diferenciar os níveis de risco e os requisitos específicos de cada ambiente hospitalar, conforme descrito a seguir:

- **Local do grupo 0** [2]: recinto no qual não são utilizadas partes aplicadas de equipamentos eletromédicos alimentados pela rede. Exemplos: áreas para prescrições médicas; salas de apoio; salas de serviço.
- **Local do grupo 1** [2]: recinto no qual se prevê o uso de equipamentos eletromédicos, mas não para aplicação cardíaca direta. Exemplos: salas de terapia; salas de pré-parto; salas de coleta de sangue.
- **Local do grupo 2** [3]: local médico destinado a 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. Exemplos: salas cirúrgicas; salas de UTI; salas de cateterismo cardíaco.

- **Classes de alimentação de segurança [2]:**

- Classe 0,5: Alimentação automática disponível em até 0.5 s.
- Classe 15: Alimentação automática disponível em até 15 s.
- Classe > 15: Alimentação de segurança disponível em mais de 15 s, em modo automático ou manual.

Exemplos: luminárias cirúrgicas e equipamentos EM associados à fonte de segurança (classe 0,5); salas de angiografia, hemodiálise e fisioterapia (classe 15); lavabos cirúrgicos, laboratórios e salas de aplicação de gesso (classe >15).

Com os conceitos de grupo e classe devidamente estabelecidos e exemplificados, elaboram-se as tabelas do Apêndice B, cujo objetivo é organizar a classificação de diferentes ambientes dentro de uma instituição de saúde, como ambulatorios, unidades de internação e áreas de emergência, utilizando conteúdo retirado da RDC 50 da Anvisa [4].

3.2 Sistemas de aterramento: aplicações em EAS

O sistema de aterramento utilizado em ambientes hospitalares desempenha um papel essencial, não apenas assegurando o funcionamento eficiente dos demais sistemas, mas sobretudo proporcionando uma camada indispensável de proteção, com o objetivo principal de salvaguardar a segurança das vidas presentes, incluindo pacientes, profissionais de saúde e demais pessoas no ambiente hospitalar.

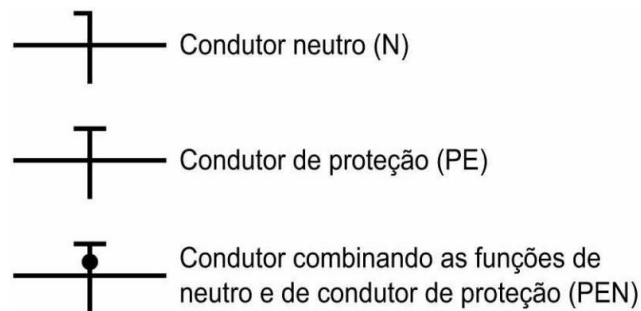
3.2.1 Conceitos iniciais

Os esquemas de aterramento são classificados utilizando letras que descrevem a relação entre o sistema de alimentação, a terra e as conexões das massas e do condutor neutro. Cada combinação de letras oferece uma descrição precisa de como o aterramento é implementado. Essas definições estão normatizadas no item 4.2.2.2 da NBR 5410 [1], conforme apresentado a seguir e representado na Figura 1:

- Primeira letra - Situação da alimentação em relação à terra:

- T: ponto de neutro da alimentação diretamente aterrado;
 - I: isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância;
- Segunda letra - Situação das massas da instalação elétrica em relação à terra:
- T: massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;
 - N: massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);
- Outras letras (eventuais) - Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:
- S: funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
 - C: funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor.
- Figura 3.1 – Representação dos condutores elétricos para aterramento

Figura 1 – Representação dos condutores elétricos para aterramento.

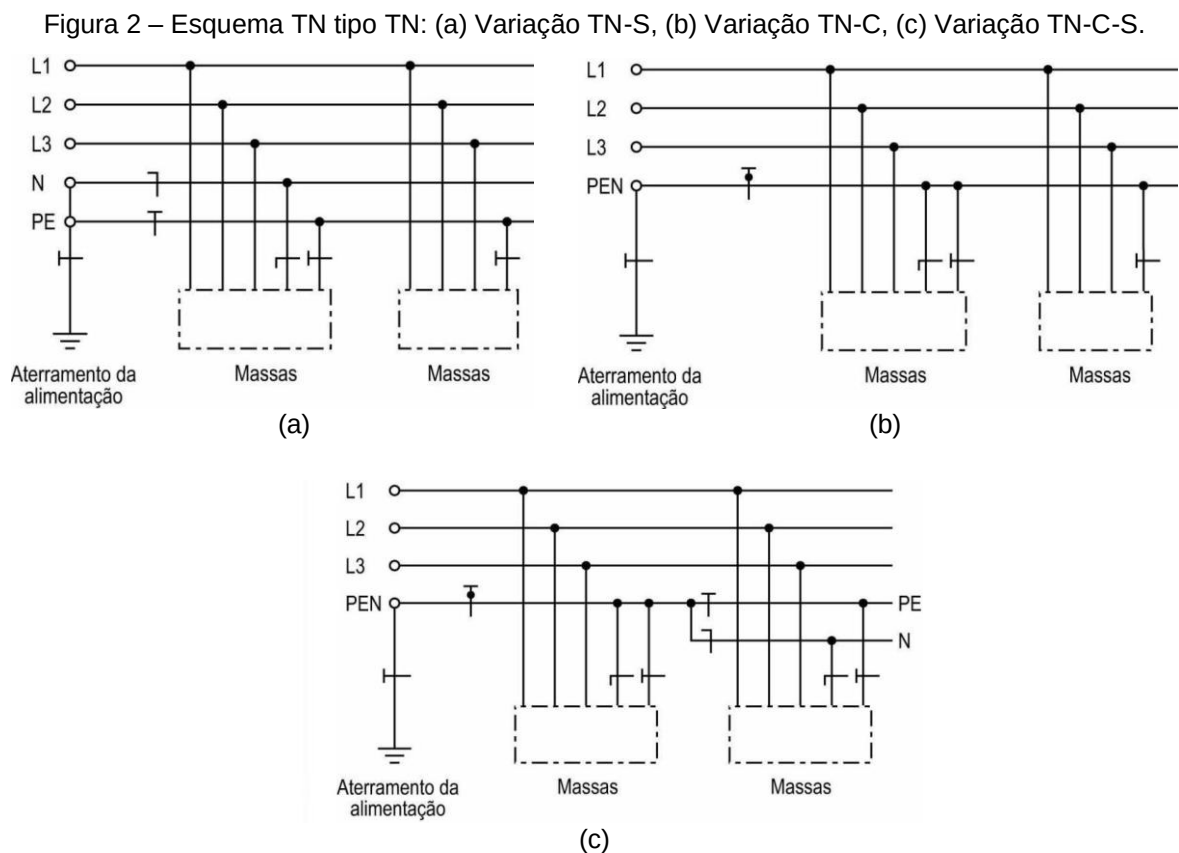


Fonte: item 4.2.2.2 da NBR 5410 [1].

3.2.2 Esquema TN

Sendo o esquema de aterramento mais utilizado no Brasil em instalações de baixa tensão, o esquema TN é caracterizado por ter o ponto neutro da alimentação diretamente aterrado, com as massas conectadas a esse ponto através de condutores de proteção. Há três variantes desse esquema, conforme a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:

- a) Esquema TN-S: o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos (separados) ao longo de todo esquema. (Ver Figura 2a)
- b) Esquema TN-C: as funções de neutro e proteção são combinadas em um único condutor ao longo de todo esquema. (Ver Figura 2b)
- c) Esquema TN-C-S: uma composição dos esquemas TN-S e TN-C. As funções de neutro e proteção são combinadas em um único condutor em uma parte do esquema e separadas em outra. (Ver Figura 2c)

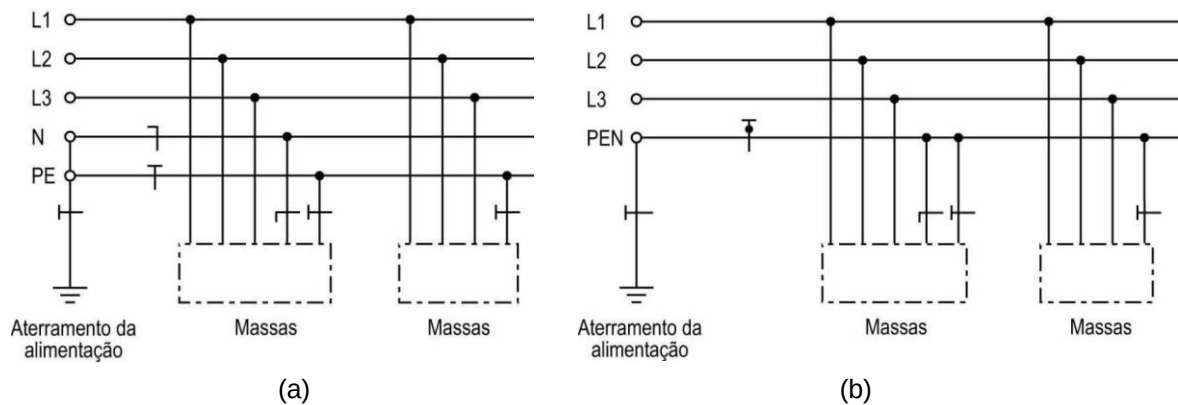


Fonte: item 4.2.2.2.1 da NBR 5410 [1].

3.2.3 Esquema TT

O esquema TT possui o ponto de neutro da alimentação diretamente aterrado, com as massas da instalação conectadas a eletrodos de aterramento que são eletricamente distintos do eletrodo de aterramento da alimentação, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Massas aterradas em esquema TT: (a) Com haste comum, (b) Com hastes distintas.



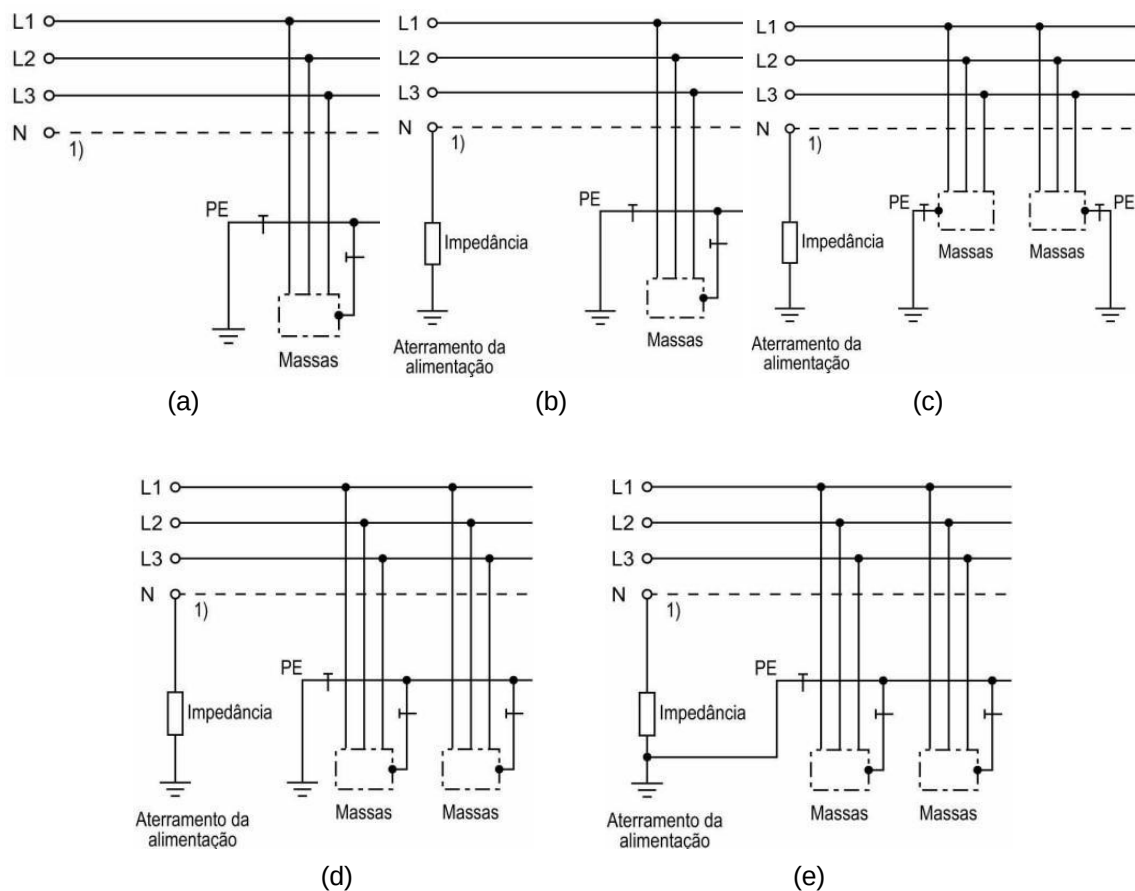
Fonte: item 4.2.2.2.2 da NBR 5410 [1].

3.2.4 Esquema IT

Por fim, o esquema IT se distingue pela inexistência de uma conexão direta entre o ponto neutro da alimentação e a terra, enquanto as massas da instalação são aterradas, permitindo as seguintes opções: massas aterradas no mesmo eletrodo de aterramento de neutro da alimentação, se existente; e massas aterradas em eletrodo(s) de aterramento próprio(s). A seguir, as variações A, B, B.1, B.2 e B.3 deste esquema serão ilustradas nas Figuras 4a - 4e, respectivamente, considerando as seguintes características:

- 1) = o neutro pode ser ou não distribuído;
- A = sem aterramento da alimentação (ver Figura 4a);
- B = alimentação aterrada através de impedância (ver Figura 4b);
 - B.1 = massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação ((ver Figura 4c);
 - B.2 = massas coletivamente aterradas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação (ver Figura 4d);
 - B.3 = massas coletivamente aterradas no mesmo eletrodo da alimentação (ver Figura 4e).

Figura 4 – Esquema IT e suas variações: (a) A, (b) B, (c) B.1, (d) B.2, (e) B.3.



Fonte: item 4.2.2.2.3 da NBR 5410 [1].

3.2.5 Considerações acerca dos esquemas de aterramento

Com os esquemas previamente apresentados, é possível analisar alguns pontos quanto à aplicabilidade em EAS.

Dentre suas variações, o esquema TN apresenta apenas uma possibilidade de aplicação em EAS a jusante do quadro de distribuição principal (QDP): a variação TN-S. De acordo com o item 4.2.2.2.101 das versões de 1995 e 2008 da NBR 13534 [2] [3], endossado pela alínea I do item 5.4.3.5 da NBR 5410 [1], o esquema TN-C é proibido em EAS. Vale ressaltar que, embora a norma não verse expressamente sobre o esquema TN-C-S, por se tratar de uma combinação entre os esquemas TN-C e TN-

S, compreende-se que ele também não seja admitido. Seguem os trechos normativos pertinentes a essa proibição:

“O esquema TN-C não é admitido em estabelecimentos assistenciais de saúde a jusante do quadro de distribuição principal”. [3]

“... o esquema TN-C, mostrado na figura C.1, não é permitido em estabelecimentos assistenciais de saúde”. [2]

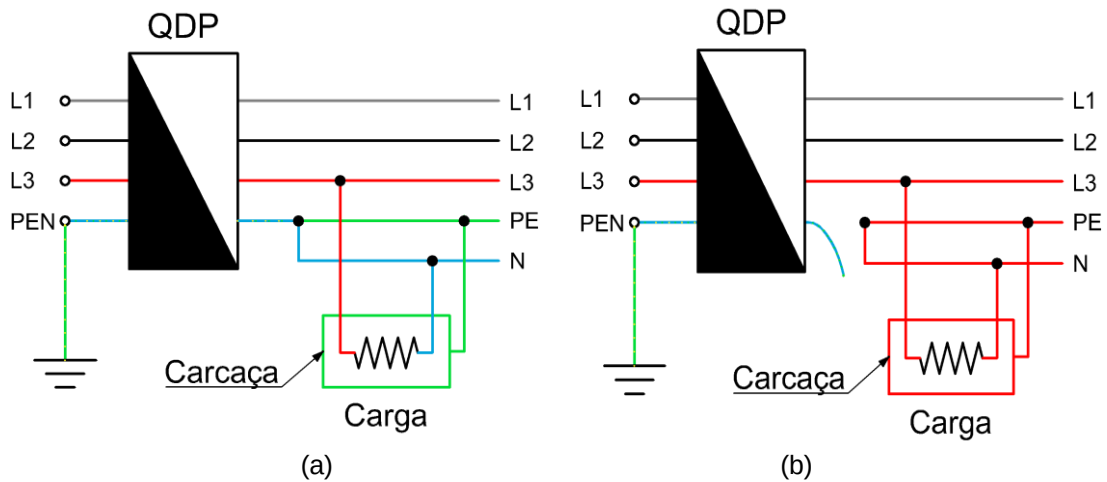
“evitar o esquema TN-C, conforme disposto em 5.4.3.6”. [1]

Embora as normas não especifiquem claramente os motivos para essa proibição, pode-se inferir que os esquemas TN-C e TN-C-S apresentam riscos significativos à vida devido à combinação das funções de neutro (N) e proteção (PE) em um único condutor (PEN) que, ao ser interrompido ou mal dimensionado, pode levar à energização inadvertida das carcaças metálicas dos equipamentos, expondo pessoas a choques elétricos potencialmente letais. Simultaneamente, o esquema TN-C inviabiliza o uso de dispositivos diferenciais residuais (DR), que dependem da separação funcional entre neutro e proteção para detectar falhas de isolamento ou correntes de fuga. A incapacidade de promover o seccionamento automático em situações de falha, mesmo em locais classificados como Grupo 0 e Grupo 1, intensifica os riscos ao aumentar significativamente a probabilidade de incêndios e choques elétricos letais, comprometendo a segurança global do sistema.

Ademais, a NBR 13534 mais recente [3] traz ainda a recomendação da implementação de um dispositivo de supervisão à única variação permitida a jusante do QDP, o esquema TN-S, de acordo com a nota 2 do item 5.1.2.2.4.2 da norma citada.

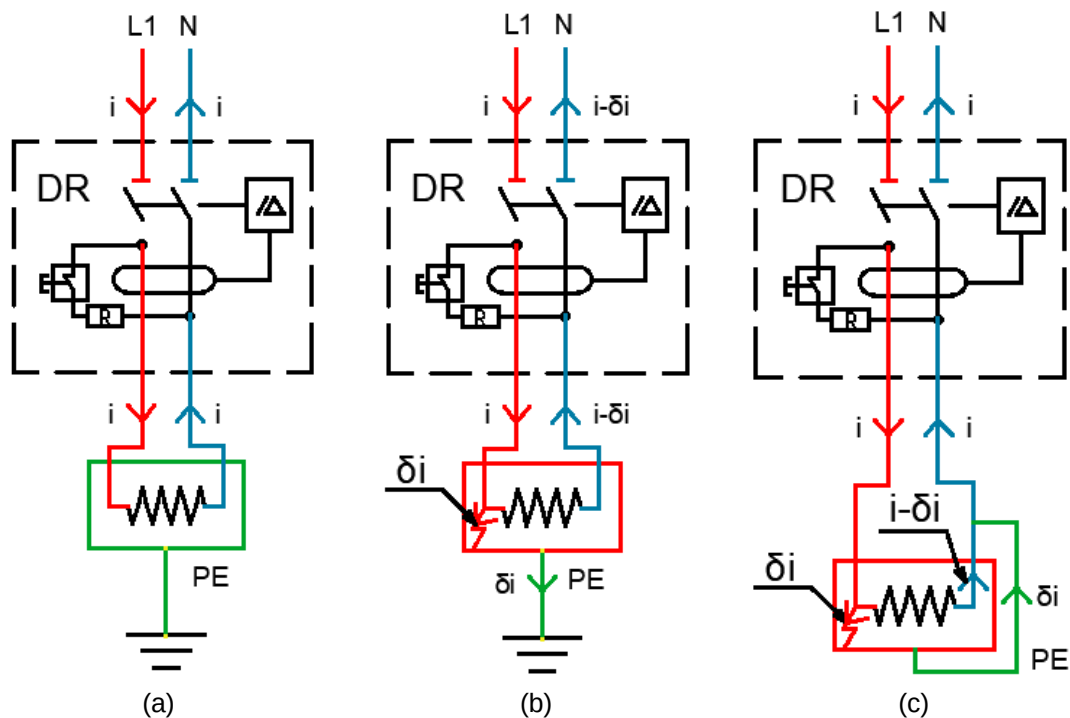
Os problemas mencionados acima estão ilustrados na Figura 5 e Figura 6 apresentadas a seguir, as quais detalham visualmente os aspectos abordados, facilitando a compreensão das questões técnicas relacionadas. Em especial, a Figura 6b ilustra uma falta à terra com separação funcional entre N e PE, o que faz com que o dispositivo DR perceba essa diferença e desarme, enquanto na Figura 6c a corrente de fuga retorna ao condutor neutro antes mesmo de sair pelo DR, fazendo com que essa diferença seja imperceptível pelo dispositivo que, conseqüentemente, não atuará para o defeito.

Figura 5 – Esquema TN-C-S a jusante do QDP: (a) Carga sendo alimentada normalmente, (b) Defeito ocasionado após o rompimento do condutor PEN.



Fonte: autoria própria.

Figura 6 – Funcionamento do DR em esquemas TN-S e TN-C: (a) Sistemas TN-S sem falha, o DR não atua, (b) Sistemas TN-S com falha, o DR atua, (c) Sistema TN-C com falha, o DR não atua.



Fonte: autoria própria.

Apesar de as normas não proibirem explicitamente o uso do esquema TT a jusante do QDP, especialmente em EAS, é fundamental adotar algumas precauções

em sua aplicação. O principal desafio está relacionado à corrente de fuga no ponto de aterramento, onde, diferentemente do esquema TN, no qual o neutro da alimentação é aterrado e uma falta à terra equivale praticamente a um curto-circuito franco, no esquema TT, a depender da resistência do aterramento no ponto de consumo, essa corrente pode ser interpretada pelo disjuntor como uma carga operando em condições normais.

Por exemplo, consideremos um recinto hipotético alimentado por tensão 380/220 V, onde foi implementado o esquema TT. Nesse cenário, o disjuntor do Quadro de Distribuição de Circuitos (QDC) possui uma corrente nominal de 63 A, curva C, e não há dispositivos diferenciais residuais (DR) instalados no sistema. Uma carga monofásica de 2.200 VA, com carcaça aterrada, tem seu circuito ligado instalado em eletrodutos aparentes de seção circular, por onde já passam os circuitos de tomada e iluminação do local. Buscando garantir maior praticidade orçamentária, possibilidade de inserção de novas cargas e impedir desarmes “desnecessários” do disjuntor, um projetista negligente resolve prover o circuito individual da carga com um disjuntor de 32 A, também de curva C, e cabos unipolares, em PVC, de seção transversal igual a 4 mm², representados no diagrama unifilar do sistema (ver Figura 7). Ocorrendo uma falha na isolação do equipamento, a fase entra em contato com a sua carcaça, estando diretamente conectada ao ponto de aterramento de consumo do esquema TT, que, para o exemplo, terá o valor de 10 Ω. A partir disso, a corrente de falta (I_F) passa a fluir para a terra no valor de:

$$I_F = \frac{U_n}{R_A} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A} \quad (3.1)$$

Enquanto isso, a carga continua funcionando normalmente e demandando sua corrente nominal no valor de:

$$I_F = \frac{S_L}{U_n} = \frac{2200}{220} = 10 \text{ A} \quad (3.2)$$

Assim, a corrente que flui pelo disjuntor será a soma entre I_F e I_L , resultando em 32 A, que não excede o valor nominal de corrente do disjuntor, fazendo com que o

mesmo não atue para o defeito, bem como o disjuntor geral, uma vez que tudo estaria sendo interpretado pelos dispositivos como uma carga operando normalmente.

Indo mais a fundo no problema, a suportabilidade dos condutores seria seriamente afetada. De acordo com a primeira parte da tabela 33 da NBR 5410 [1], presente no Anexo A deste trabalho, o método de instalação citado enquadra-se como B1. A partir dessa informação, pode-se obter o fator de agrupamento (FA) igual a 0,7 consultando o Anexo B, retirado da mesma norma. Por fim, adotando uma temperatura ambiente de 30 °C, o fator de correção de temperatura (FCT) será unitário. Assim, de acordo com as principais referências sobre dimensionamento em projetos elétricos de BT [1] [7] [8] [9], os condutores que saem do disjuntor teriam uma corrente corrigida (I'_b) de:

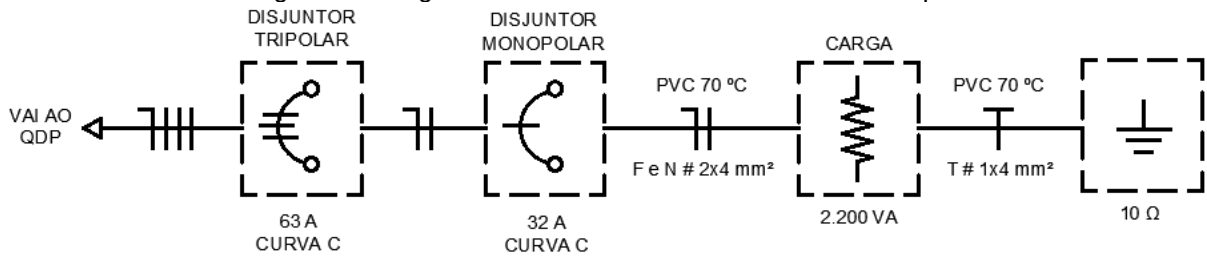
$$I'_b = \frac{I_F + I_L}{FA \times FCT} = \frac{22 + 10}{0,7 \times 1} \approx 45,7 \text{ A} \quad (3.3)$$

Nesse caso, de acordo com a tabela do Anexo C, os cabos em questão suportariam apenas 42 A, valor inferior à intensidade da corrente corrigida. Isso poderia levar ao superaquecimento, danificando os cabos, causando derretimento e, possivelmente, provocando incêndios.

Assim, percebe-se que, em caso de falha, as pessoas presentes no local estariam expostas tanto a uma tensão de contato altamente perigosa, semelhantemente ao que acontece com o rompimento do condutor PEN no esquema TN-C e TN-C-S, quanto a riscos de incêndios de origem elétrica. Provavelmente, esses são alguns dos fatores que justificam a obrigatoriedade imposta pela NBR 5410 [1] em associar dispositivos diferenciais residuais (DR) ao uso do esquema TT, conforme disposto na alínea a do item 5.1.2.2.4.3 da norma citada.

Esse requisito impõe diversos impactos em áreas críticas de hospitais, especialmente nos ambientes classificados como grupo 2. Nesses locais, uma primeira falha não deve interromper a alimentação elétrica, uma vez que comprometeria significativamente a segurança e a continuidade dos procedimentos realizados pela equipe médica. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de um sistema capaz de implementar soluções específicas para mitigar esses riscos e assegurar a confiabilidade do sistema elétrico em ambientes críticos de EAS.

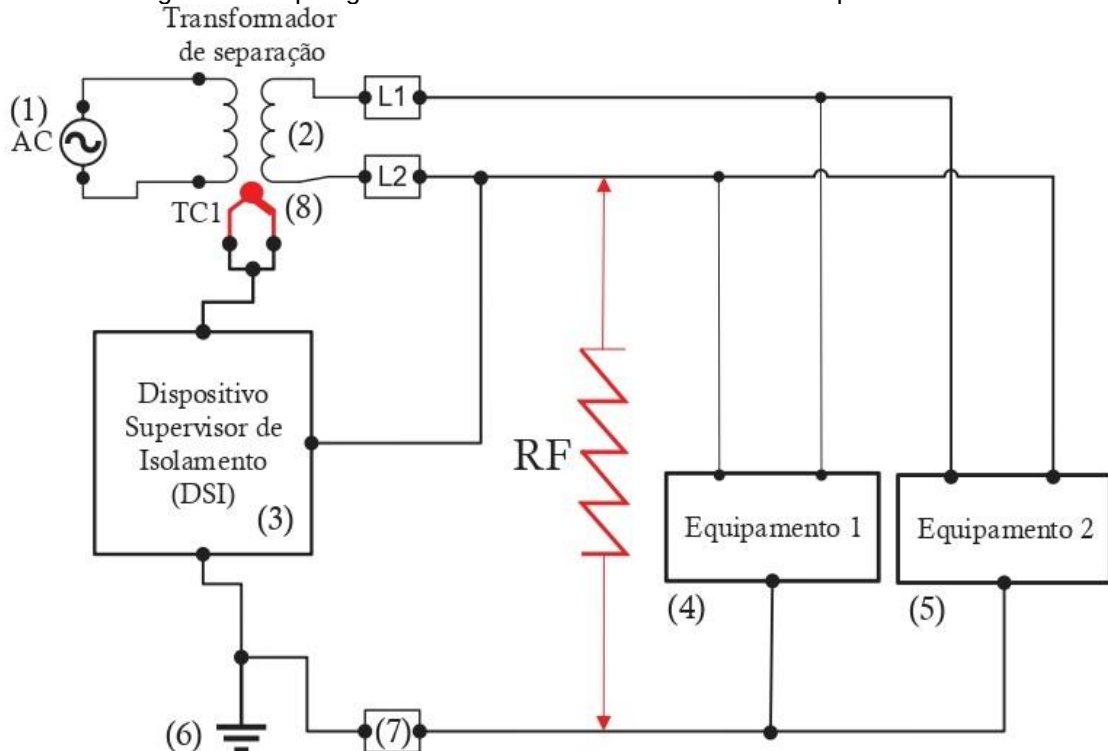
Figura 7 – Diagrama unifilar do caso tomado como exemplo.



Fonte: autoria própria.

No contexto das instalações elétricas hospitalares, o sistema de aterramento IT se destaca como uma solução eficaz para mitigar diversas limitações associadas a outros esquemas de aterramento. Especificamente, o sistema IT-médico oferece um desacoplamento elétrico entre os pontos de alimentação e consumo, realizado por meio de um transformador de separação. Além disso, o sistema incorpora um Dispositivo Supervisor de Isolamento (DSI), responsável por monitorar continuamente as condições da impedância de separação por meio de sensores dedicados. Para facilitar a interpretação e compreensão, apresenta-se na Figura 8 a um diagrama esquemático do sistema.

Figura 8 – Topologia de um sistema IT-médico monitorado por um DSI.



Fonte: retirado de [10].

Compondo o sistema como um todo, estão presentes na Figura 8 acima: a fonte de alimentação CA (1), o transformador de separação (2), o DSI (3), as cargas (4) e (5), o ponto de aterramento IT (6), o condutor PE (7) e o sensor de temperatura (8). A resistência R_F é a resistência de isolamento entre a fase e o condutor PE, constantemente monitorada pelo DSI. Em condições normais de operação, seu valor geralmente ultrapassa os 500 k Ω , fazendo com que correntes de fuga sejam desprezíveis (da ordem de microamperes). Aliado a isso, o monitoramento do sistema também contempla a temperatura do transformador, associando-a a sobrecorrentes nas cargas que provocariam uma elevação da temperatura no equipamento e, conseqüentemente, sobretensões no secundário do transformador. Esse último parâmetro é previsto no item 6.1.3.1.101 da NBR 13534 20083 [5], juntamente com outro requisito referente ao local de instalação dos transformadores, conforme segue:

“Os transformadores devem ser instalados o mais próximo possível do local médico, ou no seu interior, e devem ser dispostos em cubículos ou invólucros, de modo a evitar contato acidental com partes vivas.

A tensão nominal U_n do secundário do transformador não deve exceder 250 V c.a.”

Em particular, para os locais do Grupo 2, nos quais há aplicação direta dos equipamentos ou de parte deles aos pacientes, o esquema IT-médico deve contar com transformadores que atendam às exigências mínimas estabelecidas no item 6.1.3.1.102 da norma mencionada, conforme detalhado a seguir: “Os transformadores devem ser conforme a IEC 61558-2-15 e atender às especificações complementares descritas em a) a c):

- a) a corrente de fuga à terra do enrolamento secundário e a corrente de fuga do invólucro não devem exceder 0,5 mA. O valor da corrente de fuga deve ser medido com o transformador sem carga e alimentado sob tensão e frequência nominais;
- b) o transformador utilizado na constituição do esquema IT-médico, seja para a alimentação de equipamentos fixos ou portáteis, deve ser monofásico. A potência nominal de saída do transformador não deve ser inferior a 0,5 kVA nem superior a 10 kVA;

- c) se for necessário alimentar também cargas trifásicas em esquema IT, deve ser previsto, para tal, um transformador trifásico dedicado, com tensão secundária não superior a 250 V entre fases.”

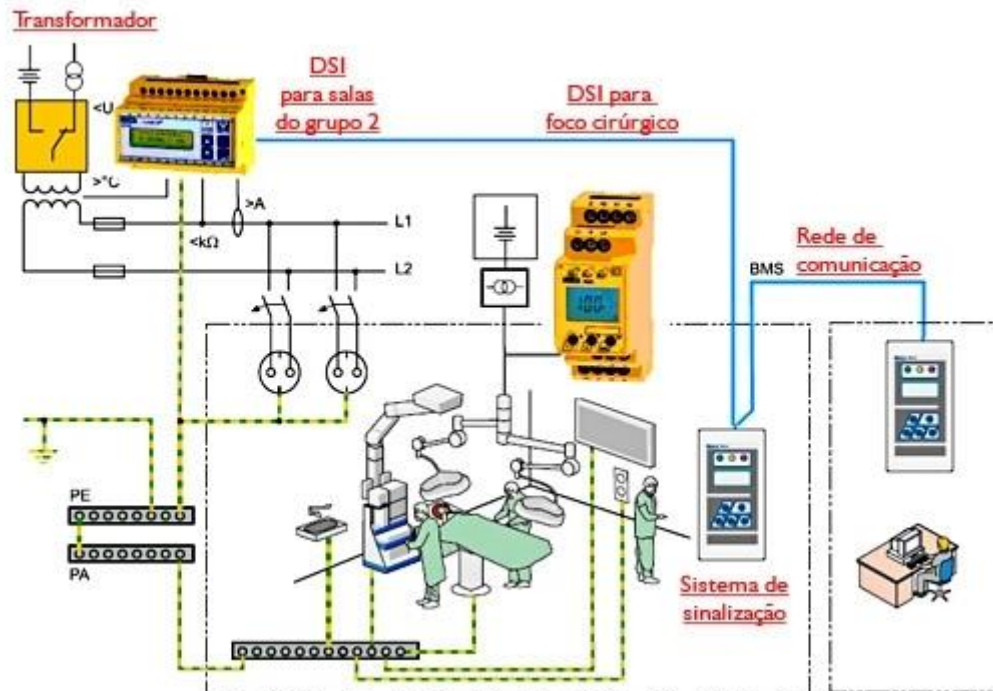
Além dos requisitos para os transformadores, o esquema IT-médico em locais do Grupo 2 também deve atender a requisitos mínimos para os DSI, sendo esse de presença obrigatória para tais locais, conforme descrito na alínea aa do item 5.1.3.1.5 da primeira versão da NBR 13534 [2]:

“aa) em locais do Grupo 2, o esquema IT-médico deve ser equipado com um DSI que preencha os seguintes requisitos adicionais:

- a) a impedância interna c.a. deve ser de 100 k Ω , no mínimo;
- b) a tensão de medição não deve exceder 25 V c.c.;
- c) a corrente injetada, mesmo em condição de falta, não deve exceder 1 mA, valor de crista;
- d) a indicação de queda da resistência de isolamento deve ocorrer antes mesmo ou no máximo assim que esta atingir 50 k Ω . Deve ser provido um dispositivo de teste 31 que permita verificar a conformidade com este requisito;
- e) deve haver sinalização no caso de ruptura do condutor de proteção ou de sua desconexão.”

Como o esquema IT-médico abrange diversos componentes e áreas, a Figura 9 apresenta uma visão geral de sua implementação, destacando a interligação entre o transformador, os DSI para diferentes setores, como salas do Grupo 2 e foco cirúrgico, além da rede de comunicação que integra o sistema de sinalização e o sistema de gerenciamento de bateria (BMS, do inglês “*Battery Management System*”).

Figura 9 – Instalação global de um sistema IT-médico para sala cirúrgica.



Fonte: retirado de] [11].

Ao abordar os aspectos em que o esquema IT-médico se destaca em relação aos demais, é fundamental ressaltar sua superior eficácia na proteção contra choques elétricos. Isso se deve ao fato de o acoplamento entre os pontos de alimentação e consumo ser realizado de forma exclusivamente magnética, eliminando o percurso pelo qual a corrente elétrica percorreria durante uma eventual eletrocussão. Dessa forma, o risco associado a choques elétricos é significativamente reduzido.

Adicionalmente, uma das limitações do esquema TT, que consiste na possibilidade de desconsiderar uma falta à terra em virtude de uma resistência de aterramento elevada frente aos valores típicos, torna-se irrelevante no esquema IT. Nesse contexto, o valor da resistência de aterramento é várias ordens de grandeza superior, o que, pela lei de Ohm, resulta em correntes de fuga extremamente reduzidas e praticamente elimina seus impactos.

Todos os fatores mencionados acima convergem para um requisito primordial: os locais pertencentes ao Grupo 2 não podem ter seu fornecimento de energia elétrica interrompido em decorrência de uma primeira falha, fundamentado pela nota 2 da alínea a do item 5.1.2.2.4.1 da NBR 5410 [1], que afirma:

“No caso particular dos esquemas IT, em geral não é desejável nem imperioso o seccionamento automático quando da ocorrência de uma primeira falta”.

De forma abrangente, essa análise reforça a necessidade de um detalhamento mais aprofundado sobre os motivos que fundamentam a preferência pelo sistema IT em EAS frente aos demais, especialmente em áreas onde a continuidade e a segurança do fornecimento de energia são pilares indispensáveis para seu pleno funcionamento, como é o caso dos locais do Grupo 2.

3.3 Proteção por seccionamento automático da alimentação

Uma vez discutidos os esquemas de aterramento em etapas anteriores, torna-se muito interessante ao estudo analisar o princípio do seccionamento automático da alimentação, especialmente no contexto dos EAS. A interação entre o seccionamento automático e os diferentes esquemas de aterramento, como o IT-médico, desempenha um papel crucial na segurança elétrica desses ambientes.

3.3.1 Generalidades

De acordo com o princípio do seccionamento automático, sempre que uma falha gerar uma tensão de contato superior ao limite seguro (UL), o fornecimento de energia ao circuito ou equipamento protegido deve ser interrompido automaticamente. A seguir, serão explorados os aspectos gerais dessa medida de proteção, sua aplicação prática e as condições em que se torna essencial, particularmente em ambientes hospitalares, onde a continuidade do fornecimento de energia é vital para o funcionamento seguro e eficaz dos serviços.

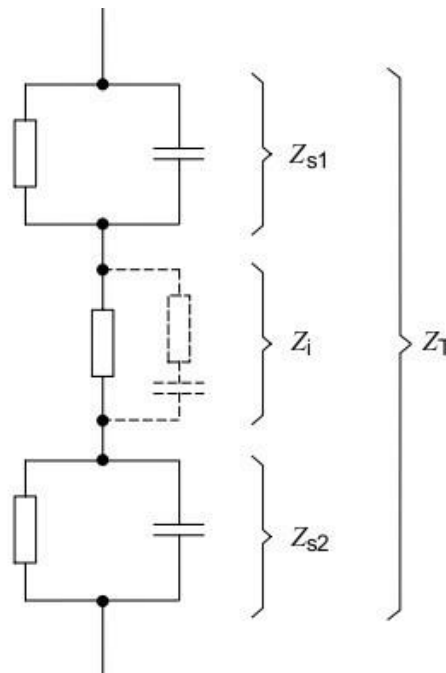
3.3.2 Corpo humano e o choque elétrico

A intensidade da corrente elétrica que percorre o corpo humano depende, principalmente, da resistência oferecida pelo corpo e da diferença de potencial aplicada. A resistência à passagem da corrente é influenciada por fatores como as barreiras formadas pela pele nas entradas e saídas da corrente, bem como pelas

características internas do corpo, incluindo o estado da pele, que pode variar conforme fatores como umidade, lesões ou características individuais. Em relação à tensão aplicada, a resistência do corpo diminui conforme a tensão aumenta, o que agrava os riscos à segurança humana.

Um modelo amplamente aceito, proposto pelo Prof. Dr. Eng. Geraldo Kindermann [12], descreve a impedância do corpo humano em choques com corrente alternada de 50Hz, utilizando um circuito composto por três impedâncias em série (Z_{s1} , Z_{s2} e Z_i), que representam a impedância total apresentada pelo corpo humano (Z_T), conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Modelo equivalente de impedância do corpo humano



Fonte: adaptado de [12].

No mesmo contexto de pesquisa, foi analisado o comportamento do corpo humano em função dos diferentes pontos de contato durante choques elétricos, com o objetivo de determinar a resistência interna do corpo para diversas trajetórias possíveis da corrente elétrica. O resultado de pesquisas da IEC 60479-1 [13] é exibido na Figura 11, onde o número entre parênteses indica o valor percentual da resistência interna do corpo em relação ao percurso da corrente entre a mão que segura um eletrodo energizado até o ponto considerado. Em outras palavras, a figura ilustra como

a resistência elétrica varia ao longo dos diferentes segmentos do corpo humano percorridos pela corrente, em comparação com a resistência total medida entre uma mão e o pé do mesmo lado do corpo. Por exemplo, somando os trechos que formam o percurso referencial (mão-pé), obtém-se o valor de 100%, da forma:

$$R_{\text{referencial}} (\%) = (26,4 + 10,9 + 9,9 + 1,3 + 5,1 + 14,1 + 32,3)\% = 100\%$$

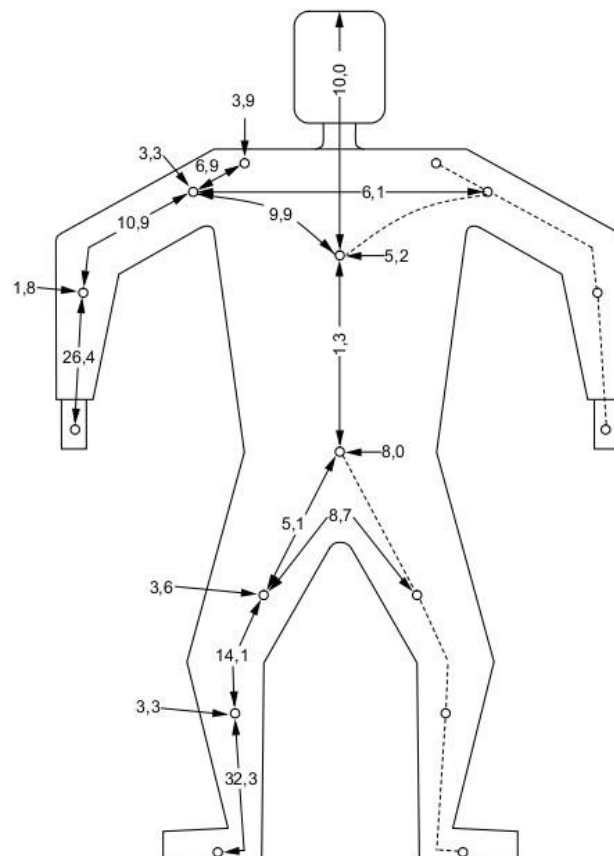


Figura 11 – Resistência interna do corpo humano para diferentes percursos.

Fonte: retirado de [13].

Embora os valores de impedância do corpo humano apresentem grande variação devido a fatores como a condição da pele (seca ou úmida), a área de contato, a frequência da corrente elétrica e a saúde do indivíduo, diversas referências bibliográficas [1] [5] [14] [15] [16] indicam que, em condições secas, o módulo da impedância geralmente se situa entre 1 e 5 kΩ. Por outro lado, em condições úmidas

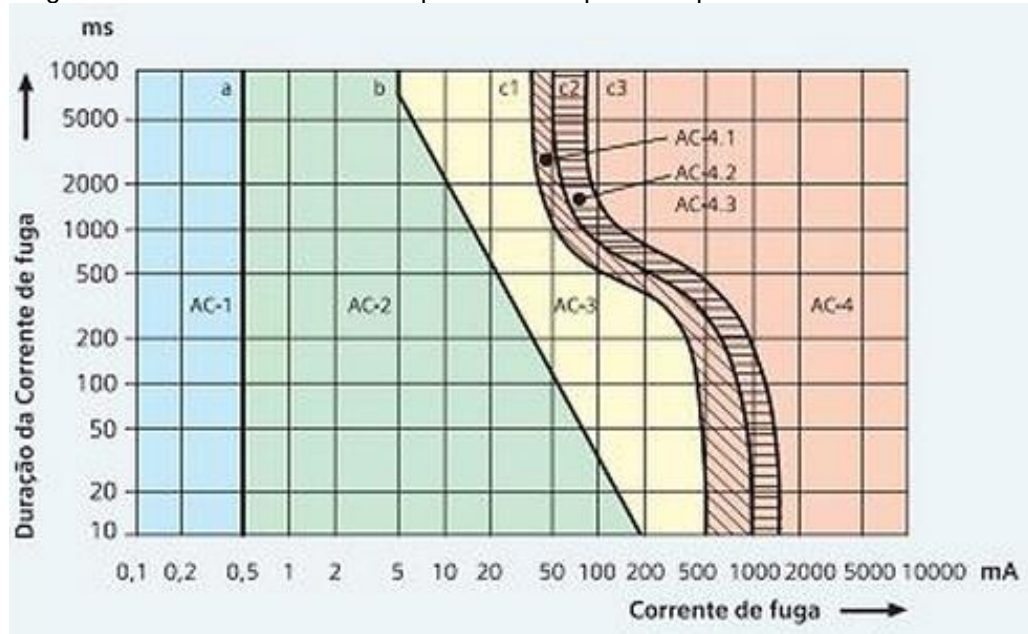
ou quando há contato direto com a pele, esse valor pode diminuir consideravelmente, variando entre 500 e 2.000 Ω .

Charles Francis Dalziel, engenheiro mecânico formado pela Universidade da Califórnia em 1927, dedicou-se ao estudo dos efeitos da eletricidade em seres humanos e animais. Em sua obra intitulada *The Effects of Electric Shock on Man* (Os Efeitos do Choque Elétrico no Homem) [16], Dalziel concluiu que 99,5 % das pessoas com massa corporal igual ou superior a 50 kg são capazes de suportar uma corrente de choque limite (I_{choque_limite}) sem a ocorrência de fibrilação ventricular, desde que a exposição ocorra dentro de um intervalo de tempo específico (t). Essa relação é descrita pelas equações apresentadas a seguir:

$$I_{choque_limite} = \frac{116}{\sqrt{t}}, \text{ onde: } 0,03 \text{ s} \leq t \leq 3 \text{ s} \quad (3.4)$$

Com o objetivo de fornecer uma compreensão mais precisa dos efeitos fisiológicos da eletricidade sobre o corpo humano, a IEC 60479-1 [13] apresenta o gráfico, ilustrado na Figura 12, que correlaciona o tempo de duração do choque elétrico, a intensidade da corrente e os potenciais danos à saúde humana. Para o desenvolvimento desse modelo, foi adotado um cenário em que a corrente percorre o trajeto entre a mão esquerda e o pé de um indivíduo, simulando um contato direto com a terra, o que resulta em uma condição conhecida como falta à terra. Este gráfico é essencial para entender as implicações de choques elétricos de diferentes durações e intensidades, e como esses fatores podem levar a uma variedade de efeitos fisiológicos, desde contrações musculares involuntárias até distúrbios cardíacos graves, como a fibrilação ventricular, que pode ser fatal se não tratada de imediato.

Figura 12 – Gráfico de zonas tempo x corrente para choques elétricos em humanos.



Fonte: retirado de [13].

As zonas compreendidas pelo gráfico são:

- AC-1: Percepção possível, mas sem causar reações significativas;
- AC-2: Percepção provável com contrações musculares involuntárias, mas sem efeitos fisiológicos graves;
- AC-3: Contrações musculares involuntárias intensas, dificuldade respiratória e disfunções cardíacas reversíveis. A imobilização pode ocorrer, e os efeitos tendem a aumentar com a intensidade da corrente elétrica, sendo geralmente reversíveis;
- AC-4: Efeitos patológicos graves, incluindo parada cardíaca, parada respiratória, queimaduras e danos celulares. A probabilidade de fibrilação ventricular aumenta com a intensidade da corrente e o tempo de exposição;
 - AC-4.1: Probabilidade de fibrilação ventricular aumentada em até 5%;
 - AC-4.2: Probabilidade de fibrilação ventricular de aproximadamente 50%;
 - AC-4.3: Probabilidade de fibrilação ventricular superior a 50%.

A NBR 5410 [1] identifica quatro níveis de risco a que uma pessoa pode ser submetida a um choque elétrico, associados às condições do contato, conforme detalhado no Anexo D deste trabalho. Com base nessas informações, a norma estabelece uma tabela, ilustrada Figura 13, que correlaciona os diferentes tipos de situações de choque elétrico com o tempo máximo permitido para o seccionamento da proteção, buscando garantir a segurança das pessoas ao minimizar os riscos de danos fatais ou lesões irreversíveis.

Figura 13 – Tempos máximos de seccionamento de acordo com as tabelas 25 e 26 da NBR 5410.

Esquemas de aterramento	Tensão nominal (V) TN - fase-terra IT - fase-fase	Tempo de seccionamento (s)	
		Situação 1	Situação 2
TN	115, 120, 127	0,8	0,35
	220, 254, 277	0,4	0,2
	400	0,2	0,05
IT	208, 220, 230	0,8	0,4
	380, 400, 480	0,4	0,2
	690	0,2	0,06

Fonte: adaptado de [7].

Considerando uma tensão de 380/220 V e utilizando a impedância média do corpo humano, que corresponde ao valor médio da faixa de impedâncias possíveis, ou seja, 3 k Ω para a situação 1 e 1,25 k Ω para a situação 2, em um contato direto entre a fase e o solo, a corrente que fluiria pelo corpo do indivíduo seria de aproximadamente 73,3 mA no primeiro caso e 176 mA no segundo. Aplicando esses valores de corrente na Equação 3.4, calcula-se o tempo máximo que o corpo poderia suportar sem que ocorra fibrilação ventricular, que seria cerca de 2,5 s para a situação 1 e 0,4 s para a situação 2. Como ilustrado na Figura 13, a NBR 5410 [1] estabelece o seccionamento da corrente antes que o choque elétrico proveniente da tensão mencionada possa causar danos significativos ao corpo humano, conforme ilustrado na Figura 12, que apresenta a relação entre o tempo de exposição, a intensidade da corrente elétrica e os danos potenciais ao organismo.

3.4 Instalações de segurança

As instalações de segurança desempenham um papel crítico em assegurar a continuidade de serviços essenciais que visam à preservação da vida e à proteção em situações de emergência. Projetadas para operar mesmo em condições adversas, essas instalações são fundamentais em ambientes que requerem confiabilidade máxima, como hospitais, centros de dados e sistemas de evacuação. Sua principal função é manter o funcionamento de sistemas indispensáveis, como iluminação de emergência, alarmes, sistemas de ventilação e equipamentos médicos vitais, contribuindo diretamente para a segurança das pessoas e a minimização de riscos em cenários críticos.

3.4.1 Fontes de segurança

A NBR 5410 especifica as alternativas viáveis para a configuração de fontes de segurança, incluindo bancos de bateria, geradores e alimentações derivadas da rede pública de distribuição, desde que configuradas de forma a assegurar sua efetiva independência em relação à fonte principal [1]. Vale salientar que, no caso de alimentação derivada da rede pública, é imprescindível que a separação entre as fontes seja projetada de maneira a tornar extremamente improvável a ocorrência simultânea de falhas nas fontes principal e de segurança. Essa estratégia de redundância é essencial para mitigar os riscos associados à indisponibilidade de energia, garantindo a operação ininterrupta de sistemas críticos indispensáveis à preservação da vida e à segurança em ambientes de alta relevância.

No âmbito das instalações elétricas hospitalares, a NBR 13534 [2], em seu item 6.6.2.101.1, determina que hospitais, centros de saúde, clínicas e estabelecimentos similares devem dispor de uma fonte de segurança. Essa fonte deve ser capaz de suprir energia, em caso de falha na alimentação normal, por um período mínimo previamente especificado, observando o tempo máximo admissível para a comutação.

3.4.2 Prescrições especiais

Nesta seção, serão desenvolvidos os conceitos apresentados na Subseção 3.1.2 deste trabalho, com ênfase nas definições relacionadas às Classes dos equipamentos, sistemas ou ambientes (0,5; 15; >15). Inicialmente, serão exploradas as fontes destinadas a instalações de segurança com tempo de comutação máximo de 15 segundos, classificadas como Classe 15.

Conforme disposto na NBR 13534 [2], as instalações de segurança devem suprir energia a sistemas essenciais, incluindo iluminação de emergência, elevadores destinados ao uso exclusivo de bombeiros, sistemas de exaustão de fumaça, sistemas de chamada ou busca de pessoas, equipamentos eletromédicos utilizados em locais do Grupo 2 voltados a cirurgias ou outras intervenções de importância vital, além de dispositivos relacionados ao fornecimento de gases medicinais e seus respectivos sistemas de monitoração. Adicionalmente, o item 6.6.2.102.1.1 da referida norma especifica que a alimentação desses equipamentos e sistemas deve ser assumida pela fonte de segurança em um intervalo máximo de 15 segundos, caso seja detectada uma queda de tensão superior a 10% da tensão nominal em uma ou mais fases do QDP, por um período superior a 3 segundos. Complementarmente, conforme o item subsequente, a fonte de segurança deve ser capaz de sustentar a alimentação das cargas atendidas por, no mínimo, 24 horas.

Para os serviços cuja comutação ultrapasse 15 segundos, ou seja, de Classe >15, é permitido o redirecionamento de outros equipamentos para as fontes de segurança, com exceção dos sistemas de Classe 15 previamente mencionados. Entre os equipamentos que podem ser alimentados por essas fontes estão os sistemas de esterilização, refrigeração, calefação e ventilação, equipamentos de cozinha, carregadores de baterias e sistemas de descarte de resíduos. A norma também reforça a exigência de que a fonte de segurança seja capaz de sustentar a alimentação dessas cargas por, no mínimo, 24 horas, garantindo a continuidade dos serviços essenciais e a segurança do ambiente hospitalar.

Por fim, o item 6.6.2.102.3 da mesma norma trata dos serviços classificados como Classe 0,5, que exigem um tempo de comutação máximo de meio segundo. Esses serviços, devido à sua essencialidade, são considerados de extrema importância para a continuidade da operação do estabelecimento, e a fonte de segurança prevista para eles é adicional, uma vez que, na maioria dos casos, esses

sistemas já possuem baterias integradas para garantir o funcionamento contínuo em situações de emergência. Independentemente da presença de uma fonte adicional, as luminárias cirúrgicas devem ser equipadas com uma fonte de segurança capaz de assumir automaticamente a carga em, no máximo, meio segundo, sempre que ocorrer uma falha na alimentação convencional. Caso essas luminárias já possuam fontes de segurança internas, a fonte adicional deve ser capaz de assumir a carga de forma automática em até 0,5 segundos e manter a alimentação por, no mínimo, 1 hora. Caso contrário, a fonte de segurança deve ser dimensionada para alimentar a carga por, no mínimo, 3 horas, garantindo o funcionamento contínuo e seguro dos serviços essenciais do ambiente crítico.

3.4.3 Integração de Fontes de Alimentação Ininterrupta em ambientes críticos

Atendendo às exigências das normas acerca de fontes de segurança [1] [3] [4], existe um sistema capaz de integrar várias fontes de alimentação e coordená-las de modo a garantir o mais confiável e seguro suprimento ao ambiente crítico hospitalar, onde a necessidade de confiabilidade energética vai além da continuidade operacional, abrangendo também a proteção de vidas e a segurança dos equipamentos eletromédicos.

As Fontes de Alimentação Ininterrupta (UPS, do inglês “*Uninterruptible Power Supply*”) desempenham um papel fundamental ao elevar o grau de confiabilidade no fornecimento de energia elétrica em ambientes críticos, especialmente em situações de emergência. Esses sistemas possuem a capacidade de integrar, além da alimentação convencional, diversas outras fontes de energia, ampliando a flexibilidade e a segurança do suprimento. Conforme recomendado pela NBR 5410 [1], as fontes mais comuns associadas às UPS incluem geradores e bancos de baterias. Contudo, a funcionalidade das UPS não se limita a essas opções; é possível, por exemplo, integrar fontes de geração fotovoltaica local, tanto em sistemas *off-grid* quanto *on-grid*, otimizando a eficiência energética e contribuindo para a sustentabilidade do ambiente hospitalar.

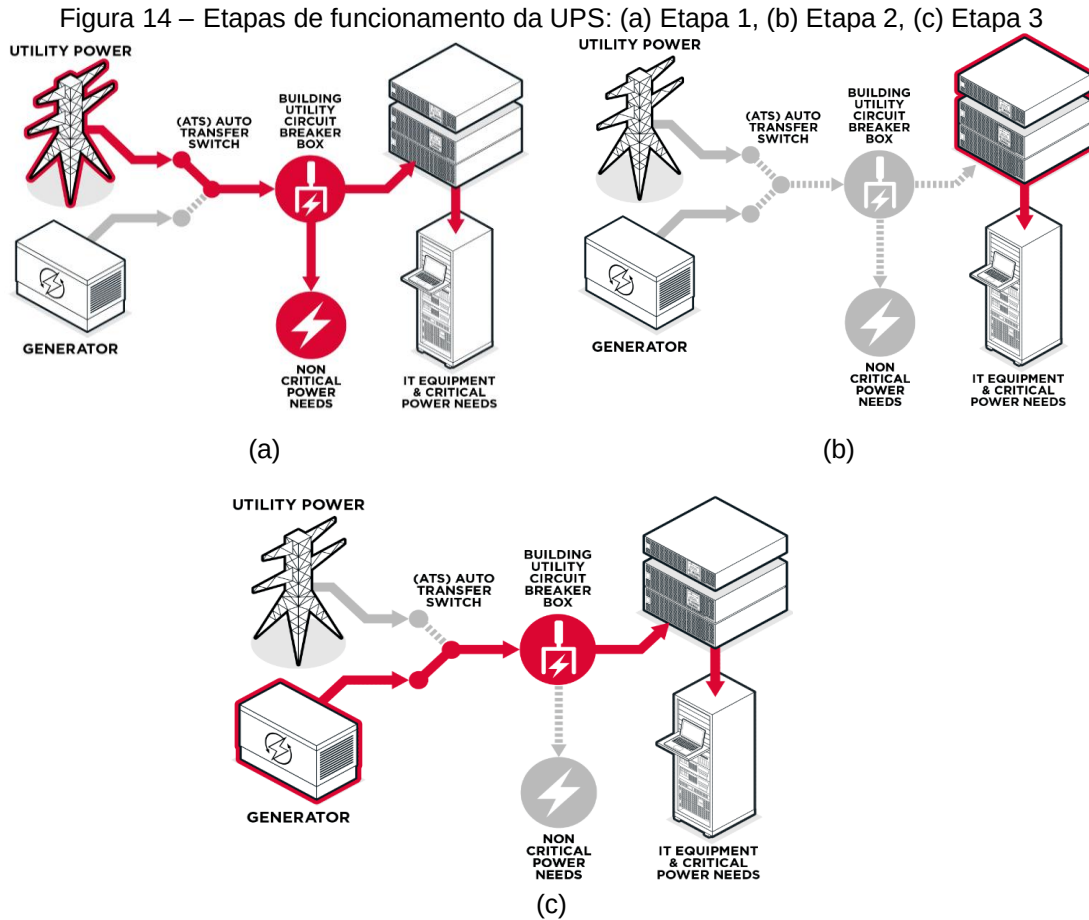
O funcionamento desses sistemas baseia-se, essencialmente, na atribuição de graus de prioridade tanto às cargas quanto às fontes de energia. Essa abordagem permite que o sistema interprete as condições operacionais em tempo real,

considerando o estado de cada fonte e a criticidade de cada carga. Dessa forma, o UPS realiza a associação eficiente e segura das cargas às fontes de energia mais adequadas, garantindo o fornecimento contínuo e confiável, mesmo diante de falhas ou oscilações na alimentação convencional. Em geral, a lógica de funcionamento combinada entre a rede elétrica, gerador e baterias segue um esquema bem definido para garantir o fornecimento ininterrupto de energia, especialmente em ambientes críticos. Durante condições normais de operação, a rede elétrica convencional é utilizada como fonte primária de alimentação, suprindo tanto as cargas críticas quanto as não críticas de forma contínua, inclusive as baterias, que permanecem em modo de carregamento, o que caracteriza o primeiro caso de funcionamento do sistema.

No entanto, em situações de falha na rede, como interrupções ou desvios significativos de tensão e frequência, a lógica prioriza a ativação do gerador como a próxima fonte de energia. Contudo, os geradores requerem um tempo médio de 10 a 30 segundos para entrar em operação plena e assumir a carga. Esse intervalo seria inaceitável para serviços classificados como Classe 0,5 ou Classe 15, onde interrupções, mesmo que breves, podem representar riscos significativos para pacientes e equipamentos hospitalares essenciais.

Assim, para mitigar esse intervalo, as baterias (ou *nobreaks*) da UPS entram em ação imediatamente após a detecção da falha na rede, assumindo a alimentação das cargas críticas, configurando a segunda etapa de funcionamento do sistema. Esse suporte temporário assegura a continuidade do fornecimento até que o gerador atinja estabilidade operacional e possa assumir a carga integralmente. A terceira e última etapa de funcionamento ocorre após a estabilização do gerador, quando as baterias retornam ao modo de carregamento, garantindo que estejam prontas para atender a futuras necessidades. Via de regra, o gerador alimentará apenas as cargas críticas, embora, a depender de suas reservas de combustível e grau de carregamento, também exista a possibilidade do mesmo assumir as cargas não críticas.

As três etapas do funcionamento estão ilustradas de maneira a favorecer a compreensão na Figura 14, que apresenta a UPS operando com a rede elétrica (a), baterias (b) e gerador (c), fornecendo energia para cargas críticas, como as conectadas ao sistema IT-Médico. Nas imagens, as conexões entre as fontes de energia e as cargas são destacadas em vermelho, indicando a comutação em cada cenário descrito na lógica apresentada anteriormente.



Fonte: retirado de [17].

Com base no exposto, a adoção de sistemas como UPS em estabelecimentos de saúde apresenta benefícios significativos, como o aumento da confiabilidade no fornecimento de energia elétrica, a proteção de equipamentos sensíveis e, principalmente, a preservação de vidas. Além disso, ao integrar múltiplas fontes de energia e operar com flexibilidade, esses sistemas não apenas garantem o cumprimento dos requisitos normativos, mas também melhoram o desempenho energético e funcional do ambiente hospitalar, contribuindo para a eficiência e a proteção dos serviços de saúde.

4 VERIFICAÇÃO IN LOCO DOS ASPECTOS NORMATIVOS

Nesta seção, são apresentados os registros obtidos durante a visita técnica HC-UFPE, com o objetivo de verificar a aplicação prática e as conformidades dos sistemas elétricos hospitalares em relação às principais normas técnicas abordadas na fundamentação teórica deste trabalho. A análise realizada busca evidenciar como

as exigências normativas são implementadas no ambiente hospitalar, contribuindo para a segurança, funcionalidade e eficiência dos EAS.

4.1 Autorização e realização da visita técnica

O uso dos materiais referentes ao HC-UFPE presentes neste trabalho foi aprovado mediante solicitação formal encaminhada à administração do hospital no dia 19/06/2024 e, posteriormente, à rede de pesquisa da Ebserh, em 03/09/2024. Nos documentos, foram apresentados os objetivos acadêmicos e técnicos do trabalho, destacando a necessidade de acesso às áreas relevantes para a análise. A solicitação foi aprovada no dia 04/09/2024, permitindo o acesso às áreas pertinentes, desde que acompanhado por um responsável técnico, sempre em conformidade com as normas de segurança e ética estabelecidas pela instituição. O documento que comprova a autorização encontra-se em anexo, garantindo a transparência e a formalidade do processo.

A visita técnica foi realizada em duas etapas. Na primeira, ocorrida no dia 19/06/2024, estive acompanhado pelo Eng. Gabriel Liberalquino, coorientador deste trabalho e graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com o objetivo de realizar um reconhecimento geral das instalações do hospital e esclarecer dúvidas técnicas relacionadas aos sistemas elétricos do local. Na segunda visita, realizada em 09/12/2024, estive acompanhado pelo Eng. Antony Júnio, também graduado em Engenharia Elétrica pela UFPE. Nessa etapa, como já havia recebido a aprovação do projeto, a análise pôde ser registrada e mais aprofundada, com ênfase nos aspectos normativos, visando avaliar a conformidade das instalações com as normas e regulamentos aplicáveis à segurança elétrica no ambiente hospitalar. Ambas as visitas foram essenciais para o levantamento de informações sobre a infraestrutura elétrica do HC-UFPE, proporcionando contribuições valiosas para o desenvolvimento deste trabalho.

A seguir, serão detalhados os resultados da verificação, destacando os pontos de conformidade, eventuais inconsistências normativas, e sugestões de melhoria identificadas ao longo da análise.

4.2 Esquema IT-médico dentro do HC-UFPE

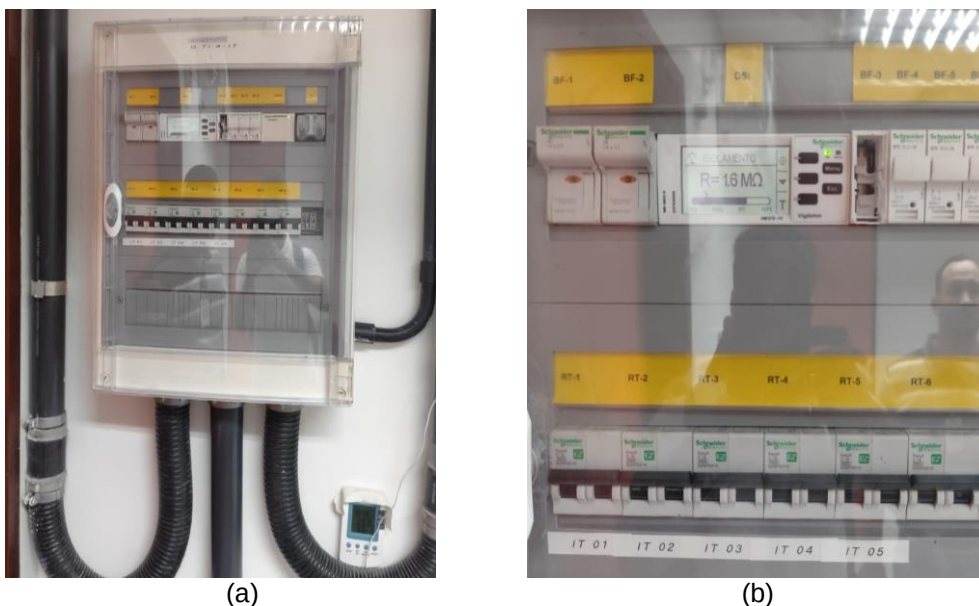
Chegando à parte interna do hospital, foi analisado, primeiramente, o esquema IT-médico dedicado à sala do angiógrafo que, consultando o item 15 do Apêndice A deste trabalho, verifica-se que se trata de um local do Grupo 1 e Classe 15. Inicialmente, já foi verificada a conformidade da instalação com o item 6.1.3.1.101 da NBR 13534, que, a respeito do transformador do IT-médico, diz:

“Os transformadores devem ser instalados o mais próximo possível do local médico, ou no seu interior, e devem ser dispostos em cubículos ou invólucros, de modo a evitar contato acidental com partes vivas.” [2]

Como primeiro item a ser analisado no interior do HC-UFPE, diversas dúvidas foram esclarecidas pelo Eng. Antony. Em razão disso, o registro do local acabou sendo momentaneamente negligenciado. No entanto, constatou-se que o transformador estava localizado a aproximadamente 2 metros da sala atendida, atendendo à distância reduzida exigida pela norma. Além disso, como será apresentado a seguir em relação aos outros sistemas IT que visitei, o transformador que alimenta a sala de angiografia estava instalado em um invólucro de proteção dentro de uma sala reservada, atendendo ao requisito normativo mencionado.

Ainda para esse mesmo sistema, foi fotografado o quadro elétrico, no qual é possível visualizar o valor medido da resistência de isolamento no visor do equipamento, conforme apresentado na Figura 15 a seguir:

Figura 15 – Quadro elétrico destinado ao IT-médico da sala de angiografia: (a) Quadro instalado na parede, (b) Fotografia com ênfase no valor da resistência de isolamento medida (1,6 MΩ).



Fonte: autoria própria.

Como pode ser claramente observado na Figura 16b, a resistência medida foi de 1,6 MΩ, valor 16 vezes superior ao mínimo exigido pela norma, que é de 100 kΩ, indicando uma isolação excelente para o sistema. Além disso, o quadro elétrico apresenta-se bem organizado, com seus circuitos e proteções devidamente identificados, demonstrando um elevado nível de cuidado e conformidade com os requisitos da NBR 5410 [1].

Dando continuidade à análise dos demais esquemas IT do hospital, foram registradas fotografias dos transformadores de separação e de seus respectivos locais de instalação, conforme ilustrado nas Figura 16 e Figura 17. Conforme informado pelo Eng. Antony Júnio, esses sistemas atendem às Unidades de Terapia Intensiva (UTIs), classificadas como locais que variam entre Grupo 1 e Grupo 2 e Classe 0,5 a 15, conforme descrito no Apêndice A deste trabalho. O transformador 01 é responsável pela atual UTI clínica, anteriormente conhecida como Unidade de Recuperação de Cirurgia Cardíaca (URCC), enquanto o transformador 02 atende à UTI cirúrgica. Recomenda-se ao HC-UFPE a implementação de redundância para os transformadores do sistema IT-médico, considerando sua relevância e crucialidade para áreas críticas do hospital. Dessa forma, em caso de falha em algum dos

transformadores, a continuidade dos serviços pode ser mantida. Os dados de placa desses equipamentos estão podem ser consultados na Figura 18.

Figura 16 – Local dos transformadores.



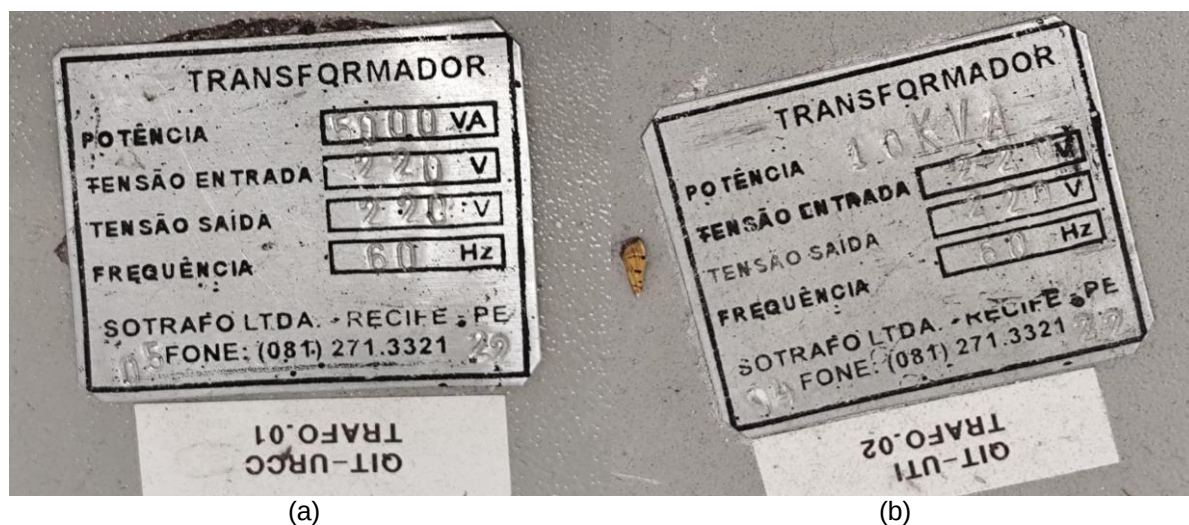
Fonte: autoria própria.

Figura 17 – Transformadores do IT-médico (UTIs).



Fonte: autoria própria.

Figura 18 – Dados de placa dos transformadores responsáveis pelo sistema IT-médico das UTIs:
(a) Transformador 01, (b) Transformador 02.



Fonte: autoria própria.

Analisando a Figura 18, nota-se que, mais uma vez, os sistemas IT do hospital atendem às exigências da NBR 13534 mais recente [2]. O item 6.1.3.1.101, por exemplo, estabelece que a tensão nominal (U_n) do secundário do transformador não deve ultrapassar 250 V (valor eficaz entre fase e neutro), sendo que, nos transformadores analisados, a tensão de secundário é de 220 V, em conformidade com a norma. Já o item 6.1.3.1.102, mais especificamente sua alínea b), orienta que os transformadores devem ser monofásicos e ter potência nominal entre 0,5 kVA e 10 kVA. Nesse sentido, os equipamentos avaliados também estão em conformidade, com o transformador 01 apresentando potência nominal de 5 kVA e o transformador 02, 10 kVA.

Ainda no ambiente destinado aos transformadores do IT-médico das UTIs, chaves seletoras eram responsáveis pelo controle da alimentação dos sistemas, possibilitando a alternância entre a rede elétrica e os *nobreaks*, conforme disposto na Figura 20. Essa configuração oferece maior flexibilidade operacional, permitindo uma resposta rápida em situações de falha na alimentação principal. Além disso, a utilização dessas chaves está em conformidade com as exigências da NBR 13534, que recomenda a adoção de sistemas alternativos para garantir a continuidade da

alimentação elétrica nos ambientes críticos, como as UTIs, conforme citado na Subseção 3.4.3 deste trabalho.

Na área dos quadros elétricos correspondentes aos sistemas analisados, identificados como QIT-UTI e QIT-URCC, foi possível verificar os valores de resistência de isolamento monitorados. Para o QIT-UTI, a resistência registrada foi de 2,1 M Ω , enquanto para o QIT-URCC, o valor observado foi de 560 k Ω . Apesar da diferença significativa entre os valores, ambos são considerados muito bons, já que a norma estabelece como mínimo aceitável 100 k Ω . O QIT-UTI está ilustrado na Figura 20 enquanto o QIT-URCC pode ser visualizado na Figura 21, ambos com seus respectivos valores de resistência.

Figura 19 – Chave seletora de alimentação dos sistemas IT-médico.



Fonte: autoria própria.

Figura 20 – Quadro elétrico dedicado ao IT-médico que alimenta a UTI cirúrgica (QIT-UTI): (a) Quadro instalado na parede, (b) Resistência de isolamento medida (2,1 MΩ).



(a)



(b)

Fonte: autoria própria.

Figura 21 – Quadro elétrico dedicado ao IT-médico que alimenta a atual UTI clínica (QIT-URCC): (a) Quadro instalado na parede, (b) Resistência de isolamento medida (560 kΩ).



(a)

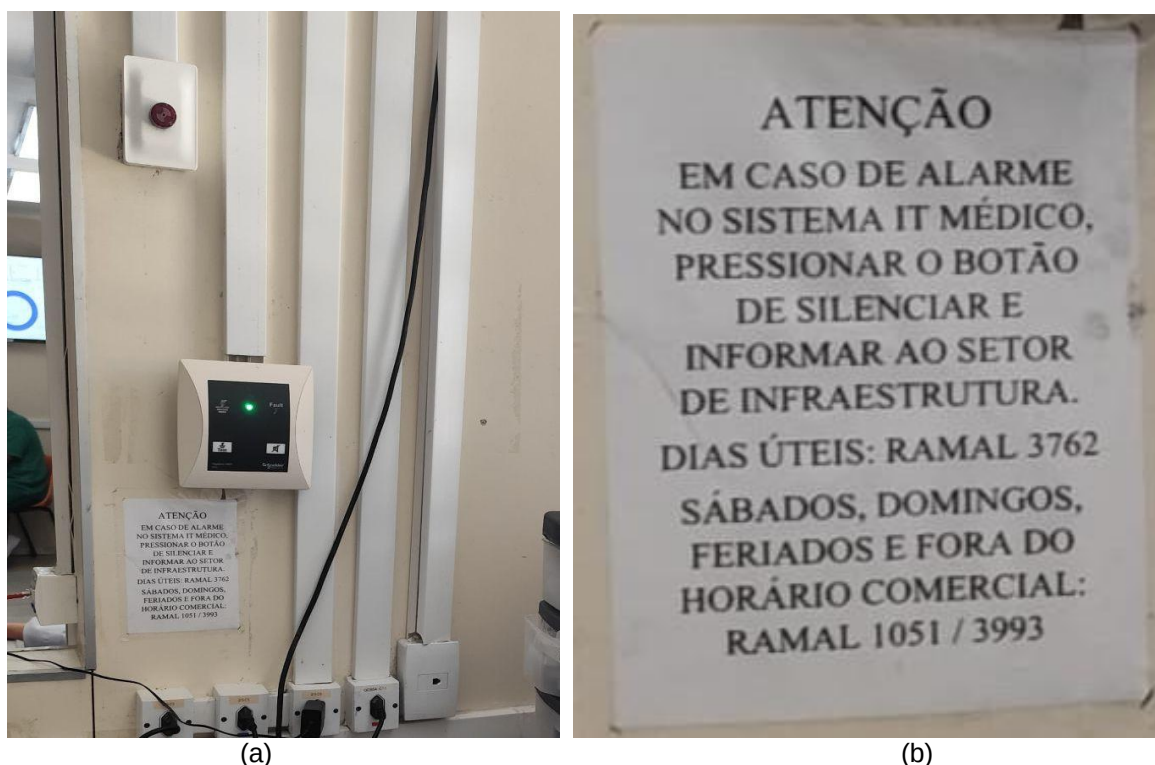


(b)

Fonte: autoria própria.

Para concluir as observações sobre a conformidade do sistema IT com as exigências normativas, aborda-se a parte de sinalização. Essa função desempenha um papel crucial na segurança, especialmente dos pacientes, ao alertar a equipe responsável em caso de qualquer falha no sistema monitorado, por meio de avisos sonoros e luminosos. Durante a visita técnica, foi possível verificar o sistema de alarme instalado na UTI clínica, enquanto o acesso à UTI cirúrgica foi evitado devido à sua natureza mais sensível. Por esse motivo, apenas o sistema de alarme da UTI clínica está disponível neste trabalho, conforme ilustrado na Figura 22, já que o ambiente apresentava menor restrição ao registro visual. Na figura, observa-se um aviso com orientações detalhadas para a equipe técnica em caso de alarme no sistema de monitoramento. Essas instruções são essenciais para assegurar uma resposta rápida e eficiente, facilitando as ações corretivas necessárias. Dessa forma, elas reforçam a segurança elétrica, garantindo a proteção tanto dos pacientes quanto dos profissionais que atuam no ambiente hospitalar.

Figura 22 – Quadro elétrico dedicado ao IT-médico que alimenta a atual UTI clínica (QIT-URCC): (a) Alarme de emergência instalado na UTI clínica, (b) Aviso informativo para o caso de falha no sistema.



Fonte: autoria própria.

Ao abordar a segurança e confiabilidade, durante a visita técnica, foi possível inspecionar a subestação do HC-UFPE, avaliando diversos itens que estão dentro do escopo da NBR 13534 [3] [2]. As instalações demonstraram uma clara preocupação com a continuidade dos serviços hospitalares, especialmente os essenciais. Foram observados dois geradores de 500 kVA, configurados como sistemas de backup entre si, garantindo a operação ininterrupta em caso de falha em um deles, conforme ilustrado na Figura 23. O Eng. Antony informou que a carga crítica do hospital, no dia da visita, encontrava-se por volta de 300 kVA, configurando uma boa folga de operação aos geradores. Além disso, foi informado pelo mesmo que, em casos de falhas, o painel de comando aciona automaticamente os dois geradores. A partir disso, eles levam alguns segundos para estabilizarem sua frequência e tensão, como visto na subseção 3.4.3 deste trabalho. Ao estarem prontos para assumir a carga, o painel de comando, então, maneja as cargas críticas para serem atendidas pelo gerador de prioridade estabelecida no painel de comando (ver Figura 24 e Figura 25). Além disso, foi informado que há planos para a inserção futura de mais dois geradores, ampliando a capacidade de atendimento das cargas do hospital em situações de contingência.

Figura 23 – Geradores a diesel do HC-UFPE: (a) Gerador 1 (G1), (b) Gerador 2 (G2).



Fonte: autoria própria.

Figura 24 – Painel de comando do gerador G1, acompanhado da chave seletora de prioridade.



Fonte: autoria própria.

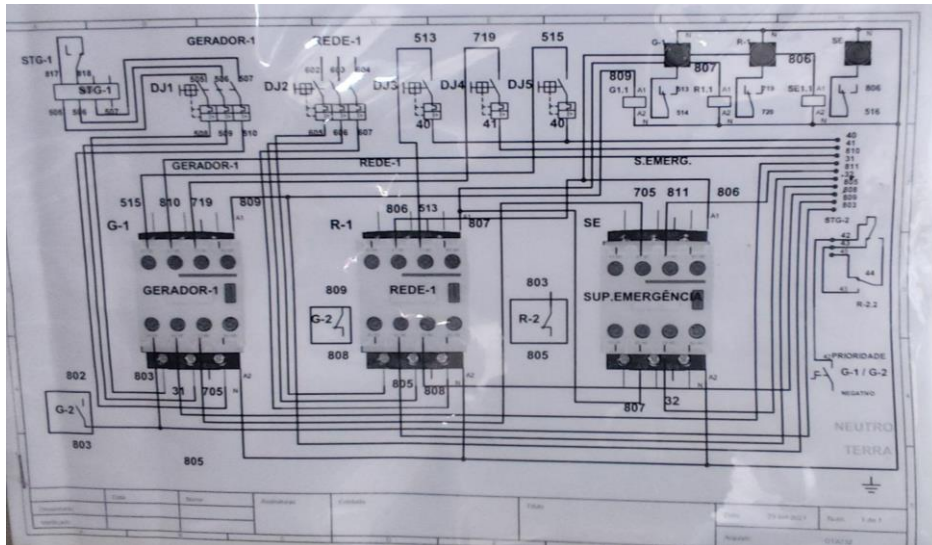
Figura 25 – Painel de comando do gerador G2, acompanhado do módulo de controle.



Fonte: autoria própria.

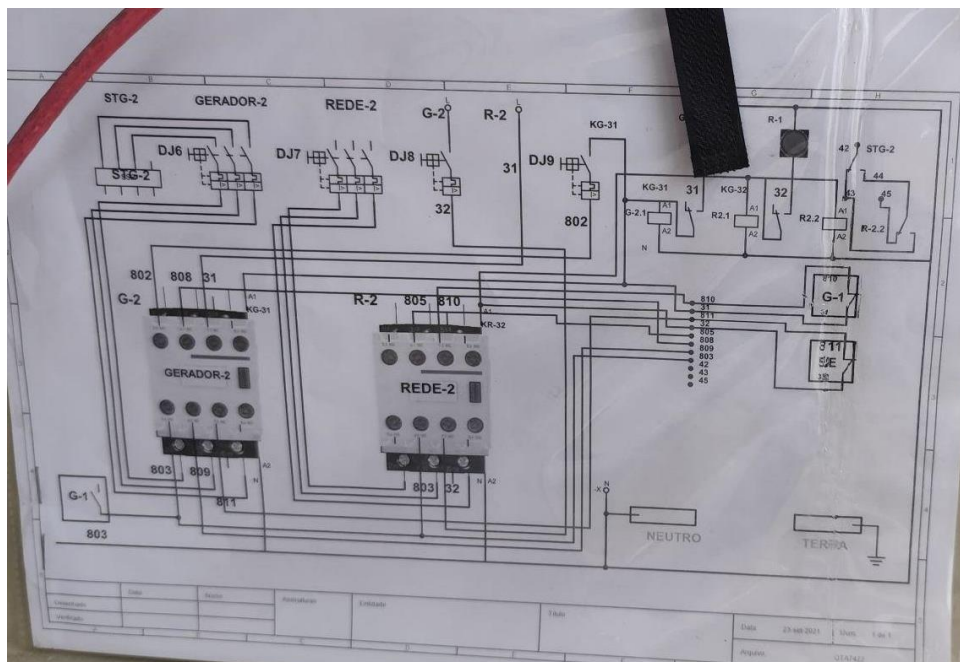
Os painéis de comando estavam equipados com seus respectivos diagramas esquemáticos, atendendo às exigências do item 6.1.8 da NBR 13534 [3] [2], conforme ilustrado nos exemplos apresentados na Figura 26 e Figura 27.

Figura 26 – Diagrama esquemático referente ao gerador G1.



Fonte: autoria própria.

Figura 27 – Diagrama esquemático referente ao gerador G2.



Fonte: autoria própria.

Além disso, foi constatado que o HC-UFPE também dispõe de um sistema de *backup* para os transformadores de potência, essencial para a continuidade operacional em casos de falhas ou manutenções programadas. Atualmente, o hospital conta com dois transformadores de 2 MVA isolados a seco, com relação de transformação de 13,8 kV para 380 V (valor eficaz entre fases). Segundo o Eng.

Antony Júnio, a corrente máxima já registrada pelo hospital foi de cerca de 2,45 kA, o que significa, sob a tensão mencionada, uma demanda por volta de 1,6 MVA. Além disso, esses transformadores são configurados de maneira que um opera como reserva do outro. Essa redundância é de extrema importância para assegurar que as cargas críticas, incluindo equipamentos e sistemas vitais para os pacientes, permaneçam continuamente alimentadas, mesmo diante de interrupções na infraestrutura elétrica primária. Devido à potência elevada e à natureza perigosa do ambiente em que estão instalados, esses transformadores estão localizados em um espaço devidamente protegido. Durante a visita técnica, foi possível registrar uma imagem apenas de um dos equipamentos, exposto na Figura 28. Após a parede de proteção que pode ser vista na foto, encontra-se o segundo transformador.

Figura 28 – Recinto de um dos transformadores de potência.



Fonte: autoria própria.

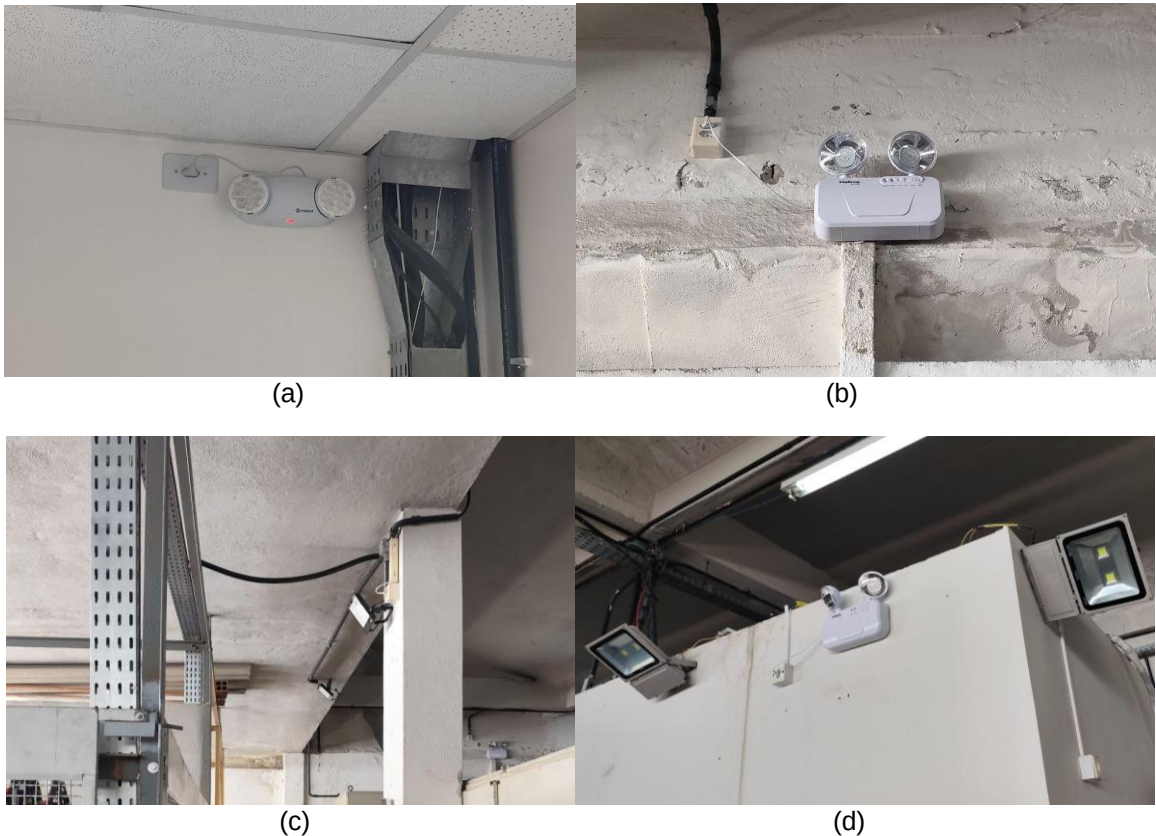
Figura 30 – Aviso de partida automática semanal.



Fonte: autoria própria.

Por fim, foi verificada a conformidade das instalações com o item 6.6.8.101 da NBR 13534 [2] que versa a respeito da iluminação de segurança do EAS. Foi possível constatar a presença desses sistemas em rotas de fuga, saídas de emergência, locais onde se situam os quadros de distribuição, os geradores, os transformadores, o banco de capacitores, locais do Grupo 1 e do Grupo 2. Alguns desses exemplos estão representados na Figura 31.

Figura 31 – Iluminação de emergência: (a) Em local do Grupo 1 (angiógrafo). (b) No banco de capacitores da subestação. (c) No recinto dos transformadores. (d) Nos painéis de comando.



Fonte: autoria própria.

Englobando os aspectos analisados durante a visita técnica e as exigências das normas técnicas vigentes, monta-se a Tabela 1:

Tabela 1 – Comparação entre os critérios normativos e os pontos avaliados durante a visita técnica ao Hospital das Clínicas da UFPE.

	Local	Exigência normativa	Verificação	Estado
Resistência de isolamento do IT-médico	UTI clínica	> 100 kΩ	560 kΩ	Bom
	UTI cirúrgica	> 100 kΩ	2,1 MΩ	Excelente
	Grupo 1	> 100 kΩ	1,6 MΩ	Excelente
Fontes de segurança	UTI clínica	Provido	Geradores e <i>nobreak</i>	Bom
	UTI cirúrgica	Provido	Geradores e <i>nobreak</i>	Bom
	Demais cargas críticas	Provido	Geradores, no mínimo	Adequado
Tensão nominal de secundário no transformador do IT-médico	UTI clínica	< 250 V	220 V	Adequado
	UTI cirúrgica	< 250 V	220 V	Adequado
Potência aparente nominal do transformador do IT-médico	UTI clínica	Entre 0,5 kVA e 10 kVA	5 kVA	Adequado
	UTI cirúrgica	Entre 0,5 kVA e 10 kVA	10 kVA	Adequado
Sinalizador de falha do IT-médico	UTI clínica	Provido	Provido	Adequado
	UTI cirúrgica	Provido	Provido	Adequado
Iluminação de emergência	Grupo 1	Provido	Provido	Adequado
	Banco de capacitores	Provido	Provido	Adequado
	Recinto dos transformadores	Provido	Provido	Adequado
	Quadros elétricos e painéis de comando	Provido	Provido	Adequado
Fichas de manutenção atualizadas	Grupo gerador	Provido	Provido	Adequado
Diagramas esquemáticos acessíveis e atualizado	Painéis de comando	Provido	Provido	Adequado
	Quadros elétricos	Provido	Provido	Adequado
	Almoxarifado	Provido	Provido	Adequado
Sinalização e avisos	UTI clínica	Provido	Provido	Adequado
	UTI cirúrgica	Provido	Provido	Adequado
	Painéis de comando	Provido	Provido	Adequado
	Quadros elétricos	Provido	Provido	Adequado
	Grupo gerador	Provido	Provido	Adequado
	Banco de capacitores	Provido	Provido	Adequado
	Recinto dos transformadores	Provido	Provido	Adequado

Fonte: autoria própria.

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

O estudo realizado evidenciou a importância de instalações elétricas hospitalares estarem em conformidade com as normas vigentes para garantir o pleno funcionamento dos EAS. Por meio de uma abordagem detalhada dos aspectos normativos, aliada à verificação *in loco* no HC-UFPE, constatou-se que os sistemas avaliados atendem aos requisitos técnicos exigidos, destacando o comprometimento com a segurança e a continuidade operacional.

A análise normativa englobou os principais requisitos relacionados ao aterramento, proteção contra choques elétricos e sistemas de alimentação de emergência, como geradores e nobreaks, com especial atenção ao esquema IT-Médico, amplamente utilizado em áreas críticas. Essa conformidade assegura o funcionamento confiável das instalações, protegendo pacientes e profissionais de saúde e mitigando riscos em situações adversas. No caso do HC-UFPE, os resultados obtidos destacam ainda mais a instituição como uma referência em segurança e eficiência de infraestruturas elétricas hospitalares. O compromisso demonstrado com a aderência às normas técnicas e a adoção de boas práticas reforça a posição do hospital como modelo para outros EAS, assegurando a continuidade e a qualidade dos serviços prestados, especialmente em áreas críticas e de alta complexidade.

Conclui-se que a aderência às normas técnicas é indispensável para garantir a segurança, a eficiência e a resiliência das instalações elétricas em ambientes hospitalares. Essa conformidade não apenas protege pacientes e profissionais de saúde, mas também assegura a continuidade das operações em situações adversas, reduzindo riscos e promovendo a confiabilidade dos serviços essenciais. Além disso, o estudo ressalta a relevância da manutenção preventiva e de investimentos constantes em tecnologias e capacitação. Essas medidas são fundamentais para a sustentabilidade das operações hospitalares, permitindo que as instituições se adaptem às crescentes demandas tecnológicas e mantenham altos padrões de qualidade e segurança em suas infraestruturas elétricas.

5.1 Trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se aprofundar a análise de novas tecnologias aplicáveis às instalações elétricas hospitalares e investigar

soluções ainda mais avançadas para aumentar a eficiência e a resiliência dos sistemas. Dentre elas, cito:

- Análise e estudo dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) em EAS, como componente essencial da proteção das instalações, avaliando seus riscos e impactos na continuidade dos serviços hospitalares.
- Avaliação dos impactos de correntes parasitas em sistemas IT-médicos, promovendo a análise de sua influência na segurança e confiabilidade das instalações, com foco na prevenção de falhas e na proteção de pacientes e profissionais de saúde.
- Realização de estudos estatísticos focados nos indicadores coletivos de continuidade, como DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora), FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora), DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora), DICRI (Duração da Interrupção Individual ocorrida em dia Crítico por Unidade Consumidora), DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), com o objetivo de avaliar o impacto desses eventos na continuidade dos serviços hospitalares.
- Desenvolvimento de sistemas eletroeletrônicos utilizando eletrônica de potência e teoria de controle, com o objetivo de melhorar a confiabilidade e eficiência dos sistemas de energia em EAS. Isso incluiria a otimização de UPS e o aprimoramento da segurança do sistema IT-médico contra correntes parasitas, garantindo a continuidade dos serviços hospitalares, mesmo em situações adversas

REFERÊNCIAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. Instalações elétricas de baixa tensão. **ABNT NBR 5410**, p. 209, setembro 2004.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde - Requisitos para segurança. **ABNT NBR 13534**, p. 14, Novembro 1995.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos específicos para instalação em estabelecimentos assistenciais de saúde. **ABNT NBR 13534**, p. 21, Novembro 2008.
4. ANVISA. Resolução RDC nº 50, fevereiro 2002. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/rdc0050_21_02_2002.html.
5. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Equipamento eletromédico Parte 1: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial. **ABNT NBR IEC 60601-1**, p. 358, outubro 2010.
6. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Equipamento eletromédico Parte 1: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial. **ABNT NBR IEC 60601-1 (Emenda 1)**, p. 129, outubro 2016.
7. CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 16ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
8. COTRIM, A. A. M. **Instalações Elétricas**. 5ª. ed. São Paulo: Pearson Education, 2009.
9. FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.
10. SILVA, A. A. P. D. Insulation monitoring device for a medical IT System, Toledo, Novembro 2017. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/23822>.
11. BENDER, R. Esquema IT Médico RDI BENDER, 2018. Disponível em: <https://catalogohospitalar.com.br/esquema-it-medico-rdi-bender.html>. Acesso em: 7 dezembro 2024.
12. KINDERMANN, G. **Choque Elétrico**. 3ª. ed. Florianópolis : UFSC, 2005.
13. IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Effects of current on human beings and lives tock - Part 1: General aspects. **IEC 60479-1**, Geneva, Switzerland, 2005.
14. HENRIQUES, F. C.; MORITZ, A. R. Studies of thermal injury. ii. the relative importance of time and temperature in the causation of damage to skin and muscle. **The Journal of Clinical Investigation**, 1947. 528.
15. REILLY, J. P.; ANTONI, H. E. A. **Electrical Stimulation and Electropathology**. 1ª. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
16. DALZIEL, C. F. The Effects of Electric Shock on Man. **Atomic Energy Commission, Office of Health and Safety, Safety and Fire Protection Branch**, 1959.
17. CYBERPOWER SYSTEMS. How a UPS system works with a backup generator, 2024. Disponível em: <https://www.cyberpowersystems.com/blog/how-a-ups-system-works-with-a-backup-generator/>. Acesso em: 9 dezembro 2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Aplicação dos critérios de grupo e classe aos locais médicos

Figura B.1 - Aplicação dos critérios de grupo e classe aos locais médicos

Item	Local	Grupo			Classe		
		0	1	2	0,5	15	>15
Ambulatório							
Enfermagem							
1	Sala de reidratação (oral e intravenosa)		X			X	
Internação de curta duração							
2	Posto de enfermagem e serviços	X					X
3	Demais salas		X			X	
Atendimento imediato (urgência e emergência)							
Urgências (baixo e médio risco)							
4	Sala de inalação, reidratação, sala para exame indiferenciado, otorrinolaringologia, ortopedia, odontológico individual		X			X	
5	Demais salas	X					X
Urgência (alta complexidade) e emergência							
6	Sala de procedimentos invasivos, de emergência (politraumatismo, parada cardíaca)			X	X ^b		
7	Sala de isolamento, coletiva de observação, Sala para manutenção de paciente com morte cerebral		X			X	
Internação							
Internação geral							
8	Posto de enfermagem, sala de serviço, sala de exames, curativos e de recreação	X					X
9	Internação geral de recém-nascidos (neonatologia) e demais salas		X			X	
Internação intensiva - UTI							
10	Área para prescrições médicas, sala de serviço e demais salas de apoio	X					X
11	Posto de enfermagem		X	X ^a		X	
12	Áreas e quartos de pacientes			X	X ^b	X	
13	Internação para tratamento de queimados - UTQ		X			X	

Item	Local	Grupo			Classe		
		0	1	2	0,5	15	>15
Apoio ao diagnóstico e terapia							
Patologia clínica							
14	Laboratório e sala de laudos	X					X
Imagenologia (tomografia, ultrassonografia, ressonância magnética, endoscopia) e métodos gráficos							
15	Todas as salas de exames		X			X	
16	Hemodinâmica			X	X ^b	X	
17	Sala de recuperação pós-anestésica e posto de enfermagem		X			X	
Anatomia patológica							
18	Câmara frigorífica para guarda de cadáveres	X					X
Medicina nuclear							
19	Sala de exames		X			X	
Centro cirúrgico							
20	Sala de indução anestésica e sala de cirurgia (não importando o porte)			X	X ^b	X	
21	Sala de recuperação pós-anestésica		X	X ^c	X ^b	X	
22	Demais salas		X	X ^a		X	
Centro obstétrico cirúrgico							
23	Sala de pré-parto, parto normal e AMIU, sala de indução anestésica (se não aplicado gás anestésico)		X			X	
24	Sala de parto cirúrgico			X	X ^b	X	
25	Sala de recuperação pós-anestésica e assistência ao RN		X	X ^c		X	
26	Demais salas		X	X ^a		X	
Centro de parto normal							
27	Sala de parto e assistência ao RN	X					X
Hemoterapia							
28	Sala de processamento de sangue e guarda de hemocomponentes	X					X
29	Sala de coleta de sangue, de recuperação de doadores, de transfusão e posto de enfermagem		X			X	

Item	Local	Grupo			Classe		
		0	1	2	0,5	15	>15
Apoio ao diagnóstico e terapia							
Radioterapia							
30	Salas de exames		X			X	
Quimioterapia							
31	Salas de aplicação	X					X
Diálise							
32	Sala para diálise/hemodiálise, recuperação de pacientes e posto de enfermagem		X			X	
Banco de leite							
33	Sala de processamento, estocagem e distribuição	X					X
Oxigenoterapia hiperbárica							
34	Sala de terapia e de máquinas		X			X	
Apoio técnico							
Nutrição e dietética							
35	Despensa de alimentos climatizada	X					X
Farmácia							
36	Área de imunobiológicos	X					X
Apoio logístico							
Infraestrutura predial							
37	Centrais de gases e vácuo, ar-condicionado, sala para grupo gerador, subestação elétrica e bombas	X					X

Fonte: adaptado de [2], [3] e [4]

^a Caso haja equipamentos do tipo estação central de monitoração no posto de enfermagem, a classificação deve ser a mesma das salas dos pacientes, para evitar perturbações nos circuitos de alimentação.

^b Focos cirúrgicos e fontes de luz para endoscopia devem ter sua alimentação restabelecida em até 0,5 s.

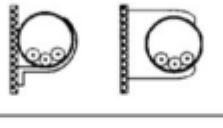
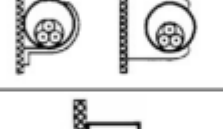
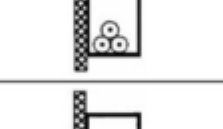
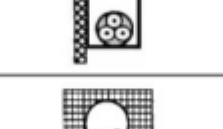
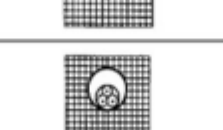
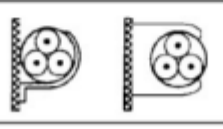
^c Considera-se grupo 2 caso o local possua equipamentos de sustentação de vida.

NOTA: Descrições dos locais apresentados nesta tabela encontram-se na RDC 50, da Anvisa [4].

ANEXOS

ANEXO A – MÉTODOS DE INSTALAÇÃO

Figura A.: tipos de linhas elétricas.

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
11A		Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C

Fonte: retirado de [1]

ANEXO B – FATORES DE AGRUPAMENTO

Figura B.1 – Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				38 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

NOTAS

1

Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.

2

Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.

3

O número de circuitos ou de cabos com o qual se consulta a tabela refere-se

- à quantidade de grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares, cada grupo constituindo um circuito (supondo-se um só condutor por fase, isto é, sem condutores em paralelo), e/ou
- à quantidade de cabos multipolares que compõe o agrupamento, qualquer que seja essa composição (só condutores isolados, só cabos unipolares, só cabos multipolares ou qualquer combinação).

4

Se o agrupamento for constituído, ao mesmo tempo, de cabos bipolares e tripolares, deve-se considerar o número total de cabos como sendo o número de circuitos e, de posse do fator de agrupamento resultante, a determinação das capacidades de condução de corrente, nas tabelas 36 a 39, deve ser então efetuada:

- na coluna de dois condutores carregados, para os cabos bipolares; e
- na coluna de três condutores carregados, para os cabos tripolares.

5

Um agrupamento com N condutores isolados, ou N cabos unipolares, pode ser considerado composto tanto de N/2 circuitos com dois condutores carregados quanto de N/3 circuitos com três condutores carregados.

6

Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

Fonte: retirado de [1]

ANEXO C – CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE

Figura C.1: Capacidades de condução de corrente; Condutores: cobre e alumínio; Isolação: EPR ou XLPE; Temperatura no condutor: 90°C; Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1 122	923	711	596
800	885	792	805	721	1 158	1020	952	837	1 311	1 074	811	679
1 000	1014	908	923	826	1332	1 173	1 088	957	1 515	1 237	916	767
Alumínio												
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76	73	61
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90	93	78
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112	112	94
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136	132	112
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174	163	138
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211	193	164
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245	220	186
150	253	226	230	206	323	289	277	248	324	283	249	210
185	288	256	262	233	368	330	314	281	371	323	279	236
240	338	300	307	273	433	389	368	329	439	382	322	272
300	387	344	352	313	499	447	421	377	508	440	364	308
400	462	409	421	372	597	536	500	448	612	529	426	361
500	530	468	483	426	687	617	573	513	707	610	482	408
630	611	538	556	490	794	714	658	590	821	707	547	464
800	708	622	644	566	922	830	760	682	958	824	624	529
1 000	812	712	739	648	1061	955	870	780	1108	950	706	598

Fonte: retirado de [1].

ANEXO D – PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

Figura D.1 – Classificação das condições do choque elétrico pela NBR 5410 [1]:
(a) Para a condição da resistência elétrica do corpo humano (Tabela 19 da NBR 5410 [1]).

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BB1	Alta	Condições secas	Circunstâncias nas quais a pele está seca (nenhuma umidade, nem mesmo suor)
BB2	Normal	Condições úmidas	Passagem da corrente elétrica de uma mão a outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida de suor, sendo a superfície de contato significativa
BB3	Baixa	Condições molhadas	Passagem da corrente elétrica entre as duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados ao ponto de se poder desprezar a resistência da pele e dos pés
BB4	Muito baixa	Condições imersas	Pessoas imersas na água, por exemplo em banheiras e piscinas

Fonte: retirado de [7].

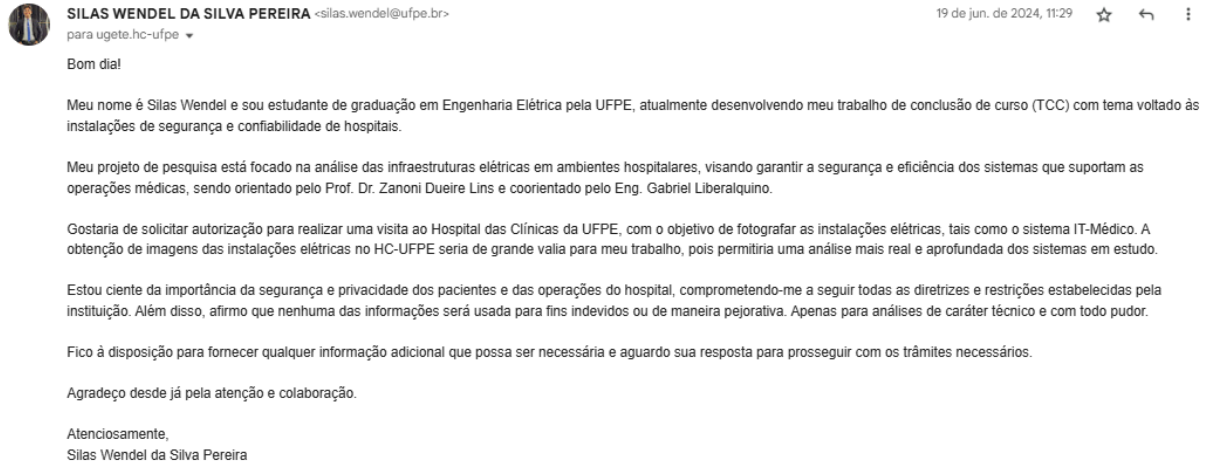
Figura D.1 – Classificação das condições do choque elétrico pela NBR 5410 [1]:
(a) Para a condição da resistência elétrica do corpo humano (Tabela 19 da NBR 5410 [1]).

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BC1	Nulo	Locais não condutivos	Locais cujo piso e paredes sejam isolantes e que não possuam nenhum elemento condutivo
BC2	Raro	Em condições habituais, as pessoas não estão em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas	Locais cujo piso e paredes sejam isolantes, com elementos condutivos em pequena quantidade ou de pequenas dimensões e de tal maneira que a probabilidade de contato possa ser desprezada
BC3	Frequente	Pessoas em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas	Locais cujo piso e paredes sejam condutivos ou que possuam elementos condutivos em quantidade ou de dimensões consideráveis
BC4	Contínuo	Pessoas em contato permanente com paredes metálicas e com pequena possibilidade de poder interromper o contato	Locais como caldeiras ou vasos metálicos, cujas dimensões sejam tais que as pessoas que neles penetrem estejam de contínuo em contato com as paredes. A redução da liberdade de movimento das pessoas pode, por um lado, impedi-las de romper voluntariamente o contato e, por outro, aumentar os riscos de contato involuntário

Fonte: retirado de [7].

ANEXO E – SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA REGISTROS DAS VISITAS TÉCNICAS NO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA UFPE

Figura 32– Início da solicitação de autorização via e-mail.



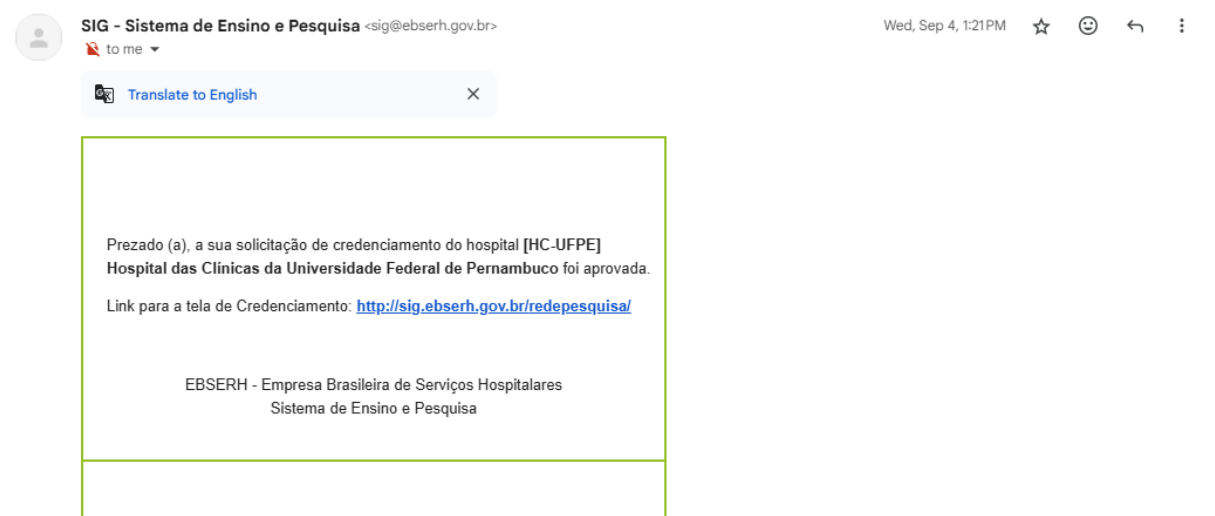
Fonte: autoria própria.

Figura 33 – Resposta inicial da solicitação via e-mail.



Fonte: autoria própria.

Figura 34 – Resultado da solicitação via e-mail: aprovada.



Fonte: autoria própria.