

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRE ABDO AGAMME

OPORTUNIDADES E DESAFIOS DE APLICAÇÕES DE SISTEMAS
MICRORREDES EM AMBIENTES HOSPITALARES CRÍTICOS

CURITIBA

2025

ALEXANDRE ABDO AGAMME

OPORTUNIDADES E DESAFIOS DE APLICAÇÕES DE SISTEMAS
MICRORREDES EM AMBIENTES HOSPITALARES CRÍTICOS

Artigo apresentado como requisito parcial à
conclusão do curso de MBA em Gestão Estratégica
em Energias Naturais Renováveis, Setor de
Ciências Agrárias, na Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Romani

CURITIBA

2025

RESUMO

Este artigo apresenta uma proposta de instalação de um sistema de microrredes em ambientes hospitalares críticos com o objetivo de atender não só requisitos operacionais e normativos com mais qualidade e segurança, mas também atualizar os processos tecnológicos com resiliência operacional e sustentabilidade energética aos setores: centros cirúrgicos, centro de diagnóstico por imagem, unidades de terapia intensiva adulto e pediátrica, os quais precisam de sistemas elétricos eficazes e confiáveis para proporcionar a continuidade dos serviços. A fragilidade da saúde dos pacientes demanda que o corpo clínico e demais colaboradores possam atuar de forma eficiente, segura e, ao mesmo tempo, sustentável para o negócio e, por este motivo, toda a infraestrutura hospitalar tem extrema importância na prestação de serviços clínicos, em especial a rede elétrica crítica hospitalar exerce um papel basilar. Inúmeras ocorrências de falta de energia elétrica têm demonstrado as fragilidades do fornecimento das concessionárias e revelam a importância de novas tecnologias eficientes e com confiabilidade para suprir a demanda e proporcionar um fornecimento contínuo. Observação empírica dos recursos existentes, análise de dados operacionais e de falhas (remotas e contínuas) de uma infraestrutura hospitalar, a pesquisa estratégica deste artigo, demonstra analisar as oportunidades e desafios de implementação de sistemas elétricos inteligentes (microrredes), desde a cabine primária de entrada de energia da concessionária de média tensão, com a instalação de medidores de energia elétrica, até os estudos de viabilidade operacional de fontes alternativas de energias renováveis (solar, eólica, ups e hidrogênio verde) nos ambientes críticos do hospital

Palavras-chave: Microrredes. Ambientes hospitalares. Resiliência operacional. Sustentabilidade e confiabilidade.

ABSTRACT

This article presents a proposal for the installation of a microgrid system in critical hospital environments with the aim of meeting not only operational and regulatory requirements with greater quality and safety, but also updating technological processes with operational resilience and energy sustainability for the following sectors: surgical centers, imaging diagnostic centers, adult and pediatric intensive care units, which need efficient and reliable electrical systems to provide continuity of health services. The fragility of patients' health demands that clinical staff and other employees be able to act efficiently, safely and, at the same time, sustainably for business and, for this reason, the entire hospital infrastructure is extremely important in the provision of clinical services, especially the critical hospital electrical network, which plays a fundamental role. Numerous occurrences of power outages have demonstrated the weaknesses of the supply of concessionaires and reveal the importance of new efficient and reliable technologies to meet demand and provide continuous supply. Empirical observation of existing resources, analysis of operational data and failures (remote and continuous) of a hospital infrastructure, the strategic research of this article, demonstrates the analysis of opportunities and challenges of implementing intelligent electrical systems (microgrids), from the primary power input cabin of the medium voltage utility, with the installation of electricity meters, to the operational feasibility studies of alternative sources of renewable energy (solar, wind, UPS and green hydrogen) in the critical environments of the hospital.

Keywords: Microgrids. Hospital environments. Operational resilience. Sustainability and reliability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – DIAGRAMA DE UNIFILAR DE MICRORREDES À DIESEL.....	3
FIGURA 2 - GERENCIAMENTO DAS MICRORREDES	5
FIGURA 3 - FUNCIONAMENTO SIMPLIFICADO DE MICRORREDES	6
FIGURA 4 - TOPOLOGIA DE MICRORREDES PARA HOSPITAIS.	8
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DAS MICRORREDES.....	9
FIGURA 6 - APLICAÇÃO DE MICRORREDES NO MUNDO.....	10
FIGURA 7 – Matriz SWOT.	13
FIGURA 8 - PERSPECTIVA E ESTUDOS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NO TELHADO DOS SETORES: CENTRO CIRÚRGICO E UTI ADULTO.....	14
FIGURA 9 - PERSPECTIVA E ESTUDOS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NO TELHADO DO SETOR UTI PEDIÁTRICA.	15
FIGURA 10 - PERSPECTIVA E ESTUDOS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NO TELHADO DO SETOR CDI.....	15

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MICRORREDES VS. REDES CONVENCIONAIS.....	7
TABELA 2 – REQUISITOS TÉCNICOS E REGULATÓRIOS QUE PODEM INFLUENCIAR NA APLICAÇÃO DE MICRORREDES EM AMBIENTES HOSPITALARES CRÍTICOS.....	11

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - MATRIZ SWOT DAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE MICRORREDES EM AMBIENTES HOSPITALARES CRÍTICOS.....	20
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo geral	2
1.2	Objetivos específicos	2
2	REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1	Conceito de Microrredes	4
2.2	Oportunidades dos sistemas de microrredes em hospitais	7
2.3	Desafios para implementação de sistemas Microrredes	8
2.4	Futuro das Microrredes em Instalações Hospitalares.....	9
2.5	Requisitos Técnicos e Regulatórios Microrredes.....	10
3	METODOLOGIA	12
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1	Levantamento dos Sistemas Microrredes no Hospital Estudado.....	14
4.2	Estudos de Casos	16
4.3	Matriz SWOT	17
4.3.1	<i>Forças (Strengths)</i>	17
4.3.2	<i>Fraquezas (Weaknesses)</i>	18
4.3.3	<i>Oportunidades (Opportunities)</i>	18
4.3.4	<i>Ameaças (Threats)</i>	19
5	CONCLUSÃO	21
	REFERÊNCIAS.....	22

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo propõe um estudo de oportunidades e desafios baseado em aplicações tecnológicas de sistemas de microrredes (microrredes inteligentes e integradas) em ambientes hospitalares críticos, tais como: salas cirúrgicas, leitos de unidades de terapia intensiva adulto e pediátrica e centro de diagnóstico por imagem.

Baseado em várias ocorrências de falta distribuição de energia elétrica na cidade de São Paulo, o estudo demonstrará um eventual fornecimento de contingenciamento, geração e distribuição de energia elétrica de forma segura, moderna e independente da concessionária de energia elétrica, ENEL (Entidade Nacional de Energia Elétrica).

Tendo em vista que as instalações hospitalares são áreas críticas de suporte à vida, a geração e o armazenamento de energia elétrica a partir de redes consumidoras próprias tende a proporcionar autonomia para uma gestão energética segura e sem interrupções. O desempenho de uma rede local autônoma tende a aumentar a sustentabilidade energética dos processos e protocolos existentes ao cuidado dos pacientes, na medida em que dispõe de tecnologias para a geração e armazenamento de energias baseada em recursos de gerenciamento de energias naturais renováveis.

Com o objetivo geral de demonstrar oportunidades e desafios na aplicação de sistemas de microrredes (microgrids) em ambientes hospitalares, as mencionadas estruturas podem constituir planos de contingências e de catástrofes, uma vez que possui uma única rede/plataforma de gerenciamento e monitoramento remoto das instalações e medições elétricas existentes.

As incertezas causadas pela constante instabilidade na prestação de serviços das concessionárias têm se agravado e como consequência disso, o impacto negativo em um hospital é incalculável. Visto que a dependência do abastecimento de energia elétrica absoluta, uma vez que o funcionamento toda a infraestrutura de equipamentos clínicos e de diagnóstico precoce, voltada ao suporte da saúde e da vida de seus pacientes, depende da constância no fornecimento de energia elétrica da concessionária ou de um único sistema de contingência sendo utilizado atualmente, gerador de energia elétrica à diesel que sempre é utilizado como plano contingência nas instalações de sistemas de utilidades (elétricos, hidráulicos, gases medicinais e elevadores), em caso de interrupções da concessionária de energia local.

1.1 Objetivo geral

O presente artigo tem por objetivo geral demonstrar oportunidades e desafios na *aplicação de sistemas de microrredes (microgrids) em ambientes hospitalares críticos que servirão como bases nos planos de contingências e de catástrofes, como uma única rede/plataforma de gerenciamento e monitoramento remoto das instalações e medições elétricas, conforme normas e resoluções vigentes.*

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos estudados foram:

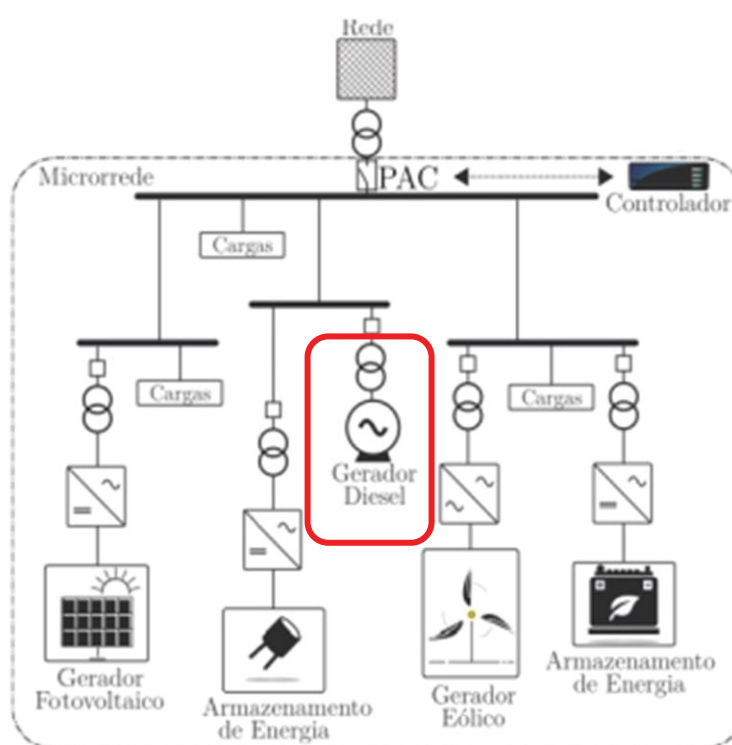
- Analisar e levantar viabilidade da aplicação de redes locais de distribuição de energia elétrica em ambientes hospitalares críticos no Brasil;
- Demonstrar o cenário da aplicação de microrredes em hospitais de outros países;
- Apontar as normas e resoluções nacionais e internacionais para aplicação de microrredes em segmentos de saúde.
- *As oportunidades e desafios levantados dos sistemas de microrredes serão implantados nomeadamente nos seguintes ambientes de suporte à vida: centro cirúrgico, unidade de terapia intensiva (UTIA) adulto, unidade de terapia intensiva pediátrica (UTIP) e centro de diagnóstico por imagem (CDI), conforme análises de swot e análises comparativas das aplicações dos sistemas apresentados.*

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura foi realizada a partir de definições atualizadas de sistemas de microrredes e exemplos de aplicações em ambientes hospitalares publicadas em artigos científicos nacionais e internacionais. Ainda há poucos casos práticos da aplicação em hospitais, apesar de o sistema já ter sido adotado com sucesso em *indústrias, prédios comerciais, cidades ilhadas e residências em vários países*.

Quanto ao cenário atual, a maioria dos hospitais ainda utiliza sistemas convencionais de energia, sempre dependendo da concessionária de energia elétrica local e grupos geradores à diesel (combustível fóssil) de energia elétrica, inclusive, este último contrariamente à recomendação dos objetivos sustentáveis das Organizações das Nações Unidas (ONU). Na FIGURA 01, pode-se observar um exemplo de diagrama unifilar básico para aplicação do sistema de microrredes, a integração e monitoramento elétrico e funcionalidade de outras fontes de energia para redundância, tais como: sistema fotovoltaico, eólico, armazenamento de energia, via baterias e gerador à diesel, evidenciado por (ALVES, 2016).

FIGURA 1 – DIAGRAMA DE UNIFILAR DE MICRORREDES À DIESEL.



FONTE: ALVES (2016).

2.1 Conceito de Microrredes

Os sistemas de microrredes (sistemas inteligentes de energia elétrica) são constituídos por uma rede local de distribuição e consumo de energia elétrica, a qual pode operar autônoma e isoladamente do sistema de distribuição da concessionária e possui a finalidade de manter o fornecimento de energia local por meio da integração inteligente e controlada de diversos recursos de geração distribuída e de armazenadores e cargas. Esta estrutura permite a existência de uma alternativa de contingências e catástrofes à rede principal de distribuição de energia elétrica e contribui com o crescimento da geração de energia distribuída, desde a produção limpa de energia, como energia solar e eólica, até a integração de baterias, exemplos de sucessos estão sendo utilizados em indústrias e universidades, conforme pesquisa da UNICAMP e UFPR.

Estudos de eficácia já têm comprovado resultados positivos na instalação do modelo de microrredes não-isolados no campus da universidade, implantado em novembro de 2024. (*Campus Sustentável Unicamp, 2025*).

Pode-se destacar dois sistemas disponíveis de sistemas inteligentes, sendo: (i) isolados (*on-grid*): sistema elétrico sem interligação com a rede elétrica principal, por exemplo: residências em comunidades ilhadas e (ii) não isolados (*off-grid*): sistema elétrico com interligação com a rede elétrica principal, por exemplo: indústrias, prédios comerciais e hospitais.

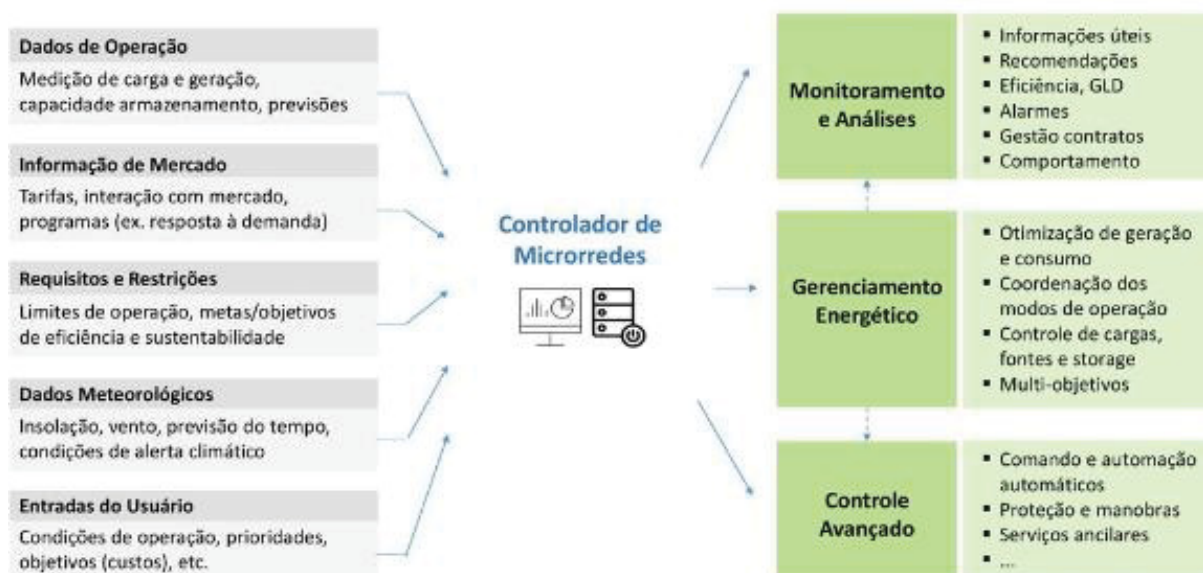
Este artigo observa a aplicação do sistema de microrredes não isolados, cuja aplicação seria voltada às indústrias, *campi* de universidades e aos ambientes hospitalares, devido a sua capacidade de atuar com autonomia, resiliência e qualidade nas instalações elétricas, nos equipamentos eletromédicos e, principalmente, proporcionando segurança e confiabilidade aos usuários.

As microrredes são sistemas totalmente integrados e inteligentes, os quais monitoram e gerenciam de maneira estratégica todas as entradas e saídas dos diversos sistemas de geração, distribuição e armazenamento das energias e cargas elétricas instaladas com *integração controlada de vários recursos de geração distribuída e armazenadores*.

A FIGURA 2 ilustra detalhadamente o conceito e funcionalidades de gerenciamento das microrredes de um sistema aplicado, desde dados de operação,

tarifas de consumo, condições meteorológicas até condições de manobras elétricas e alarmes (CERTI, 2017).

FIGURA 2 - GERENCIAMENTO DAS MICRORREDES



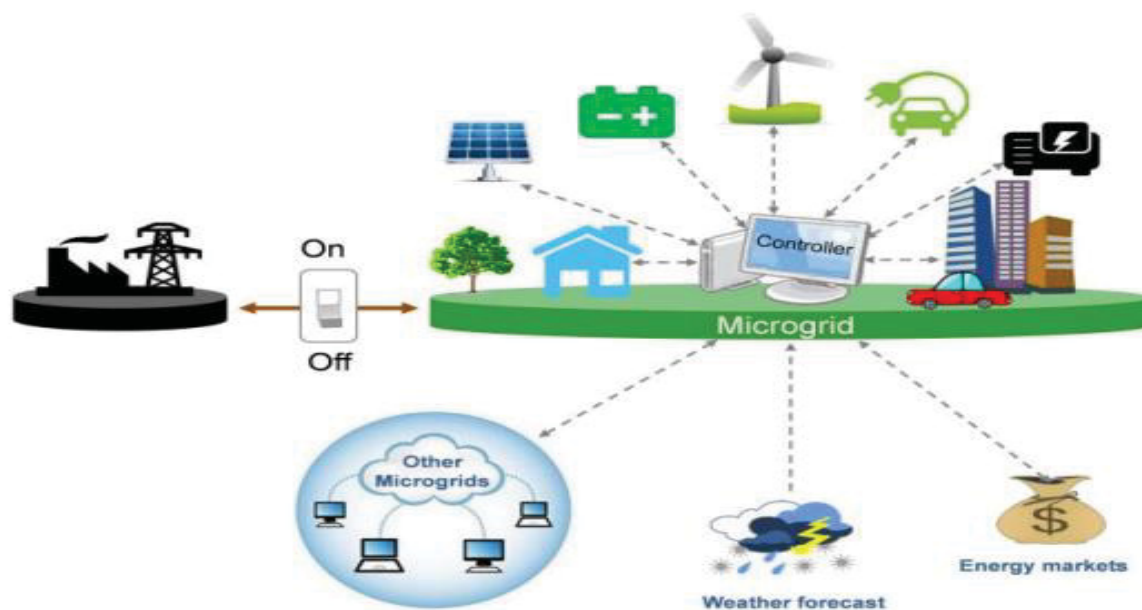
FONTE: CERTI (2017).

Deve-se manter o constante monitoramento das estruturas e das operações dos sistemas de distribuição, armazenamento, controle e gestão de eletricidade inteligentes, a fim de nortear os planos de contingência e de catástrofes para uma eventual interrupção de abastecimento. Dessa forma, ressalta-se a importância de a plataforma de monitoramento seguir rigorosamente as orientações normativas e técnicas vigentes e do treinamento de uma equipe técnica para a tomadas de ações emergenciais.

Na FIGURA 3, observam-se possíveis integrações da plataforma inteligente de gestão e controle das operações, desde as condições climáticas até o funcionamento das energias naturais renováveis (armazenamento e distribuição) interligados com as cargas controláveis.

Microrredes são “sistemas de distribuição de eletricidade contendo cargas e recursos energéticos distribuídos (como geração distribuída, dispositivos de armazenamento ou cargas controláveis) que podem ser operados de maneira controlada e coordenada, enquanto conectados à rede elétrica principal ou enquanto isolados”. (AOKI, 2023).

FIGURA 3 - FUNCIONAMENTO SIMPLIFICADO DE MICRORREDES



FONTE: AOKI (2023).

Antes, os sistemas inteligentes de distribuição de energia eram considerados como meros sistemas de reserva, graças a modelos conservadores de negócio, com esparsas regulações nacionais de armazenamento e distribuição.

Dada a qualidade do sistema, as microrredes deixaram de ser usadas apenas para acesso a uma rede de energia reserva e começaram a serem vistas como uma alternativa sustentável e econômica para a rede pública (ALVES et al., 2014).

Na TABELA 1, destaca-se a promoção de energias renováveis, resultante de benefícios econômicos/sociais e resiliência energética e autonomia da distribuição de energia elétrica.

TABELA 1 - MICRORREDES VS. REDES CONVENCIONAIS

Benefício	Microrredes	Redes convencionais
Menor custo de energia para consumidor	X	
Venda do excedente gerado	X	
Impacto socioeconômico positivo	X	
Maior confiabilidade	X	
Implantação sustentável	X	
Fontes menos poluentes predominantes	X	
Gerenciamento inteligente de energia	X	
Gerenciamento inteligente de informações	X	
Regulamentação bem definida		X
Modelos de negócios bem definidos		X
Maior penetração de mercado		X

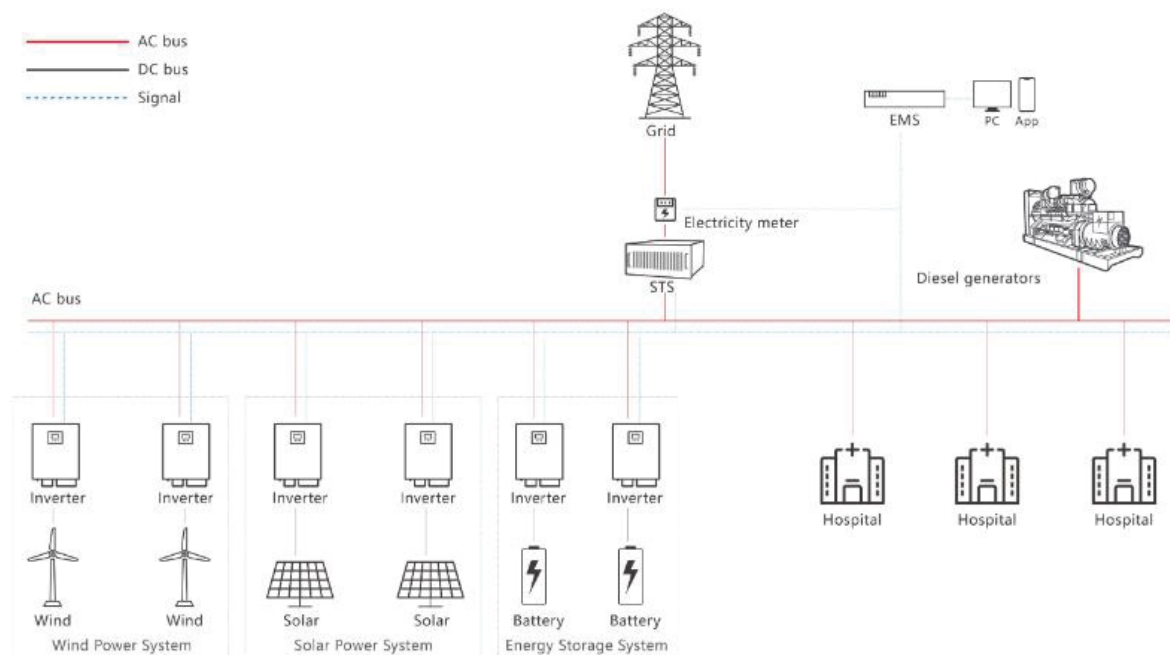
Fonte: Bitencourt (2022).

2.2 Oportunidades dos sistemas de microrredes em hospitais

Conforme estudos de caso realizados pela empresa JenBacher (2025), os sistemas de microrredes podem gerar e distribuir energia elétrica em pequenas escalas para as cargas elétricas hospitalares (entre 0,1 e 10MW), podendo ser um sistema isolado ou um limite físico conectado à rede da concessionária. Ainda, no exemplo de diagrama hospitalar da FIGURA 4, abaixo, há fatores predominantes positivos para os hospitais e suas respectivas instalações críticas de suporte à vida, dentre eles, ressaltam-se:

- Resiliência Energética: Garante o funcionamento das instalações elétricas críticas e de suporte à vida em casos de emergência, conforme elaboração de planos de contingência e catástrofes;
- Eficiência Energética: Com a aplicação das microrredes, o sistema energético dos hospitais pode monitorar remotamente o consumo de energia elétrica e garantir redução de custos energéticos e operacionais;
- Sustentabilidade Ambiental: Os sistemas inteligentes podem contribuir e incentivar a utilização de fontes de energias renováveis, pegada de carbono e diminuição da geração do efeito estufa (GEE).

FIGURA 4 - TOPOLOGIA DE MICRORREDES PARA HOSPITAIS.



FONTE: JNTECH (2025).

2.3 Desafios para implementação de sistemas Microrredes

Apesar dos inúmeros benefícios para a aplicação de sistemas microrredes, há desafios para implementação de microrredes em ambientes hospitalares, os quais estão relacionados com os seguintes fatores:

- Incentivos aos assuntos regulatórios e normativos;
- Maior interesse da alta direção hospitalar em implantar novos sistemas sustentáveis em função dos altos custos;
- Necessidades de adequar as instalações hospitalares e principalmente ambientes críticos, pois os setores não podem ser fechados e isolados;
- Integração com os sistemas existentes, principalmente cabines de energia e quadros elétricos, muitas vezes antigos e sem sistemas de monitoramento;
- Maior interesse do mercado industrial em somar parcerias público privada com instituições hospitalares, atualmente focando em indústrias e universidades.

Os benefícios para aplicação de sistemas microrredes são destacados e proporcionam alternativas eficazes para distribuição e monitoramento de energia elétrica, exceto referente as questões regulatórias, modelos de negócio e atração do mercado. (Bitencourt, 2022)

2.4 Futuro das Microrredes em Instalações Hospitalares

Atualmente, a principal fonte de energia renovável ainda é liderada pelas usinas hidrelétricas em geração, representando quase dois terços da eletricidade produzida no país, seguidas da eólica, da biomassa e do solar. Segundo Aoki (2021), ao longo dos anos a matriz energética brasileira terá independência energética, se os governantes tiverem maior representatividade e incentivo para os sistemas elétricos renováveis, refletindo também em ambientes hospitalares.

Considerando o potencial eólico e solar do Brasil e que atualmente representam só 10,7% da geração total, segundo o portal oficial do Governo (gov.br) em sua edição de janeiro de 2020, é necessária uma maior representação destas fontes com o propósito de diversificar a matriz elétrica do país e segurar uma verdadeira independência energética ao longo do tempo (Aoki et al., 2021).

A evolução e desenvolvimento dos sistemas de microrredes cresce a cada ano, empresas e indústrias buscam, cada vez mais, sistemas tecnológicos integrados e seguros para suas instalações e processos produtivos. A título de exemplo, microrredes já são praticadas remotamente por instalações militares, com potencial de atingir comunidades com acessibilidade técnica e econômica até 2030, conforme mostrado na FIGURA 5 (Fundação CERTI 2017).

FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DAS MICRORREDES.

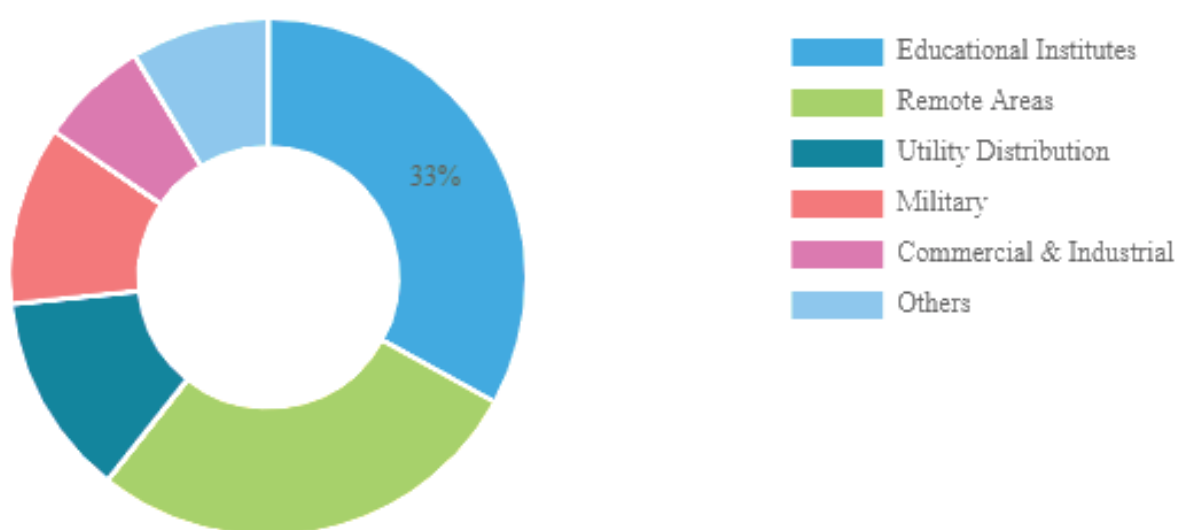


FONTE: Fundação CERTI (2017).

Ainda, a FIGURA 6, abaixo, demonstra a aplicação de sistemas inteligentes em vários segmentos institucionais, sendo atualmente mais utilizados em áreas não registradas, em áreas remotas com sistema de microrredes ilhados e com uma forte elevação para o setor industrial e comercial, desempenhando serviços em várias escalas, como exemplos abaixo.

Vale ressaltar que, em hospitais, os dados estatísticos são ínfimos o que revela uma área que precisa ser modernizada para tornar-se mais eficaz.

FIGURA 6 - APLICAÇÃO DE MICRORREDES NO MUNDO.



FONTE: FORTUNE BUSINESS INSIGHTS (2023)

2.5 Requisitos Técnicos e Regulatórios Microrredes

A TABELA 02 apresentar normas e resoluções vigentes para aplicação de sistemas de microrredes em instalações elétricas diversas, além de normas elétricas específicas para ambientes hospitalares críticos.

TABELA 2 – REQUISITOS TÉCNICOS E REGULATÓRIOS QUE PODEM INFLUENCIAR NA APLICAÇÃO DE MICRORREDES EM AMBIENTES HOSPITALARES CRÍTICOS.

Especificação	Requisitos Técnicos e Regulatórios
Micro e Minigeração	Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012
Requisitos de Rede	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (Módulo 3
Operação Ilhada	IEE 1547
Especificação <u>Microgrid</u>	IEC TS 62898 – partes 1, 2 e 3
ANEEL	Resolução Normativa nº 414, 2012
ANEEL	Resolução Normativa nº 482, 2013
ANEEL	Resolução Normativa nº 569, 2021
PRODIST Módulo 8	<u>Greener</u> , 2021
Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces.	IEE 1547, 2018

Fonte: Autor (2025)

3 METODOLOGIA

Para a elaboração do artigo se realizou pesquisa descritiva com apoio de estudos de estudos bibliográficos, dissertações, monografias, livros, artigos nacionais e internacionais, documentos de órgãos públicos, normas e resoluções referentes à área sobre o tema abordado.

Podemos ressaltar dois motivos que por si só justificam o incentivo e a importância da constante e adoção deste artigo, focando em melhorias tecnológicas de microrredes implantadas em vários países, não apenas do setor de engenharia clínica, mas também no setor de facilites de um hospital. O primeiro critério é a verdadeira segurança física-estrutural que um hospital deve possuir para proporcionar confiabilidade; o segundo e principal critério é a segurança do paciente, cuja manutenção da vida pode estar literalmente dependendo de um equipamento. Desse modo, eventuais distúrbios elétricos podem ter consequências irreversíveis aos pacientes e usuários, sendo desta maneira o grande incentivo da elaboração do artigo realizado em um grande hospital na cidade de São Paulo, realizado no período de março de 2024 até março de 2025.

A elaboração deste artigo apoiou-se em:

- *Simulações de softwares específicos e drone para instalação de sistema fotovoltaico nas dependências do hospital citado e viabilidade de outras fontes renováveis, sendo:*
 - *Homer Pro – Homer Energy, origem EUA;*
 - *PV F-Chart – Software F-Chart, origem EUA;*
 - *pvPlanner – SolarGis, origem Eslováquia;*
 - *PVsyst - Pvsyst SA, origem Suíça;*
 - *DRONE SJRC F11S 4K PRO DARK GRAY.*
- *Notícias no Brasil e comparações de estudos de casos hospitalares com outros países:*
 - *Notícias de ocorrências de falta de energia elétrica em hospitais, conforme anexos;*
 - *Hospital Geral na Itália;*
 - *Hospital Geral na Arábia Saudita.*

- Ferramenta estratégica de análise SWOT (FIGURA 7) destacando as principais oportunidades e desafios de implementação de microrredes em ambientes hospitalares críticos;

FIGURA 7 – Matriz SWOT.



Fonte: WALACE SOUZA (2025)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Levantamento dos Sistemas Microrredes no Hospital Estudado

Após análises de viabilidade operacional de espaços para implantação do sistemas de microrredes, o sistema fotovoltaico com armazenamento de baterias, foi o mais promissor, em função dos grandes telhados da instituição hospitalar nos setores centro cirúrgico, unidades de terapia intensiva adulto e pediátrica e centro de diagnóstico por imagem, proximidades com de instalações elétricas com os setores críticos, irradiação solar nos telhados em todo o período do dia e interesse do plano diretor para investimento econômico, pois o sistema de células de hidrogênio verde ainda com preços elevados, sistema eólico na região estudada inviável para seu funcionamento, sistema de biomassa, sendo viável, porém a cultura organizacional de compostagem e armazenamento resíduos em hospital ainda muito resistente e conservadora pelos órgãos fiscalizadores da Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Nas FIGURAS 8, 9 e 10 foi destacado o estudo de simulações do sistema fotovoltaico para os ambientes hospitalares críticos e respectiva irradiação solar em todo o período do dia, com armazenamento de baterias e integrado com o sistema elétrico existente e ups para contingência.

FIGURA 8 - PERSPECTIVA E ESTUDOS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NO TELHADO DOS SETORES: CENTRO CIRÚRGICO E UTI ADULTO.



FONTE: – Acervo do autor (2024).

FIGURA 9 - PERSPECTIVA E ESTUDOS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NO TELHADO DO SETOR UTI PEDIÁTRICA.



FONTE: Acervo do autor (2024).

FIGURA 10 - PERSPECTIVA E ESTUDOS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NO TELHADO DO SETOR CDI.



FONTE: Acervo do autor (2024).

4.2 Estudos de Casos

Foram levantadas várias ocorrências em hospitais na cidade de São Paulo e Rio Grande do Sul, comprovando a necessidade de novas tecnologias de planos de catástrofe e com sistemas elétricos autônomos, como o sistema de microrredes. Destaco os resultados da pesquisa realizada e registros de falhas de distribuição de energia elétrica em média e baixa tensão pelas concessionárias brasileiras, principalmente no estado de São Paulo e Rio Grande do Sul, os grandes consumidores hospitalares estão buscando alternativas imediatas para atender com resiliência energética e autonomia:

- Santa Casa de São Paulo fecha unidades (ANEXO A);
- Hospitais da região da Sul da cidade de São Paulo são afetados pelo abastecimento de energia elétrica, após grandes tempestades, (ANEXO B);
- Hospitais do Rio Grande do Sul fecham após grandes alagamentos (ANEXO C).

As redes inteligentes estão sendo utilizadas em grande escala em vários países, em grandes indústrias, cidades ilhadas e residências, resultante de sistemas eficazes, tecnológicos e de alta confiabilidade, sendo objeto de aplicabilidade para ambientes hospitalares, ainda sendo pouco utilizado e estudado no Brasil.

No hospital de Roma, geradores de reserva a diesel são normalmente empregados, mas eles podem nem sempre ser confiáveis. A alternativa à energia de reserva do gerador a diesel é a energia limpa e resiliente, incluindo energias renováveis no local; geradores de alta eficiência, como sistemas CHP; microrredes, que incorporam vários tipos de geradores junto com armazenamento de energia, para suportar múltiplas cargas.

No hospital da Arábia Saudita, um estudo examinou um modelo híbrido que consiste em PV, cofire de biogás, gerador a diesel e bateria (TeslaPW) sob uma carga elétrica de 250 kWh/dia com três cenários viáveis. A maior parte da carga é obtida de geradores a diesel e cofire de biogás. O gerador a diesel consome muito combustível em uma microrrede híbrida quando há aumento na demanda de carga.

4.3 Matriz SWOT

Para elucidar o artigo, foi aplicado a ferramenta estratégica de análise de SWOT com o objetivo de demonstrar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da abordagem de aplicação de sistemas inteligentes em um hospital de São Paulo, mais precisamente em ambientes críticos de suporte à vida, como salas cirúrgicas, leitos de unidade de terapia intensiva adulto e pediátrica e centro de diagnóstico por imagem, contribuindo os resultados para nortear as tomadas de decisões estratégicas para o corpo diretivo do hospital e equipe de engenharia, destacando as oportunidades, desafios estratégicos, pontos fortes, pontos fracos, demonstrando os grandes ganhos com os sistema de microrredes não isolados em hospitais, condensadas ao final no QUADRO 1.

4.3.1 Forças (Strengths)

- **Recursos Tecnológicos Disponíveis no Mercado:** O mercado brasileiro está muito aquecido para instalação de microrredes não isoladas em grandes indústrias e universidades, tendo muito potencial para gerar energia renovável (solar, eólica, biomassa e hidrogênio verde).
- **Localização Geográfica:** A implementação de microrredes permite a distribuição e armazenamento de energias renováveis em grandes centros urbanos, interligados com a concessionária de energia elétrica de maneira sustentável.
- **Resiliência Energética e Qualidade de energia:** Para as instalações elétricas e principalmente equipamentos eletromédicos de suporte à vida, é fundamental um fornecimento de energia elétrica constante e qualidade de energia sem oscilações e baixas faixas de geração de harmônicos de forma resiliente.
- **Promoção de Energias Renováveis:** Conforme acordos do meio ambiente com a tratado de outros países e ONU, a disponibilidade de microrredes no hospital citado irá resultar em maior visibilidade ao mercado da saúde, principalmente com utilização de fontes renováveis e pegada de carbono.
- **Matriz Energética Renovável:** Sendo o Brasil uma com muita disponibilidade para distribuição e transmissão de energias renováveis em relação ao mundo,

o grande incentivo nos últimos anos, trouxe grande representatividade da utilização da matriz energética nos estados brasileiros, utilizando cada ano menos energia de recursos fósseis.

4.3.2 Fraquezas (Weaknesses)

- **Desconhecimento da tecnologia:** O sistema de microrredes ainda é pouco difundido e divulgado para os engenheiros hospitalares
- **Custo de produção elevado:** Embora o sistema de microrredes esteja avançando, perante os tomadores de decisões, o custo de implementação ainda é alto, o que pode dificultar a viabilidade financeira imediata para todos os sistemas estudados (ex. hidrogênio verde e instalações de redes distribuídas locais).
- **Falta de capacitação dos profissionais:** Para implementar a tecnologia de microrredes em hospitais, os profissionais elétricos ainda têm pouco conhecimento das fontes de energia naturais renováveis.
- **Ausências de Normas e Legislações Brasileiras:** Ainda é pouco difundido as normas e resoluções vigentes para aplicações de microrredes em ambientes hospitalares.
- **Monopólio do Mercado:** em função dos sistemas serem importados e com expertise das grandes empresas, existe monopólio para implementação do microrredes no mercado Brasileiro.

4.3.3 Oportunidades (Opportunities)

- **Redução de Custos com Energia:** Em função dos altos custos e consumo de energia elétrica nos ambientes hospitalares críticos, em função de grandes e alto quantitativo de equipamentos eletromédicos, o sistema de microrredes proporcionará uma grande economia nos custos operacionais.
- **Segurança hídrica e de gases medicinais:** as microrredes permitem um fornecimento de água potável e gases medicinais constantes para os processos e protocolos de utilidades para os setores críticos do hospital, principalmente para prevenção de bactérias no cuidado de lavagem de mãos,

elaboração de alimentos e banhos para os pacientes e cuidado aos pacientes com utilização de gases medicinais

- **Autonomia Energética:** Em função da crise de fornecimento e distribuição de energia elétrica pela na cidade de São Paulo, o sistema de microrredes trará autonomia na distribuição, priorizando questões de planos de contingências emergenciais aos setores críticos.
- **Parcerias Hospitalares:** As tecnologias de microrredes podem ser discutidas com outros hospitais, via associações nacionais e internacionais, com o propósito de troca de experiências energéticas.

4.3.4 Ameaças (Threats)

- **Concorrência internacional:** Como as tecnologias estão sendo realizadas e fabricadas fora do Brasil e com os altos custos de importação, a empresas nacionais terão dificuldades em concorrer com as empresas de outros países.
- **Regulação e políticas públicas incertas:** A falta de uma regulação, normas e resoluções para ambientes hospitalares, podem dificultar a implantação dos sistemas inteligentes, pois pode dificultar sua implantação.
- **Mudanças climáticas:** O sistema fotovoltaico depende de energia solar, desta forma variações climáticas podem diminuir sua distribuição e armazenamento de energia renovável estudada, principalmente em períodos de seca ou baixa incidência de irradiação solar.

QUADRO 1 - MATRIZ SWOT DAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE MICRORREDES EM AMBIENTES HOSPITALARES CRÍTICOS.

	Fatores Positivos	Fatores Negativos
Fatores Internos	• Localização geográfica. • Resiliência energética e qualidade de energia. • Promoção de energias renováveis. • Redução de custos com energia. • Segurança hídrica e de gases medicinais. • Autonomia energética.	• Desconhecimento da tecnologia. • Falta de capacitação dos profissionais.
Fatores Externos	• Recursos tecnológicos disponíveis no mercado. • Matriz energética renovável. • Parcerias hospitalares.	• Custo de produção elevado. • Concorrência internacional. • Regulação e políticas públicas incertas. • Mudanças climáticas. • Ausência de normas e resoluções vigentes. • Monopólio do mercado.

FONTE: AUTOR (2025).

5 CONCLUSÃO

Os sistemas de microrredes estão atualmente, destacando-se no mundo com grande diversidade das energias naturais renováveis e com mais facilidade de aplicações e estudos bem avançados, principalmente para acumulação local de energia resiliente e com qualidade energética.

Conforme mencionado neste artigo, são as inúmeras ocorrências de falta de energia elétrica têm demonstrado as fragilidades do fornecimento das concessionárias e revelam a importância de novas tecnologias eficientes e com confiabilidade para suprir a demanda e proporcionar um fornecimento contínuo. Observação empírica dos recursos existentes, análise de dados operacionais e de falhas (remotas e contínuas) de uma infraestrutura hospitalar, a pesquisa estratégica deste artigo, demonstra analisar as oportunidades e desafios de implementação de sistemas elétricos inteligentes (microrredes), desde a cabine primária de entrada de energia da concessionária de média tensão, com a instalação de medidores de energia elétrica, até os estudos de viabilidade operacional de fontes alternativas de energias renováveis (solar, eólica, ups e hidrogênio verde) nos ambientes críticos do hospital.

As oportunidades e desafios para aplicação de sistemas de microrredes em ambientes hospitalares críticos existem, contudo o sistema é muito promissor e deve ser utilizado para planos de contingências e catástrofe para uma rede e plataforma de monitoramento e gerenciamento remoto das instalações de salas cirúrgicas, leitos de unidade de terapia intensivas e equipamentos do centro de diagnóstico por imagem.

As normas e resoluções vigentes para aplicação de microrredes em hospitais devem ser mais divulgadas e proporcionar maior incentivos fiscais dos governantes para sua aplicação, principalmente para saúde pública e sustentabilidade ambiental.

Vale ressaltar a importância de estudos constantes aos colegas de um tema tão importante para os hospitais públicos e privados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Mateus Augusto Ferreira Almeida. Topologias, vantagens e desvantagens de uma microrrede inteligente 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) —Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2024.

AOKI, Alexandre Rasi Fascículo Microrredes no Brasil. In: O Setor Elétrico. Ano 16.- Edição 181. 2021 Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Edicao-181_OSE.pdf> Acesso em: 15/03/2025.

AOKI, A. r.; TEIXEIRA, M.; VILA, C. U. Microrredes como ferramenta na melhoria da qualidade da energia elétrica. 2023. Disponível em:<<https://www.osetoreletrico.com.br/microrredes-como-ferramenta-na-melhoria-da-qualidade-da-energia-eletrica/>> Acesso em: 15/03/2025.

BITENCOURT, Marcelo Barbosa. Estudo de viabilidade da implementação de microrredes no Brasil. 2022. 73 f., il. Trabalho de Conclusão Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

FUNDAÇÃO CERTI. Apresentação: microrredes inteligentes: tecnologias e mercado (Gerenciamento energético nas microrredes) 2017. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/13778161/>> Acesso em: 15/03/2025.

FUNDAÇÃO CERTI. Redes Inteligentes. Disponível em: <<https://certi.org.br/pt/competencias-sistemas-de-energia-redes-inteligentes>> Acesso em: 15/03/2025.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS Aplicação de microrredes no mundo 2025. Disponível em: <<https://www.fortunebusinessinsights.com/pt/industry-reports/microgrid-market-100406>> Acesso em: 15/03/2025.

ONU. Organização das Nações Unidas. Como a ONU apoia o desenvolvimento sustentável no Brasil. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs#:~:text=Os%20Objetivos%20de%20Desenvolvimento%20Sustent%C3%A1vel%20s%C3%A3o%20um%20apelo%20global%20%C3%A0,de%20paz%20e%20de%20prosperidade.>>>. Acesso em: 15/03/2025.

ANEXO A – NOTÍCIA VEICULADA: SANTA CASA DE SÃO PAULO FECHA UNIDADES

g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2024/03/20/energia-volta-a-cair-no-centro-de-sp-na-tarde-desta-quarta.ghtml



g1

SÃO PAULO

O apagão no Centro de SP **começou justamente na segunda (18), por volta das 10h30 da manhã e atingiu parcialmente pelo menos cinco bairros da região.**

Pelo menos 35 mil usuários da rede foram afetados, segundo diretores da própria Enel. Casas e comércios e três hospitais ficaram no escuro.

Além da Santa Casa de Misericórdia, na Santa Cecília, o Hospital Santa Isabel e o Instituto do Câncer Doutor Arnaldo Vieira de Carvalho mantiveram as atividades essenciais a base de geradores.

Uma obra na rua General Jardim, na Vila Buarque, que pode ter sido a causa do apagão segundo a concessionária Enel, terminou antes que a luz voltasse em alguns imóveis. Até agora, ninguém assumiu a culpa pelo problema.

A Enel diz que a Sabesp puxou a fiação subterrânea durante uma reforma da tubulação de esgoto, que passa no mesmo ponto. E a Sabesp nega qualquer ligação entre o serviço e o apagão.

FONTE: PORTAL G1, 20/03/2024.

ANEXO B – NOTÍCIA VEICULADA: HOSPITAIS DA REGIÃO DA SUL DA CIDADE DE SÃO PAULO SÃO AFETADOS PELO ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA, APÓS GRANDES TEMPESTADES.

g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2025/01/08/hospital-sp-fica-sem-energia-eletrica-por-mais-de-19-horas-e-setor-de-ressonancia-magnet...

g1

SÃO PAULO

O Hospital **São Paulo** está há mais de 19 horas sem energia elétrica nesta quarta-feira (8) no prédio onde são realizados exames de ressonância magnética na rua Napoleão de Barros, Vila Clementino, Zona Sul da capital paulista.

Segundo a instituição, o hospital já abriu cinco protocolos na Enel, mas os prazos informados pela concessionária não tinham sido cumpridos até as 19h.



FONTE: PORTAL G1, 08/01/2025.

ANEXO C – NOTÍCIA VEICULADA: HOSPITAIS DO RIO GRANDE DO SUL FECHAM APÓS GRANDES ALAGAMENTOS

g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/05/10/quatro-hospitais-estao-fechados-no-rio-grande-do-sul.ghtml



g1

JORNAL NACIONAL

No Rio Grande do Sul, as enchentes provocaram o fechamento de quatro hospitais.

Faz cinco dias que as águas do Guaíba inundaram o Hospital Mãe de Deus, em **Porto Alegre**. Fechado, ele deixa de atender 1,5 mil pessoas por dia. O subsolo foi totalmente tomado. Dá para ver que de quinta (9) para sexta (10) o volume caiu cerca de 30 centímetros, mas de onde a equipe do **JN** esteve até o chão são mais de 2 metros totalmente tomados pela água.

"Nós temos fé e confiança que em breve nós estaremos operantes, atendendo nossos pacientes", diz um representante do hospital.

Além de Porto Alegre, tem hospitais fechados em **Canoas, Estrela e Três Coroas**. 34 Unidades Básicas de Saúde da Grande Porto Alegre também estão fechadas. 14 ficaram inundadas. O posto em Morro dos Sargentos perdeu equipamentos novos, remédios e móveis.

FONTE: PORTAL G1, 10/05/2024.