

Hospitais do futuro: tecnológicos, sustentáveis, resilientes e autossuficientes

Hospitals of the future: technological, sustainable, resilient and self-sufficient

João Paulo Lucchetta Pompermaier, Doutorando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

joaopaulopompermaier@gmail.com

Elza Maria Alves Costeira, Doutora em Arquitetura, Associação Brasileira para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar (ABDEH).

ecosteira@uol.com.br

Patrícia Biasi Cavalcanti, Doutora em Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

patibiasi@yahoo.com

Resumo

Diante dos desafios globais decorrentes da degradação ambiental e das mudanças climáticas, torna-se essencial repensar a forma como os hospitais são projetados, construídos e operados, buscando soluções sustentáveis e resilientes que minimizem impactos ambientais sem comprometer a qualidade dos cuidados. Este estudo busca discutir como a integração de tecnologias emergentes e princípios de sustentabilidade podem contribuir para o desenvolvimento de hospitais resilientes e autossuficientes no futuro. O estudo se divide em revisão bibliográfica da literatura nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* e estudo de caso teórico do *Al Daayan Health District*, localizado em Doha, Catar. O projeto exemplifica estratégias importantes para o planejamento de edificações hospitalares sustentáveis, resilientes e autossuficientes. Espera-se que os hospitais do futuro integrem tecnologias emergentes, sustentabilidade e princípios de resiliência para enfrentar desafios globais, garantindo a eficiência operacional e a qualidade na prestação de serviços de saúde em diferentes contextos.

Palavras-chave: Arquitetura hospitalar; Hospital do futuro; Tecnológico; Resiliente; Autossuficiente

Abstract

In view of the global challenges arising from environmental degradation and climate change, it is essential to rethink the way hospitals are designed, built and operated, seeking sustainable and resilient solutions that minimize environmental impacts without compromising the quality of care. This study seeks to discuss how the integration of emerging technologies and sustainability principles can contribute to the development of resilient and self-sufficient hospitals in the future. The study is divided into a bibliographic review of the literature in the Web of Science and Scopus databases and a theoretical case study of the Al Daayan Health District, located in Doha, Qatar. The project

exemplifies important strategies for the planning of sustainable, resilient and self-sufficient hospital buildings. It is expected that hospitals of the future will integrate emerging technologies, sustainability and resilience principles to face global challenges, ensuring operational efficiency and quality in the provision of health services in different contexts.

Keywords: Healthcare architecture; Hospital of the future; Technological; Resilient; Self-sufficient

1. Introdução

As ações humanas e a globalização descontrolada têm levado muitos ecossistemas globais ao extremo. A humanidade está excedendo os limites de um planeta saudável, resultando em uma série de desafios que incluem: mudanças climáticas, perda da biodiversidade, escassez de recursos naturais, poluição do ar, da água e do solo, degradação dos ecossistemas, insegurança alimentar e hídrica, além do aumento das desigualdades sociais e dos impactos das pandemias.

O conceito de limites planetários proposto por pesquisadores do *Stockholm Resilience Centre* [Centro de Resiliência de Estocolmo] da *Stockholm University* se caracteriza por um conjunto de nove limites seguros para a humanidade. Em 2023, uma equipe de cientistas quantificou, pela primeira vez, os nove processos que regulam a estabilidade e a resiliência do sistema terrestre, concluindo que seis desses limites já foram transgredidos. Os nove limites planetários são: mudança climática, entidades novas, depleção do ozônio estratosférico, carga de aerossol atmosférico, acidificação oceânica, modificação de fluxos biogeoquímicos, mudança de água doce, mudança no sistema terrestre e integridade da biosfera. Desses, já foram ultrapassados os limites da mudança climática, entidades novas, modificação de fluxos biogeoquímicos, mudança de água doce, mudança no sistema terrestre e integridade da biosfera. Ultrapassar esses limites pode elevar o risco de provocar alterações abruptas e irreversíveis em larga escala. Embora essas mudanças não ocorram de forma imediata, a soma desses limites representa um ponto crítico que intensifica os riscos para as populações e para os ecossistemas dos quais dependemos (Richardson *et al.*, 2023; SRC, 2023).

Já o conceito de saúde planetária reconhece que a saúde humana e o bem-estar da civilização dependem diretamente de ecossistemas equilibrados e da gestão responsável dos recursos naturais (Horton; Lo, 2015). No entanto, a degradação ambiental atinge níveis sem precedentes, comprometendo a estabilidade desses sistemas e ampliando as ameaças à saúde global. Vivenciamos um cenário de incertezas e exposto a eventos inesperados, exigindo respostas urgentes e transformadoras para mitigar riscos e garantir a proteção das gerações presentes e futuras (Whitmee *et al.*, 2015).

Diante disso, é necessário repensar não apenas as ações humanas, mas também a forma como as edificações são projetadas, construídas e operadas. Hospitais, em específico, são edificações ambientalmente impactantes, especialmente devido à alta demanda por energia, água e geração de resíduos (Eckelman; Sherman; 2016; Lenzen *et al.*, 2020; Zioni, 2019). Entretanto, é inegável que tais locais exercem um papel vital para sustentar e melhorar o bem-estar humano diante dos mais diversos contextos globais. Por isso há um movimento crescente pela busca de alternativas sustentáveis e inteligentes na arquitetura para os hospitais.

Algumas questões fundamentais precisam ser refletidas para orientar o planejamento e o desenvolvimento dos hospitais, entre elas: Como a arquitetura hospitalar pode equilibrar a complexidade funcional com a redução do impacto ambiental? Como o planejamento dos hospitais pode mitigar seu impacto sobre o meio ambiente e assegurar sua resiliência de operação mesmo em situações ambientais e climáticas adversas? Como a escolha de materiais

e técnicas construtivas pode influenciar a eficiência energética e a redução de resíduos hospitalares? Como projetar hospitais resilientes que possam enfrentar crises sanitárias, climáticas e energéticas sem comprometer a qualidade dos cuidados? Não se pretende responder todas essas perguntas, mas trata-se de algumas questões que devem guiar o debate sobre o futuro das infraestruturas hospitalares.

Busca-se neste estudo discutir como a integração de tecnologias emergentes e princípios de sustentabilidade podem contribuir para o desenvolvimento de hospitais resilientes e autossuficientes no futuro. Será apresentado também um estudo de caso teórico do *Al Daayan Health District* [Distrito de Saúde de *Al Daayan*], localizado em Doha (Catar), a fim de identificar estratégias para concepção de unidades de saúde preparadas para os desafios do presente e do futuro.

2. Revisão da literatura

Como serão os hospitais do futuro? A resposta para essa pergunta permanece uma incógnita intrigante, desafiando a capacidade de previsão em meio às incertezas da atualidade. Por outro lado, envolve uma abordagem ampla e integrada da sustentabilidade, que contempla desde a concepção e construção dos edifícios até sua operação a longo prazo e sua capacidade de resistir a crises ambientais e sanitárias. A rápida evolução tecnológica, as mudanças demográficas e ambientais e a crescente demanda por serviços de saúde têm impactado significativamente as edificações hospitalares, que devem assegurar as necessidades das gerações futuras (De Oliveira; De Oliveira, 2022; Lopes *et al.*, 2018).

Nos últimos anos os hospitais têm buscado reduzir sua pegada ambiental implementando iniciativas de desenvolvimento sustentável visando atingir um triplo objetivo: ser socialmente equitativo, economicamente viável e ecologicamente sustentável (Lallemant, 2024). A sustentabilidade deve pautar o desenvolvimento de projetos arquitetônicos visando questões atuais e futuras, buscando minimizar os impactos humanos sobre o planeta e seus recursos. Por meio dela, define-se que uma construção sustentável “teve na sua concepção, construção e operação os conceitos e procedimentos reconhecidos como sustentabilidade ambiental, proporcionando benefícios à saúde e bem-estar das pessoas, gerando economias nos processos” (Bross, 2013, p. 172).

Para atingir esse objetivo, os hospitais do futuro devem ser concebidos como espaços resilientes e autossuficientes, capazes de responder a desafios complexos, como mudanças climáticas, crises sanitárias e pressões econômicas. As emissões de gases de efeito estufa, o aquecimento do planeta, as mudanças climáticas e as ondas de calor, por exemplo, estão aumentando em número e intensidade, agravando as condições de habitabilidade e deixando todos mais vulneráveis a desastres climáticos e ambientais. Isso requer que estruturas vitais, como hospitais, sejam repensadas já que necessitam estar preparadas para seguir operando de forma ininterrupta (Tuxhari; Veizaj, 2015).

Ao explorar de forma descontrolada os recursos da natureza, a humanidade tem impulsionado padrões altamente injustos, ineficientes e insustentáveis de consumo de recursos (Whitmee *et al.*, 2015). Os sistemas de saúde podem representar de 1% a 5% do impacto global sobre o meio ambiente, sendo que em alguns países esse percentual pode ser ainda superior (Lenzen *et al.*, 2020). Se o setor de saúde fosse um país, seria o quinto maior poluidor do planeta (HCWH, 2019). Não seria lógico pensar que todos os edifícios que cuidam da saúde humana deveriam cuidar também do ambiente natural? (Tuxhari; Veizaj,

2015). “As crises ecológicas têm impacto na saúde pública e, paradoxalmente, a assistência médica também gera danos ambientais prejudiciais à saúde” (Lallemant, 2024, n.p.).

Esse novo paradigma exigirá a redução do uso de materiais convencionais, como concreto e aço, incentivando a adoção de tecnologias emergentes, como a impressão 3D, que possibilitará edificações mais eficientes e com menor impacto ambiental. Além disso, a incorporação de materiais sustentáveis e de baixo carbono contribuirá para a criação de ambientes resilientes, alinhados aos princípios da economia circular e ao uso responsável dos recursos naturais (Pascale; Achour, 2024; Sebire *et al.*, 2025a). Essa concepção ampliada dos hospitais do futuro buscará otimizar o equilíbrio entre infraestrutura e eficiência energética, consolidando-se como um modelo de edificação de saúde ambientalmente responsável e regenerativa.

A evolução tecnológica tem possibilitado o aparecimento e o desenvolvimento de novos materiais que surgem com novas aplicabilidades e/ou funções (Carvalho, 2015). Esses materiais são um facilitador, contribuindo com o processo de construção e de acabamento das edificações hospitalares. A nanotecnologia e a impressão 3D desencadearam o desenvolvimento de materiais inteligentes e capazes de atender os requisitos técnicos específicos, impulsionando as práticas sustentáveis.

Além da sustentabilidade na construção, os hospitais do futuro deverão incorporar sistemas sofisticados de gerenciamento que otimizem o uso de energia, reduzam o consumo de água e minimizem a produção de resíduos hospitalares. Espera-se que essas edificações sejam completamente resilientes às crises, reforçando o papel vital dos hospitais nos cuidados de saúde (Sebire *et al.*, 2025b). Nesse sentido, é essencial que a arquitetura permita a flexibilidade necessária para reorganização da estrutura e das instalações quando necessário (Sebire *et al.*, 2025a).

As futuras organizações hospitalares devem promover o bem-estar ao mesmo tempo, em que salvaguardam comunidades por meio de edifícios com capacidades resilientes (Rechel *et al.*, 2009). Os hospitais devem suportar os riscos ambientais e pandemias sem comprometer os cuidados e a segurança dos pacientes durante eventos adversos. Algumas considerações importantes para o projeto de hospitais do futuro incluem o aumento das comorbidades múltiplas e as mudanças no perfil epidemiológico e demográfico, associados às mudanças nas tecnologias que estão alterando o modo como os serviços de saúde são prestados para a população (Sebire *et al.*, 2025b).

Acerca dos efeitos climáticos, espera-se que o hospital tenha sistemas sofisticados de gerenciamento que otimizem o uso de energia ao mesmo tempo, em que promovam a mitigação climática (Sebire *et al.*, 2025b). Espera-se também que os hospitais não apenas incorporem a sustentabilidade e a resiliência climática como valores essenciais, mas também adotem uma abordagem inovadora na gestão hospitalar, alinhada às demandas impostas pelas mudanças climáticas. As edificações deverão ser projetadas para operar com emissões zero de carbono, utilizando exclusivamente fontes de energia renováveis e integrando tecnologias avançadas de coleta e otimização do consumo energético (Pascale; Achour, 2024).

Os hospitais existentes deverão ser adaptados para atender aos princípios de baixo carbono e eficiência energética, tornando seus espaços flexíveis e preparados para futuras transformações, sem a necessidade de novas construções (Pascale; Achour, 2024). Dessa forma, os hospitais do futuro não apenas deverão minimizar seu impacto ambiental, mas também se tornarão modelos de infraestrutura sustentável e adaptável, promovendo um equilíbrio entre inovação, resiliência e preservação dos recursos naturais.

3. Procedimentos Metodológicos

O estudo se divide em duas fases metodológicas: (I) revisão bibliográfica da literatura e (II) estudo de caso teórico. A Fase I foi conduzida com o objetivo de responder à seguinte pergunta de pesquisa: Como a integração de tecnologias emergentes e princípios de sustentabilidade podem contribuir para o desenvolvimento de hospitais resilientes e autossuficientes no futuro?

A busca pelos estudos foi realizada nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, sem delimitação de ano ou idioma, a fim de abarcar a maior quantidade possível de evidências disponíveis. As estratégias de busca foram elaboradas com o uso de operadores booleanos e combinações de termos relacionados aos principais eixos da pesquisa: (*hospital*) AND (*technology OR technologies*) AND (*sustainability OR sustainable*). A revisão buscou integrar diferentes abordagens teóricas e empíricas, contribuindo para a construção de uma síntese capaz de fornecer subsídios para as discussões sobre o tema.

Na Fase II foi realizado um estudo de caso teórico do *Al Daayan Health District* [Distrito de Saúde de *Al Daayan*], localizado em Doha (Catar). O distrito de saúde projetado pelo *Office for Metropolitan Architecture* (OMA) em parceria com a Buro Happold foi selecionado para estudo por se caracterizar como um hospital do futuro, “um protótipo de hospital que responde à rápida mudança do campo médico por meio do potencial de modularidade, pré-fabricação e automação” (Stouhi, 2022, n.p.).

O estudo de caso teórico foi conduzido com base na análise de informações extraídas de matérias jornalísticas disponíveis na internet e de vídeos de apresentação do projeto publicado no YouTube. Esse processo envolveu a seleção de fontes confiáveis, considerando sites de relevância e conteúdos audiovisuais que detalham a concepção e impacto do projeto estudado. A partir desses materiais, foram identificados e interpretados os principais aspectos do caso.

4. Estudo de caso

Para repensar o futuro dos hospitais é necessário refletir sobre os modelos existentes e imaginar as novas possibilidades de design. Nesse contexto, Buro Happold, um dos idealizadores do projeto do hospital, objeto deste estudo, destaca:

O que deveria ser o hospital do amanhã? Deveria ser meramente uma melhoria em modelos existentes, ou deveríamos de fato começar do zero e repensar o design do hospital para as necessidades de saúde do amanhã? (Happold, 2023, tradução nossa).

O vídeo de apresentação da proposta para o *Al Daayan Health District* apresenta algumas reflexões sobre o futuro da arquitetura hospitalar:

A inovação médica está avançando exponencialmente, deixando os hospitais para se atualizarem constantemente. Instalações de última geração estão sendo reconstruídas assim que abrem. A vida útil dos hospitais está se tornando cada vez mais curta. Quanto mais recente for sua conclusão, mais cedo eles ficarão desatualizados. Imaginamos uma nova maneira de construir hospitais. Em vez de um edifício alto, e se o hospital fosse uma estrutura baixa, concebida não como um edifício, mas como um sistema composto por módulos que incorporam jardins onde a natureza pode ser desfrutada por pacientes e funcionários. Um número limitado de elementos acomoda uma série de funções. Uma estrutura que pode ser ampliada ou reduzida, mas que permanece operacional o tempo todo, adaptável às mudanças nas demandas organizadas em torno de uma rede de fluxos. Este é o hospital do futuro. O hospital do futuro se constrói, maximiza o potencial da automação e da impressão 3D e usa seus resíduos como recurso. O hospital do futuro produz o que consome,

sua energia, seus alimentos, seus remédios. O hospital do futuro está em toda parte. O hospital do futuro é agora (OMA, 2022, tradução nossa).

Nessa perspectiva, em 2021, o renomado escritório *Office for Metropolitan Architecture* (OMA) em parceria com a Buro Happold, apresentou a proposta final do projeto para o *Al Daayan Health District* [Distrito de Saúde de *Al Daayan*], localizado em Doha (Catar), caracterizado pela “simbiose entre serviços clínicos, pesquisa e educação - um lugar onde pensar sobre o futuro do hospital se torna o hospital do futuro” (OMA, 2020, n.p.).

Solicitado pela *Hamad Medical Corporation* (HMC), a proposta se destina a um terreno de 1.300.000m² de terra virgem e explora o potencial da modularidade, pré-fabricação e automação em relação às rápidas mudanças que ocorrem nas ciências médicas (Figura 1) (OMA, 2021). Reinier de Graaf, sócio do OMA e líder do projeto, explica que historicamente a arquitetura hospitalar tem sido concebida como uma tipologia rígida, pautada por modelos padronizados que sugerem uma única maneira de se construir hospitais. Em contraste, este projeto adota uma perspectiva oposta, fundamentando-se na ideia de conceber um hospital como uma tipologia dinâmica e em constante evolução, como um organismo vivo que procura se adaptar ao espaço e ao tempo.



Figura 1: *Al Daayan Health District*. Fonte: OMA (2021).

A proposta contempla uma estrutura de dois pavimentos abrigo hospital universitário, hospital infantil, centro para a saúde da mulher e centro de diagnóstico ambulatorial, com área construída de 629.000m² e capacidade total de 1.400 leitos reunidos em uma única estrutura. As áreas de suporte clínico e diagnóstico, por exemplo, estão previstas para o pavimento superior, enquanto os ambientes destinados ao atendimento dos pacientes serão posicionados no pavimento térreo. Essa organização espacial visa integrar de maneira eficiente os espaços de tratamento com os jardins que se distribuem ao longo do complexo hospitalar, promovendo benefícios terapêuticos por meio do contato visual com a natureza. Além disso, essa configuração contribui para a otimização da circulação interna, ao minimizar a dependência de sistemas de circulação vertical - elevadores (Figura 2) (Stouhi, 2021; Stouhi, 2022).

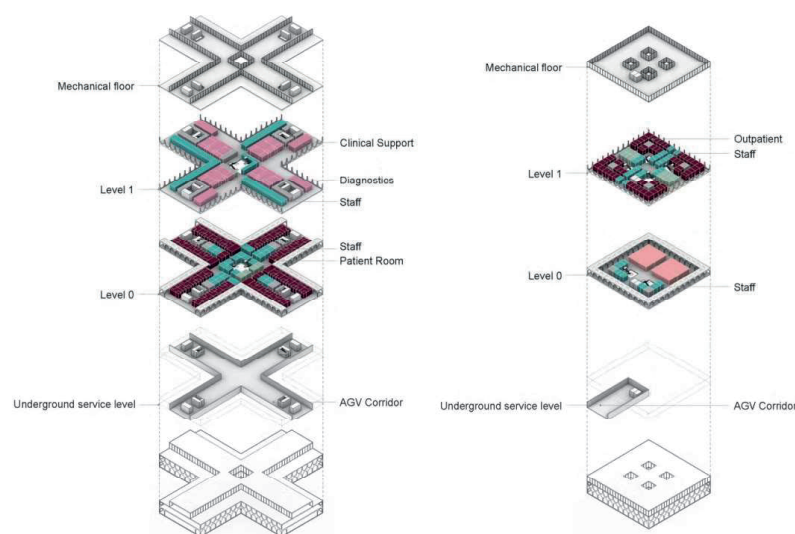


Figura 2: Unidades modulares. Fonte: OMA (2021).

O distrito incluirá ainda uma extensa área destinada ao cultivo de plantas medicinais, vegetais e hortaliças, cuja produção será voltada tanto para o abastecimento alimentar quanto para atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos fármacos. Ademais, contará com um centro de geração de energia solar, possibilitando o funcionamento autônomo e sustentável do distrito, com redução da dependência de fontes externas de energia (Stouhi, 2021).

O projeto propõe a utilização de unidades modulares pré-fabricadas, concebidas em formato de cruz e produzidas localmente, com o objetivo de reduzir custos e minimizar a dependência de cadeias de suprimentos globais. Esses módulos serão totalmente impressos em 3D no próprio local, permitindo flexibilidade no design e a experimentação com diferentes soluções de acabamento e ornamentação. A adoção de materiais locais visa reduzir a pegada ambiental do empreendimento, promovendo maior sustentabilidade. Além disso, as unidades modulares podem ser facilmente reconfiguradas e expandidas sem comprometer as atividades em andamento, assegurando a continuidade operacional (Figura 3) (OMA, 2021).

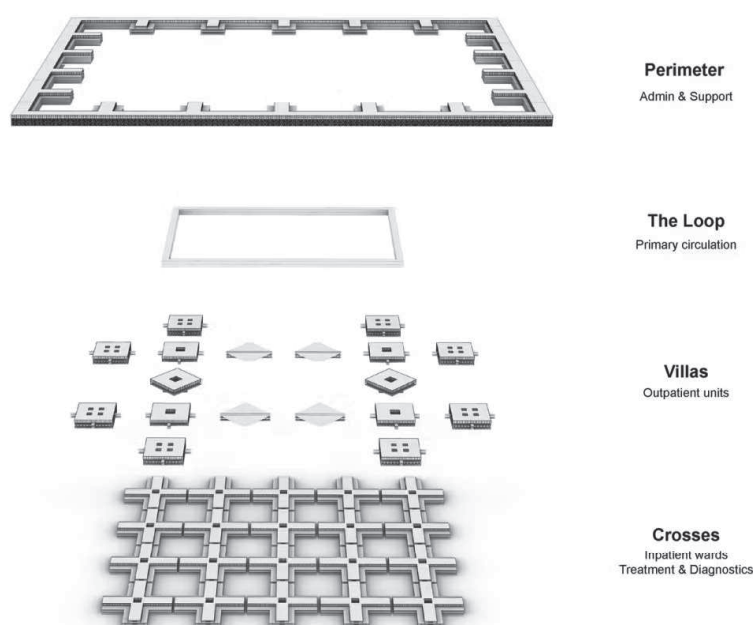


Figura 3: Conjunto de unidades modulares. Fonte: OMA (2021).

Em entrevista para a *DAMN° Magazine*, Reinier de Graaf explicou que a discussão sobre a possibilidade ou a necessidade de hospitais serem autossustentáveis surge da constatação de sua elevada dependência de cadeias de suprimentos externas. Embora essa dependência varie conforme o contexto geográfico, ela se torna particularmente relevante para hospitais localizados em regiões mais distantes dos principais centros de distribuição. No caso do Catar, por exemplo, grande parte dos recursos essenciais - como alimentos, medicamentos, materiais de construção e até profissionais de saúde - é importada. Assim, o projeto desenvolvido para o país busca explorar alternativas para a produção local desses insumos, considerando suas condições ambientais específicas. Apesar de ser predominantemente desértico e possuir recursos naturais limitados, o Catar dispõe de abundante incidência solar e acesso à água do mar. Com as tecnologias atuais, a energia solar pode ser eficientemente convertida em eletricidade, enquanto a dessalinização torna a água do mar adequada para uso agrícola. Esses dois recursos são fundamentais para reduzir a dependência de importações, possibilitando a produção local de energia (um dos principais custos operacionais dos hospitais), alimentos e até medicamentos. A questão da autossuficiência hospitalar está centrada na capacidade de identificar e aproveitar os recursos disponíveis localmente, promovendo um sistema mais resiliente e policêntrico, capaz de responder de forma autônoma às demandas essenciais para o seu funcionamento (Kennedy, 2021).

Ao explorar os conceitos do projeto podemos associar as rápidas transformações globais com questões como a degradação ambiental, o desmatamento e a proximidade, cada vez maior, entre seres humanos e ecossistemas de forma descontrolada, refletindo na necessidade premente de se buscar soluções inteligentes para minimizar esses problemas e planejar um futuro efetivamente sustentável.

No contexto das cadeias de suprimentos, reconhece-se que hospitais são sistemas complexos, sustentados por uma ampla gama de recursos que, em muitos casos, dependem de redes de abastecimento internacionais. Considerando um cenário global caracterizado por crescente volatilidade, incerteza, complexidade e rapidez nas transformações, o projeto buscou abordar estratégias para mitigar e gerenciar essas vulnerabilidades. Além disso, a escassez progressiva de recursos reforça a necessidade de soluções que promovam maior resiliência e autonomia operacional (Happold, 2023).

O fornecimento de energia no projeto se baseia em fontes de baixo ou zero carbono, alinhado com estratégias de infraestrutura e metas de redução de emissões. O design horizontal do edifício favorece a instalação de até 380.000m² de painéis solares fotovoltaicos no telhado, capazes de suprir 35% da demanda energética. A resiliência energética é sustentada por uma combinação de soluções atuais e emergentes que visam integrar, de forma eficiente, diferentes fontes e sistemas de energia. O projeto dá ênfase a utilização de energia solar fotovoltaica, aproveitando o contexto desértico para garantir o abastecimento diurno, enquanto sistemas de armazenamento em baterias asseguram abastecimento noturno e reserva de energia. O excedente de energia sazonal é convertido em hidrogênio, possibilitando o armazenamento de longo prazo e o fornecimento de energia 100% verde durante os períodos de alta demanda, como o verão. Além disso, reservatórios térmicos contribuem para a estabilidade dos sistemas de aquecimento e resfriamento, enquanto sistemas inteligentes de energia otimizam a gestão dos recursos, promovendo maior eficiência e redução das emissões de carbono (Happold, 2023).

A gestão dos recursos hídricos será orientada pelos princípios da economia circular, buscando reduzir a demanda e otimizar o uso da água de forma mais eficiente, em comparação aos modelos hospitalares tradicionais. Essa abordagem visa minimizar o desperdício e a poluição, promovendo o reuso e a reciclagem da água, sempre que possível. A

estratégia propõe um ciclo sustentável em que a água é mantida em uso por mais tempo, reduzindo a dependência de fontes externas e contribuindo para a resiliência hídrica do hospital em diferentes contextos. A redução da demanda de água será alcançada por meio de uma abordagem integrada que foca em quatro áreas principais: resfriamento urbano, eficiência nas instalações internas e nos acessórios, mudança de comportamento dos usuários, e práticas de reciclagem e reutilização da água, além da otimização da irrigação. Isso inclui tecnologias de resfriamento mais eficientes, sistemas de reuso de água para fins não potáveis e estratégias de paisagismo que demandem menos irrigação, promovendo um uso mais racional e sustentável dos recursos hídricos (Happold, 2023).

O hospital foi projetado para operar de forma autossuficiente por quase uma semana, funcionando de maneira isolada (modo ilha). Após esse período, a produção de alimentos se torna um desafio, embora os sistemas de energia, água e gestão de resíduos ainda tenham capacidade para continuar operando. Em um cenário de um mês, a capacidade de armazenamento de resíduos atingiria seu limite, tornando inviável manter os resíduos no local, especialmente por questões de controle de infecção. Ainda assim, desde que os sistemas operem em plena capacidade, haja espaço disponível para armazenamento e não ocorram interrupções nos serviços externos, o hospital continuaria a contar com fornecimento suficiente de energia e água para suas operações (Happold, 2023). O Quadro 1 apresenta uma síntese das principais características sustentáveis do projeto.

Quadro 1: Principais características sustentáveis do projeto.

Componentes	Sistemas circulares e de baixa demanda (energia, água e resíduos).	Produção de recursos no local.	Operação em modo ilha incorporada.
Principais benefícios	A demanda por água foi reduzida em 72% e o lençol freático foi drenado.	Redução da dependência das redes de serviços públicos da cidade.	Totalmente autossuficiente por uma semana.
	Redução do impacto ambiental.	Maior capacidade de recuperação após um evento de choque de oferta.	Os sistemas de energia, água e resíduos podem operar de modo ilha indefinidamente.
	Custos operacionais reduzidos.	A produção farmacêutica poderia ser integrada com programas de pesquisa.	Todos os sistemas projetados para permitir uma rápida mudança para o modo ilha para fornecer cuidados intensivos contínuos.
	Baixa demanda permite que o hospital resista a choques por mais tempo.		

Fonte: Adaptado de Happold (2023).

Embora ainda não haja uma previsão definida para a construção do *Al Daayan Health District*, é relevante enfatizar que o projeto apresenta uma abordagem arquitetônica inovadora, com potencial para redefinir o conceito de design e a funcionalidade dos ambientes hospitalares em um mundo em constante transformação.

O projeto reflete alguns dos questionamentos levantados no início deste estudo e a possibilidade de hospitais serem construídos como comunidades autossustentáveis capazes de se regenerarem e manterem sua operação diante dos mais diversos desafios globais. A proposta do OMA e Buro Happold é que o modelo para o distrito seja um protótipo replicável para outros contextos, entretanto é necessário considerar as diferenças existentes nos mais diversos países do mundo que podem incluir recursos financeiros e tecnológicos, geografia,

política, entre outros, o que pode ser um fator limitador para a execução em larga escala. Nesse sentido, o projeto é um modelo que deve ser adaptado e aperfeiçoado conforme o local onde o complexo hospitalar poderá ser instalado.

5. Considerações Finais

Mudanças climáticas e crises sanitárias estão remodelando as estruturas de todos os países do mundo, levando instituições, governos e sociedade em geral a refletirem sobre as ações e soluções para mitigar os efeitos associados.

Edificações hospitalares se caracterizam pela sua complexidade e alta necessidade de recursos para seu pleno funcionamento, contribuindo com os problemas globais recorrentes em muitos setores econômicos. Apesar disso, os hospitais possuem um papel importante na prestação dos cuidados de saúde que devem ser mantidos mesmo diante das adversidades.

Nesse sentido, a partir da grande demanda de suas estruturas em consumo energético e potencial de interferências no equilíbrio ecológico do local de sua implantação, torna-se primordial o aprofundamento de pesquisas e estudos de alternativas dos seus sistemas, para que sua operação garanta a eficácia de ações de proteção e promoção da saúde sem danos ao equilíbrio do sistema local.

Neste trabalho buscou-se discutir como a integração de tecnologias emergentes e princípios de sustentabilidade podem contribuir para o desenvolvimento de hospitais resilientes e autossuficientes no futuro. Percebe-se, por meio da revisão de literatura e do estudo de caso teórico apresentado, que os hospitais do futuro devem incorporar diversos conceitos arquitetônicos para a qualificação dos espaços, priorizando pela sustentabilidade do empreendimento associada a princípios de resiliência e autossuficiência, incorporando a tecnologia como uma aliada. Discutiu-se formas de maximizar os benefícios dos hospitais no futuro em diferentes contextos, ampliando a capacidade dos sistemas de saúde, contribuindo assim para a prestação de serviços de qualidade e integrais aos diferentes usuários.

Referências

- BROSS, J. C. **Compreendendo o edifício de saúde**. Série gestão em saúde, vol. 2. São Paulo: Atheneu, 2013.
- CARVALHO, R. A. F. **Materiais emergentes na arquitetura**. 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Arquitetura) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2015.
- DE OLIVEIRA, K. B.; DE OLIVEIRA, O. J. Making hospitals sustainable: towards greener, fairer and more prosperous services. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9730, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159730>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- ECKELMAN, M. J.; SHERMAN, J. Environmental impacts of the U.S. health care system and effects on public health. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, e0157014, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157014>. Acesso em: 11 fev. 2025.
- HAPPOLD, B. **Hospital of the Future: an engineering summary**. Reino Unido, 2023. Disponível em:

<https://www.burohappold.com/wp-content/uploads/2023/07/Hospital-of-the-Future-An-engineering-summary.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.

HAPPOLD, B. **The Hospital of the Future**. Reino Unido, 2023. Disponível em: <https://www.burohappold.com/projects/hospital-of-the-future/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

HCWH. Health Care Without Harm. **Health care's climate footprint: how the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action**. Bruxelles, set. 2019. Disponível em: https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

HORTON, R.; LO, S. Planetary health: a new science for exceptional action. **The Lancet**, v. 386, n. 10007, p. 1921-1922, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)61038-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)61038-8). Acesso em: 13 fev. 2025.

KENNEDY, G. OMA Space and Time: The Hospital of the Future. **DAMN° Magazine**, 2021. Disponível em: <https://www.damnmagazine.net/oma-space-time-hospital-future>. Acesso em: 10 fev. 2025.

LALLEMANT, F.; MARTIN, C. L'hôpital du futur: quand le développement durable rencontre «one health» et la santé planétaire pour des soins de santé durables. **Anesthésie & Réanimation**, v. 10, n. 2, p. 77-81, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anrea.2024.02.003>. Acesso em: 13 fev. 2025.

LENZEN, M. *et al.* The environmental footprint of health care: a global assessment. **The Lancet Planetary Health**, v. 4, n. 7, p. e271–e279, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30121-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30121-2). Acesso em: 11 fev. 2025.

LOPES, C. M. *et al.* Perspective of business models and innovation for sustainability transition in hospitals. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11010005>. Acesso em: 12 fev. 2025.

OMA. Office for Metropolitan Architecture. **OMA / Reinier de Graaf and Buro Happold Reveal Design for Health District in Doha**. Rotterdam, 18 out. 2021. Disponível em: <https://www.oma.com/news/oma-reinier-de-graaf-and-buro-happold-reveal-design-for-health-district-in-doha>. Acesso em 10 fev. 2025.

OMA. Office for Metropolitan Architecture. **OMA / Reinier de Graaf and Buro Happold Complete First Phase of Al Daayan Health District Project**. Rotterdam, 2 abr. 2020. Disponível em: <https://www.oma.com/news/oma-reinier-de-graaf-and-buro-happold-complete-first-phase-of-al-daayan-health-district-project>. Acesso em 10 fev. 2025.

OMA. Office for Metropolitan Architecture. **The Hospital of the Future**. YouTube, 11 abr. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YlpYdLh0N58>. Acesso em: 8 fev. 2025.

PASCALE, F.; ACHOUR, N. Envisioning the sustainable and climate resilient hospital of the future. **Public Health**, v. 237, p. 435-442, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2024.10.028>. Acesso em: 13 fev. 2025.

RECHEL, B. *et al.* **Investing in hospitals of the future**. Bruxelles: Observatory on Health Systems and Policies, 2009. Disponível em:

<https://eurohealthobservatory.who.int/publications/i/investing-in-hospitals-of-the-future-study>. Acesso em: 13 fev. 2025.

RICHARDSON, K. *et al.* Earth beyond six of nine planetary boundaries. **Science Advances**, v. 9, eadh2458, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>. Acesso em: 11 fev. 2025.

SEBIRE, N. J. *et al.* The Future Hospital in Global Health Systems: The Future Hospital Within the Healthcare System. **The International Journal of Health Planning and Management**, 2025a. DOI: <https://doi.org/10.1002/hpm.3891>. Acesso em: 13 fev. 2025.

SEBIRE, N. J. *et al.* The Future Hospital in Global Health Systems: The Future Hospital as an Entity. **The International Journal of Health Planning and Management**, 2025b. DOI: <https://doi.org/10.1002/hpm.3893>. Acesso em: 13 fev. 2025.

SRC. Stockholm Resilience Centre. **Planetary boundaries**. Stockholm, 2023. Disponível em: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>. Acesso em: 11 fev. 2025.

STOUHI, D. OMA / Reinier de Graaf and Buro Happold Reveal Autonomous Design for Health District in Qatar. **ArchDaily**, 19 out. 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com/970437/oma-reinier-de-graaf-and-buro-happold-reveal-autonomous-design-for-health-district-in-qatar>. Acesso em: 8 fev. 2025.

STOUHI, D. OMA and Squint/Opera Release Video of Qatar's Autonomous "Hospital of the Future". **ArchDaily**, 12 abr. 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com/980062/oma-and-squint-opera-release-video-of-qatars-autonomous-hospital-of-the-future>. Acesso em: 8 fev. 2025.

TUXHARI, M.; VEIZAJ, D. Sustainable development of hospital structures. *In*: PISCITELLI, M. (Org.). **Heritage and Technology: Mind Knowledge Experience**. Napoli: Scuola Pitagora Editrice, 2015. v. 56, p. 953-959.

WHITMEE, S. *et al.* Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. **The Lancet**, v. 386, n. 10007, p. 1973-2028, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60901-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1). Acesso em: 13 fev. 2025.

ZIONI, E. C. Eficiência e sustentabilidade nos ambientes de saúde. *In*: MARTINS, B. C. (org.). **Arquitetura e Urbanismo: planejando e edificando espaços**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.528191007>. Acesso em: 11 fev. 2025.