REVISTA | MAGAZINE

IPH

23

INSTITUTO DE
PESQUISAS
HOSPITALARES
ARQUITETO
JARBAS KARMAN



REVISTA IPH

EDIÇÃO Nº 23 OUTUBRO DE 2026

VERSIÓN EN

Revista IPH
octubre 2026

ESPAÑOL

Revista IPH

Edición Nº23
Octubre de 2026

Consejo Editorial
Fabio Bitencourt
Jorgeny Catarina Gonçalves
Marilena Pacios
Ricardo Karman diretoria@iph.org.br

Editor
Marcio Nascimento de Oliveira marcio@iph.org.br

Equipo de IPH
Rita Moraes secretaria@iph.org.br
Terezinha Vendramini karman@karman.com.br

Proyecto Grafico
Nathalia Duran

Traducción
Español Martin y Claudia Cadillo
Inglés Marina Jarouche

Imagen de portada
Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo
Arquitectura Angelo Bucci (SPBR Arquitetos)
Fotógrafo Nelson Kon

ISSN 2358-3630
DOI 10.62558/2358-3630/23.02

Dirección para correspondência
IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman
Rua Piracuama, 21 térreo - sala 02
Sumaré, São Paulo - SP
CEP 05017-040
telefone (11) 989059107
e-mail revista@iph.org.br
endereço eletrônico www.iph.org.br/revista

Sumario

Editorial 156

Marcio Nascimento de Oliveira

Artículo 159

Mantenimiento de los edificios hospitalarios: Retos, variables críticas y directrices para el dimensionamiento de la plantilla

Aline Neves Gomes, Prof. Marcelo J. Meiriño y Prof. Fábio Aquino

Artículo 176

El aporte de las tecnologías digitales al desarrollo de proyectos destinados a satisfacer las necesidades de información necesarias para el funcionamiento y el mantenimiento de los activos hospitalarios

Adriana Tonani Mazzieiro

Artículo 197

Economía circular en establecimientos asistenciales sanitarias

Antonio Pedro Alves de Carvalho y Jair de Jesus Lima

Artículo 229

Iluminación natural y proceso proyectual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo

Danielly Marcianny Silva Eulário, Paulo Sergio Scarazzato y Ludmila Cardoso Fagundes Mendes

Artículo 249

Percepción de gestores hospitalarios sobre la incorporación de tecnologías emergentes y sus impactos en la infraestructura física de los hospitales de Santa Catarina

João Paulo Lucchetta Pompermaier, Lizandra Garcia Lupi Vergara y Patrícia Biasi Cavalcanti

Artículo 273

Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo: contexto y proyecto

Sérgio Luiz Salles Souza y Ângelo Bucci. Curaduría de imágenes y diagramas: Gabriela Pedini

Versão em Inglês 312

Editorial

La Revista IPH llega a su 23.ª edición reafirmando el compromiso histórico del IPH – Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman con la producción y divulgación de conocimiento técnico-científico orientado a la arquitectura, la ingeniería, la gestión y la operación de los establecimientos de atención de salud. En un contexto caracterizado por la rápida transformación tecnológica, las crecientes exigencias de sostenibilidad y la necesidad permanente de cualificación de la infraestructura hospitalaria brasileña, los trabajos reunidos en esta publicación contribuyen de manera sustancial al fortalecimiento de las discusiones sobre el futuro de los entornos de salud.

Los artículos presentados dialogan entre sí al abordar distintas dimensiones del ciclo de vida de los edificios hospitalarios, desde la planificación y el diseño hasta la operación, el mantenimiento y la adaptación de las estructuras físicas ante las nuevas demandas asistenciales y tecnológicas. Se trata, así, de una publicación que pone de manifiesto la importancia de integrar el conocimiento multidisciplinario, la gestión estratégica y la innovación para garantizar entornos más eficientes, resilientes y humanizados.

Abriendo esta edición, el artículo “Mantenimiento hospitalario de infraestructura: desafíos, variables críticas y directrices para el dimensionamiento del personal técnico” examina uno de los temas más sensibles para la sostenibilidad operativa de los hospitales: el mantenimiento de la infraestructura física y tecnológica. En un contexto

en el que la complejidad de los sistemas hospitalarios de infraestructura crece continuamente, el estudio destaca la necesidad de metodologías más precisas para el dimensionamiento de los equipos técnicos, considerando variables operativas, la criticidad de los sistemas y los requisitos de continuidad asistencial.

A continuación, el trabajo el aporte de las tecnologías digitales al desarrollo de proyectos con el objetivo de satisfacer los requisitos de información necesarios para la operación y el mantenimiento de activos hospitalarios demuestra cómo las herramientas digitales vienen transformando los procesos de diseño y gestión de activos. La incorporación de metodologías basadas en información estructurada, interoperabilidad y modelos digitales representa un avance significativo para la eficiencia de la operación hospitalaria a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones.

El debate sobre la sostenibilidad cobra relevancia en el texto "La economía circular en EAS", de Antonio Pedro Carvalho y Jair de Jesus Lima, que presenta reflexiones importantes sobre el uso racional de los recursos, la gestión de residuos y nuevas estrategias para reducir los impactos ambientales en el sector de la salud. La incorporación de los principios de la economía circular en los establecimientos de atención de la salud apunta hacia un cambio de paradigma necesario frente a los desafíos ambientales contemporáneos.

Asimismo, integra este número de la revista el estudio "Iluminación natural y proceso proyectual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo", de Danielly Eulário y colaboradores, el cual revisita la obra de uno de los principales referentes de la arquitectura brasileña contemporánea, analizando la relación entre iluminación natural, confort ambiental y calidad espacial en el diseño hospitalario. El trabajo pone de manifiesto cómo las soluciones arquitectónicas sensibles al clima y al bienestar humano se mantienen fundamentales, aun frente al avance de las tecnologías constructivas.

Las transformaciones provocadas por las tecnologías emergentes en el entorno hospitalario se abordan en el trabajo "Percepción de los gestores hospitalarios sobre la incorporación de tecnologías emergentes y sus impactos en la infraestructura física de los hospitales de Santa Catarina", de João Paulo Lucchetta Pompermaier y colaboradores. El estudio revela los desafíos que enfrentan los gestores para adaptar las edificaciones existentes a las nuevas exigencias operativas, digitales y asistenciales, y destaca la necesidad de una mayor flexibilidad y capacidad de actualización de los edificios de salud.

Para cerrar la revista, el texto “Arquitectura en el ámbito de la salud – Hospital Público de Urgencias, São Bernardo do Campo”, de los autores invitados Sergio Salles y Ângelo Bucci, presenta una reflexión sobre la arquitectura hospitalaria contemporánea a partir de una obra pública de gran relevancia, haciendo hincapié en la relación entre la solución arquitectónica, la funcionalidad, la dimensión urbana y la atención humanizada.

Esperamos que los trabajos aquí publicados contribuyan a ampliar el debate técnico y científico sobre el rumbo de la arquitectura y la infraestructura hospitalaria en Brasil, estimulando nuevas investigaciones, prácticas innovadoras y soluciones capaces de responder a los desafíos presentes y futuros de los entornos de salud.

Agradecemos a los autores, investigadores, revisores y colaboradores que hicieron posible esta nueva edición de la Revista IPH. A nuestros lectores, les deseamos una excelente lectura y los invitamos a seguir participando activamente en esta red de conocimiento construida a lo largo de la trayectoria del IPH.

Arq. Marcio Nascimento de Oliveira

editor

Artículo

Mantenimiento de los edificios hospitalarios: Retos, variables críticas y directrices para el dimensionamiento de la plantilla

Autores

Aline Neves Gomes Universidad Federal Fluminense

Prof. Marcelo J. Meiriño, D.Sc Universidad Federal Fluminense

Prof. Fábio Aquino, D.Sc. Centro Federal de Educación Tecnológica

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.01

Resumen

El mantenimiento de los edificios hospitalarios es un macroproceso estratégico esencial para la seguridad del paciente y para la continuidad de los servicios sanitarios. A pesar de su importancia, se observa una laguna significativa en la literatura científica, especialmente en el contexto brasileño. Este estudio llevó a cabo una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de 185 publicaciones indexadas en la base Scopus (1989–2023), utilizando el software R y el paquete Bibliometrix, herramienta muy utilizada para la cartografía científica y el análisis cuantitativo de la producción académica. Los resultados evidenciaron que la mayor parte de los estudios se centran en países desarrollados, mientras que la bibliografía nacional sigue siendo limitada. Se identificaron variables críticas para el dimensionamiento de la plantilla dedicada al mantenimiento de los edificios hospitalarios, entre ellas la complejidad de los sistemas, la frecuencia de los mantenimientos, la superficie física, la cantidad de activos y el nivel de formación de los equipos. A partir de estos hallazgos, el estudio propone directrices basadas en órdenes de servicio, indicadores operativos y normas técnicas aplicables al sector. El refuerzo de la gestión del mantenimiento resulta indispensable para promover entornos hospitalarios más seguros y eficientes.

Palabras clave

mantenimiento de edificios hospitalarios; dimensionamiento de la plantilla; gestión de infraestructuras hospitalarias.

1. Introducción

El objetivo del mantenimiento de edificios es que estos cumplan sus funciones sin obstaculizar su uso ni su ocupación, garantizando la funcionalidad, la seguridad y el bienestar de los usuarios. En el ámbito hospitalario, las consecuencias de las deficiencias en el mantenimiento de los edificios pueden ser graves e irreparables, pudiendo provocar infecciones nosocomiales, accidentes o el empeoramiento del estado de un paciente debilitado. Por ello, la responsabilidad, la disciplina y los conocimientos técnicos del equipo se convierten en elementos vitales. Cada intervención exige una planificación meticulosa, con la aplicación rigurosa de medidas de protección y señalización. La separación entre los materiales sucios o contaminados y los limpios es fundamental para evitar la propagación de riesgos. El proceso debe llevarse a cabo con la menor interferencia posible en la rutina hospitalaria, minimizando el impacto sobre los pacientes, los acompañantes, los médicos y el personal. (EBSERH, 2022).

Planificar el mantenimiento de los edificios hospitalarios desde el principio es fundamental para garantizar la durabilidad, la eficiencia y la seguridad de los mismos, asegurando así que sigan cumpliendo su misión fundamental: velar por la vida humana. (Karman, Fiorentini e Karman, 1995).

En países como Estados Unidos y el Reino Unido, donde los sistemas sanitarios están muy desarrollados, la inversión en el mantenimiento de los edificios hospitalarios se considera fundamental. Estudios del National Health Service (NHS), de Reino Unido demuestran que, para reducir los incidentes y los costes a largo plazo, se llevan a cabo tareas de mantenimiento preventivo periódicas en áreas críticas como los sistemas de ventilación y de suministro de energía (Dejaco, Gramigna e Moretti, 2019). La inversión en estos procesos ha reducido el número de órdenes de servicio correctivas, lo que ha aumentado la seguridad y la fiabilidad de las operaciones.

La dimensión de los equipos de mantenimiento también es una práctica fundamentada para satisfacer las necesidades específicas de los hospitales, teniendo en cuenta las complejas exigencias de los sistemas hospitalarios. En los hospitales de tamaño medio y grande de los países desarrollados, los equipos de mantenimiento están formados por técnicos especializados, asignados a áreas críticas, lo que facilita una respuesta ágil ante los incidentes y minimiza el riesgo de interrupciones (Chen *et al*., 2020).

Sin embargo, la literatura científica brasileña sigue presentando importantes lagunas en cuanto a cómo dimensionar, de forma objetiva

y basada en datos, los equipos de mantenimiento de los edificios hospitalarios. Mientras que los países desarrollados ya aplican modelos basados en indicadores de rendimiento, en Brasil predominan las prácticas reactivas y la falta de metodologías adaptadas a la realidad del Sistema Único de Salud (SUS).

En este artículo se propone un análisis de la producción científica nacional e internacional sobre el mantenimiento de edificios hospitalarios, haciendo hincapié al dimensionamiento de la fuerza de trabajo. Para ello, se utilizan técnicas de revisión bibliográfica y análisis bibliométrico, con el fin de identificar las principales variables técnicas, operativas y normativas que influyen en la composición de los equipos de mantenimiento. Con ello se espera contribuir al desarrollo de prácticas más seguras, eficientes y sostenibles en la gestión de la infraestructura hospitalaria.

Una versión preliminar de los resultados bibliométricos presentados en este estudio se publicó en los Anales de X CBDEH (Gomes, 2024). No obstante, el presente artículo incluye análisis ampliados, una revisión sistemática, revisada y un debate en profundidad sobre las variables críticas.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Mantenimiento de edificios

Desde el momento en que el edificio cobra vida, comienza su proceso de envejecimiento. Es en ese momento cuando las actividades de mantenimiento adquieren un papel crucial, yendo más allá de la mera corrección de fallos y consolidándose como un ámbito estratégico para el rendimiento duradero de la estructura. Un mantenimiento eficaz garantiza que el uso del edificio cumpla con las metas y los objetivos de la organización, asegurando su funcionalidad y revalorización a lo largo del tiempo (Cisne y Albuquerque Junior, 2021).

La falta de planificación en el mantenimiento de los edificios puede provocar un efecto dominó de consecuencias negativas. Se pueden desperdiciar importantes inversiones de capital cuando los equipos y las estructuras se deterioran prematuramente, lo que conlleva la pérdida de garantías y la necesidad de costosas reparaciones. Además, la falta de un mantenimiento adecuado puede comprometer la seguridad de los usuarios, afectar negativamente a la productividad en el entorno y, en última instancia, desincentivar nuevas inversiones en el sistema, creando un círculo vicioso de deterioro (Lavy y Bilbo, 2009).

El mantenimiento de los edificios se basa en tres principios: seguridad, funcionalidad y comodidad, lo que garantiza que el edificio ofrezca unas

condiciones adecuadas a los usuarios y que las inversiones se mantengan a largo plazo (Guimarães, 2012). El mantenimiento de los edificios hospitalarios está estrechamente vinculado a la cadena de servicios sanitarios, por lo 3 que desempeña un papel estratégico y multifacético. Su misión principal es velar por la seguridad y la durabilidad de los edificios sanitarios, garantizando un entorno propicio para la recuperación y el bienestar de los pacientes. El mantenimiento hospitalario constituye una actividad esencial que exige conocimientos técnicos especializados, una planificación meticulosa, una organización impecable y una gestión eficiente (EBSERH, 2022). Ante esta realidad, resulta imprescindible replantearse la gestión del mantenimiento hospitalario, adoptando medidas eficaces para garantizar la plena capacidad operativa de los equipos y las instalaciones. Invertir en profesionales cualificados, optimizar los procesos de adquisición y mejorar la infraestructura son medidas esenciales para evitar el despilfarro de recursos y, sobre todo, salvar vidas.

La gestión del mantenimiento de los edificios hospitalarios, además de velar por la integridad y la eficiencia de los sistemas, debe garantizar que la continuidad de las operaciones se produzca sin interferir en la atención clínica. Karman y Fiorentini (1995) señalan que, en los hospitales, las intervenciones deben planificarse y ejecutarse con cuidado, y realizarse preferentemente en horarios y zonas que reduzcan al máximo el impacto en la atención a los pacientes. La realización de tareas de mantenimiento programadas en horarios de menor afluencia de personas o durante el cierre de algunos departamentos es una práctica habitual, con el fin de reducir el riesgo de interrupción de los servicios y las molestias a los usuarios (Dejaco, Gramigna y Moretti, 2019).

Asimismo, el mantenimiento de las instalaciones hospitalarias plantea retos específicos, como la gestión de materiales potencialmente contaminantes y la garantía de que no se produzca contaminación cruzada entre las zonas limpias y las contaminadas. Los estudios demuestran que, cuando se lleva a cabo correctamente, el mantenimiento de las instalaciones hospitalarias contribuye a mejorar los indicadores de seguridad y salud hospitalaria, además de generar un ahorro al evitar los costes de las reparaciones de emergencia y aumentar la vida útil de los equipos (Wong, Olanrewaju y Lim, 2021).

Por lo tanto, el mantenimiento de los edificios hospitalarios es un proceso complejo y altamente especializado, que implica una planificación detallada, la formación continua de los profesionales implicados y el seguimiento constante de los indicadores de rendimiento. De este modo, una gestión eficaz del mantenimiento de los edificios hospitalarios no solo protege el patrimonio, sino que también promueve la seguridad y el

bienestar de los usuarios, contribuyendo a la sostenibilidad y la eficiencia de los servicios sanitarios.

2.2 Bibliometría

La bibliometría es una técnica esencial para organizar, catalogar y analizar la producción académica de forma sistemática y con base estadística. Este método permite trazar la evolución de un tema a lo largo del tiempo, identificando cambios, tendencias y conexiones 4

relevantes en la bibliografía existente (Aria y Cuccurullo, 2017). Se utiliza ampliamente para estructurar la información en ámbitos que requieren una comprensión profunda, como el mantenimiento de los edificios hospitalarios, un campo esencial para el funcionamiento de las instituciones sanitarias, pero en el que aún faltan estudios detallados.

De acuerdo con Aria y Cuccurullo (2017), el mapeo científico no solo contribuye a la investigación, sino que también desempeña un papel estratégico en la formulación de políticas y prácticas eficaces. Para ello, la bibliometría se basa en tres leyes clásicas: la Ley de Bradford, que analiza la productividad de las revistas científicas; la Ley de Lotka, centrada en la productividad de los autores; y la Ley de Zipf, que examina la frecuencia de los términos en los textos científicos (Guedes e Borschiver, 2005).

3. Metodología

Este estudio adopta un enfoque metodológico que combina un análisis bibliométrico, de carácter cuantitativo, y una revisión bibliográfica de carácter descriptivo, con el objetivo de realizar un mapeo de la producción científica sobre el mantenimiento de los edificios hospitalarios e identificar las principales variables que influyen en la dotación de personal en este contexto.

Para el análisis bibliométrico se utilizaron los indicadores clásicos disponibles en el paquete Bibliometrix, entre los que se incluyen la productividad de autores, revistas y países; el análisis de redes de coautoría; el acoplamiento bibliográfico; la presencia y la competencia de palabras clave; así como la evolución temporal de las publicaciones. La base de datos se estandarizó eliminando duplicados, armonizando los nombres de los autores y unificando las palabras clave. También se aplicaron las métricas de Bradford, Lotka y Zipf para identificar las revistas centrales, la productividad de los autores y la frecuencia de los términos. Los resultados fueron generados por el Biblioshiny, interfaz gráfica del Bibliometrix, lo que ha permitido elaborar mapas científicos, gráficos de tendencias y *clusters* temáticos.

La recopilación de datos se llevó a cabo en la base Scopus, muy reconocida por la calidad y el alcance de sus publicaciones científicas. Se utilizó una combinación de los descriptores "*building maintenance*" y "*health*", aplicando el operador lógico "*AND*" para identificar documentos que aborden ambos temas de forma interrelacionada. Los datos recopilados se procesaron utilizando el software R y el paquete Bibliometrix, que ofrece un análisis cuantitativo sólido y fácil de entender a simple vista (Aria y Cuccurullo, 2017).

Asimismo, se llevó a cabo un resumen cualitativo de las publicaciones más relevantes, en el que se identificaron los métodos, los indicadores y las prácticas recomendadas para el dimensionamiento de la plantilla dedicada al mantenimiento hospitalario. Se extrajeron 5

variables como la complejidad técnica de los sistemas, la frecuencia de los mantenimientos preventivos y correctivos, la superficie de los hospitales, la ubicación de los equipos críticos, el tiempo medio de respuesta ante averías y los indicadores de rendimiento (KPIs). La triangulación entre datos cuantitativos y cualitativos ha permitido obtener una visión más amplia y fundamentada de las prácticas y las carencias existentes en este ámbito.

4. Resultados

4.1 Análisis bibliométrico

La recopilación de datos abarcó el periodo comprendido entre 1989 y 2023, con un total de 185 publicaciones procedentes de 120 fuentes distintas (Figura 1). Este volumen de estudios, a lo largo de tres décadas, pone de manifiesto una importante carencia de investigaciones en este ámbito, sobre todo ante el rápido avance tecnológico y sus implicaciones directas para la gestión hospitalaria.



Figura 1 . Información general. Fuente: elaborado por la autora utilizando los softwares "R" y "Bibliometrix".

La productividad científica anual ha registrado un crecimiento moderado e irregular (Figura 2), alcanzando su punto más alto en 2012, con 17 artículos publicados. Sin embargo, el aumento medio del 5,41 % anual sigue siendo insuficiente dada la complejidad y la importancia del tema. En 20 de los 34 años analizados se registraron tres publicaciones o menos, lo que pone de manifiesto la falta de una evolución continua y coherente.

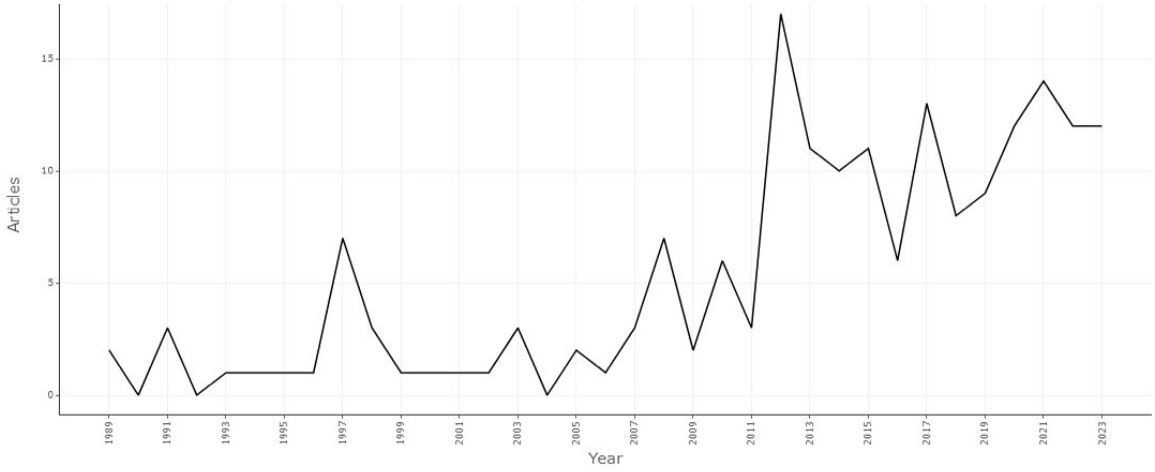


Figura 2 . Producción científica anual. Fuente: elaborado por la autora utilizando el software "R" y "Bibliometrix".

Las fuentes más influyentes identificadas fueron, en su mayoría, institutos de salud, con una mayor concentración de publicaciones a partir de 2010 (Figura 3). Autores como Igal Shohet y Sarel Lavy, aunque reconocidos por sus trabajos de gran calidad e impacto, no han publicado de forma activa en este ámbito desde 2010, lo que podría indicar un estancamiento en las contribuciones más relevantes en el período más reciente (Figura 4).

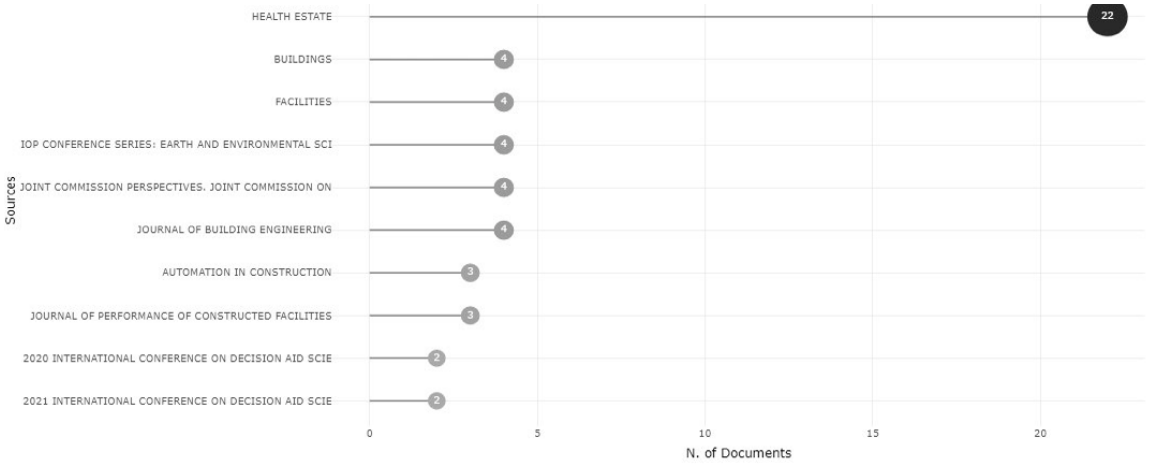


Figura 3 . Fuentes pertinentes. Fuente: elaborado por la autora utilizando los softwares "R" y "Bibliometrix".

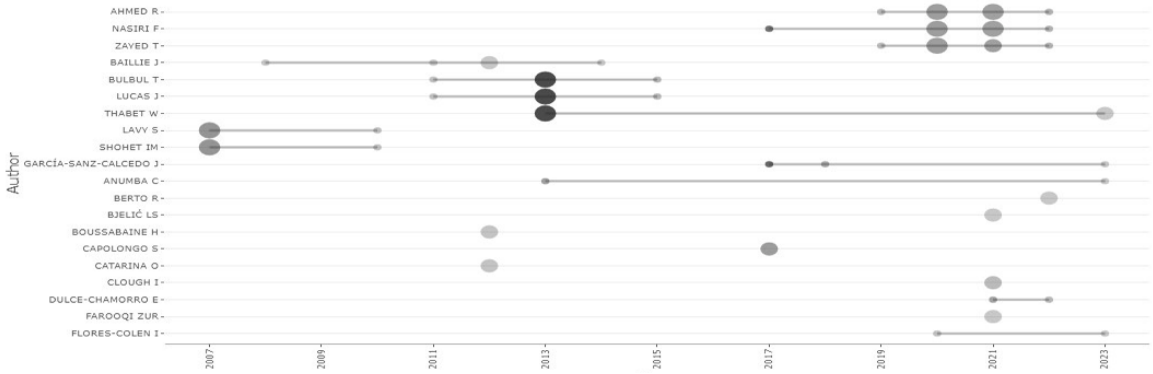


Figura 4 . Producción a lo largo de los años. Fuente: elaborado por la autora utilizando los softwares "R" y "Bibliometrix".

El análisis puso de manifiesto una concentración geográfica significativa de la producción científica, ya que 156 de los 185 artículos procedían de Estados Unidos, lo que limita la aplicabilidad global de los resultados. Esta desigualdad afecta especialmente a países como Brasil, donde las diferencias tecnológicas, culturales y socioeconómicas influyen directamente en las prácticas y las demandas relacionadas con el mantenimiento de los edificios hospitalarios.



Figura 5 . Producción científica por países . Fuente: elaborado por la autora utilizando el software "R" y "Bibliometrix".

El estudio evidencia la falta de investigaciones actualizadas y exhaustivas sobre el mantenimiento de los edificios hospitalarios, área fundamental para la seguridad y la eficiencia de las operaciones. La concentración de publicaciones en un número reducido de autores y regiones refuerza la necesidad urgente de nuevos estudios que tengan en cuenta las particularidades de las diferentes realidades y contextos.

4.2 Variables a tener en cuenta para una metodología de dimensionamiento

Según la revisión bibliográfica sobre el mantenimiento de los edificios hospitalarios, el dimensionamiento de los equipos es un elemento clave para garantizar el funcionamiento, la eficiencia y la seguridad de las instalaciones hospitalarias. Esta necesidad se hace aún más evidente debido a la importancia del mantenimiento preventivo y a la urgencia de atender las necesidades correctivas, que, si no se abordan a tiempo, pueden afectar directamente a la seguridad de los pacientes y a la continuidad de la atención (Chen *et al*., 2020; Guimarães, 2012). Para dimensionar adecuadamente estos equipos, se han identificado en la bibliografía algunas variables críticas que deben tenerse en cuenta.

Así pues, la primera variable crítica que influye en la dotación de personal del equipo de mantenimiento de edificios es la complejidad de los sistemas instalados. En los hospitales, además de los sistemas convencionales de infraestructura del edificio, como la iluminación, laenergía eléctrica y la hidráulica, existe un conjunto de sistemas especializados que requieren una atención continua y altamente cualificada, tales como los sistemas de aire acondicionado, los sistemas de control de infecciones, los sistemas de gas medicinal, los sistemas de ventilación presurizada en quirófanos, además de redes eléctricas redundantes y sistemas de generación de energía para emergencias hidráulicas (Karman, Fiorentini y Karman, 1995; Lavy y Bilbo, 2009).

La presencia de estos sistemas exige contar con profesionales con formación específica para cada área técnica, lo que significa que la composición del equipo no debe basarse únicamente en el número de profesionales, sino también en su nivel de cualificación técnica. En un entorno hospitalario, sistemas como la ventilación, los gases medicinales y las redes eléctricas requieren técnicos especializados en cada área. Los fallos en estos sistemas pueden tener graves consecuencias, como la interrupción de procedimientos críticos o riesgos para la salud de pacientes y empleados, lo que refuerza la necesidad de contar con un equipo de mantenimiento de instalaciones altamente especializado y formado (Dejaco, Gramigna y Moretti, 2019; Jesumoroti, Olanrewaju y Khor, 2022).

Por lo tanto, otro aspecto relevante a la hora de determinar el tamaño del equipo es la especialización necesaria de los profesionales. Así pues, a la hora de determinar el tamaño del equipo también se debe dar prioridad a la cualificación técnica y a la formación continua de los profesionales implicados, de conformidad con la normativa nacional, como las normas NR-4, NR-10, NR-12 e NR-33 de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2018; 2019; 2020; 2021).

Otro factor fundamental señalado por Xenos (1998) es la frecuencia de los mantenimientos preventivos y correctivos. Para que un hospital funcione de forma eficiente y segura, es fundamental adoptar un enfoque proactivo mediante mantenimientos preventivos periódicos. En lo que respecta a los equipos de mantenimiento de las instalaciones hospitalarias, deben tenerse en cuenta factores clave, como la carga de trabajo asociada a las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, el tiempo medio de respuesta ante averías y la cualificación técnica necesaria para gestionar los distintos sistemas presentes en el hospital (Fotovatfard y Heravi, 2021). Además, en los hospitales, el tiempo de respuesta para solucionar fallos imprevistos es fundamental, especialmente cuando se trata de sistemas que afectan directamente a la vida de los pacientes, como los sistemas de soporte vital o el suministro eléctrico. Por lo tanto, debe haber un número suficiente de técnicos disponibles no solo para llevar a cabo las actividades preventivas, sino también para responder rápidamente a cualquier emergencia o fallo operativo que requiera una intervención inmediata.

La dimensión del área construida y la dispersión de los equipos críticos en los diferentes sectores del hospital son variables fundamentales a la hora de determinar el tamaño de los equipos de mantenimiento hospitalario, especialmente en hospitales de gran tamaño. La complejidad y la extensión física de las instalaciones, que incluyen unidades de cuidados intensivos, quirófanos, laboratorios y áreas de apoyo, exigen una planificación estratégica para garantizar que el equipo de mantenimiento cuente con la dotación de personal y la distribución adecuadas para atender todas estas áreas de manera eficiente (Guimarães, 2012; Dejaco, Gramigna y Moretti, 2019). Según Xenos (1998), la distribución del equipo de mantenimiento debe tener en cuenta tanto el grado de criticidad de los equipos como la ubicación física de los activos, lo que puede reducir significativamente el tiempo de respuesta en caso de avería. Este enfoque se ve respaldado por estudios que indican que la creación de subequipos especializados, asignados en función de la importancia de los sistemas y la proximidad a las áreas críticas del hospital, permite una mayor rapidez y eficacia en las intervenciones (Fotovatfard y Heravi, 2021). Además, la distribución de los equipos en función de zonas geográficas dentro del hospital, tal y como sugiere Wong, Olanrewaju y Lim (2021), facilita la realización de tareas de mantenimiento de forma ágil y minimiza el impacto de las interrupciones en los servicios esenciales, lo que refuerza la importancia de una gestión estructurada del mantenimiento para optimizar los recursos y mejorar la seguridad operativa de los entornos hospitalarios.

El uso de indicadores de rendimiento (KPIs) es ampliamente recomendado como herramienta para la evaluación continua de la eficacia de los equipos de mantenimiento. Indicadores como **tiempo medio de**

respuesta a las órdenes de servicio correctivas, frecuencia de los mantenimientos preventivos y tasa de reincidencia de averías permiten ajustar la dotación y la distribución del personal en función de las necesidades operativas (Fotovatfard y Heravi, 2021). Según estudios realizados por Xenos (1998), el análisis de estos indicadores es fundamental para garantizar que el equipo de mantenimiento atienda las necesidades del hospital de manera eficiente y esté preparado para intervenir rápidamente en los sistemas críticos. Además, estudios recientes han demostrado que los hospitales que adoptan sistemas automatizados de monitorización logran identificar y resolver los problemas con mayor rapidez, lo que aumenta la eficiencia del equipo y reduce el número de órdenes de servicio correctivas (Ebiloma, Aigbavboa y Anumba, 2023).

El estudio de Enshassi y El Shorafa (2015), realizado en la Franja de Gaza, destaca que la determinación de las necesidades de personal para el mantenimiento de los edificios hospitalarios debe basarse en indicadores de rendimiento, como el **Maintenance Efficiency Indicator (MEI)**, que mide la eficiencia de los recursos asignados en relación con el estado físico de los edificios. Según los autores, "el MEI proporciona una indicación cuantitativa de la eficacia con la que se llevan a cabo las actividades de mantenimiento, lo que permite ajustar la asignación de recursos y dar prioridad a las estrategias preventivas" (Enshassi y El Shorafa,2015, p. 222). Este enfoque es esencial para garantizar el equilibrio entre las necesidades correctivas y preventivas, evitando sobrecargas y optimizando el rendimiento de los equipos de mantenimiento. El enfoque tiene en cuenta la variabilidad de las condiciones de los edificios y la complejidad de los sistemas hospitalarios, y demuestra que una planificación inadecuada puede sobrecargar a los profesionales con necesidades urgentes, lo que compromete la eficiencia y la funcionalidad de las instalaciones. El uso de KPIs permite optimizar el rendimiento de los equipos, adaptando los recursos humanos a las necesidades específicas de los centros sanitarios, lo que favorece un mantenimiento más eficaz y económico.

Una metodología de dimensionamiento debe cumplir con las normas reglamentarias nacionales e internacionales aplicables, como la NR-4, NR-12 e NR-33, que establecen normas de seguridad y procedimientos específicos para las instalaciones y las actividades de mantenimiento de edificios. Las normativas específicas para entornos hospitalarios, como las de la Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), también sirven de guía para la planificación y la ejecución de las tareas de mantenimiento (ABNT, 2018; ABNT, 2019; ABNT, 2020; ABNT, 2021).

La literatura sugiere, además, que la determinación del tamaño del equipo de mantenimiento hospitalario debe ser un proceso dinámico,

que se revise periódicamente para adaptarse a los cambios en el entorno hospitalario, como la introducción de nuevos equipos y la ampliación de las áreas de atención (Chen *et al*., 2020). En este sentido, es fundamental que el dimensionamiento incluya un margen de seguridad, dado el carácter impredecible de muchas intervenciones hospitalarias, además de la posibilidad de que se produzcan crisis sanitarias y situaciones de emergencia, que pueden requerir respuestas rápidas y precisas (Xenos, 1998; Karman, 1994).

Según con Picchiai (2009), investigador del Programa de Estudios Avanzados en Gestión Hospitalaria y Sistemas de Salud (PROAHSA), Coelho (2006) destaca la importancia estratégica de planificar adecuadamente el mantenimiento de los edificios para garantizar el funcionamiento continuo de las infraestructuras hospitalarias. En este contexto, la externalización se señala como una práctica eficaz, y se recomienda la presencia de profesionales, como ingenieros civiles, electricistas y albañiles, a razón de un equipo por cada 200 camas hospitalarias, con el objetivo de atender tanto las necesidades rutinarias como las de emergencia (Picchiai, 2009, p. 142). Picchiai (2009) también relata que Coelho (2006) destaca la necesidad de planificar el sector del mantenimiento teniendo en cuenta las particularidades de las infraestructuras hospitalarias, como el parque tecnológico instalado y la cualificación de los profesionales implicados. Además, la supervisión técnica, que a menudo llevan a cabo ingenieros, se considera esencial para coordinar las actividades de mantenimiento de los edificios y los equipos, evitando que se vean afectados los servicios hospitalarios (Picchiai, 2009, p. 142).

La RDC nº 2/2010 de la Anvisa (BRASIL, 2010) establece los requisitos esenciales para la infraestructura física de los servicios sanitarios, con el objetivo de garantizar la seguridad, la funcionalidad y unas condiciones higiénico-sanitarias adecuadas. Aunque aborda aspectos relacionados con el mantenimiento de los edificios, la resolución no ofrece directrices específicas sobre la dotación de personal de mantenimiento. Esta laguna refuerza la necesidad de contar con metodologías específicas que tengan en cuenta las particularidades del entorno hospitalario.

Por su parte, la ABNT NBR 5462:1994, que abarca la fiabilidad y el mantenimiento, presenta definiciones de términos y conceptos fundamentales para la gestión y el análisis de sistemas, equipos e instalaciones. Aunque esta norma no aborda directamente el dimensionamiento de equipos, proporciona una base teórica valiosa para la toma de decisiones en este ámbito. Sin embargo, su aplicabilidad suele estar más orientada a contextos industriales que al entorno hospitalario.

5. Consideraciones finales

El mantenimiento de los edificios hospitalarios es una actividad esencial para garantizar la seguridad de los pacientes, la continuidad de los servicios y la eficiencia de la infraestructura sanitaria. Este estudio ha puesto de manifiesto una laguna significativa en la producción científica nacional sobre la dotación de personal en este sector, especialmente en las grandes instituciones públicas. El análisis bibliométrico ha puesto de manifiesto que la literatura se concentra en los países desarrollados, lo que dificulta la aplicación directa de sus modelos al contexto brasileño, caracterizado por retos específicos de carácter técnico, operativo y normativo.

Ante este panorama, se propone el desarrollo de metodologías propias, basadas en datos históricos, indicadores de rendimiento y normativas aplicables, con el fin de orientar la planificación eficiente de los equipos de mantenimiento. Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en el análisis empírico en los hospitales brasileños, contribuyendo así a la formulación de directrices más adaptadas a la realidad local. La gestión eficaz del mantenimiento hospitalario debe reconocerse como una estrategia fundamental para la calidad asistencial y la sostenibilidad de los servicios sanitarios.

Referencias

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. Journal of Informetrics, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007. Acesso em: 05 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e manutenção**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5674: Manutenção de edificações** – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **RDC nº 2, de 25 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os requisitos mínimos para a infraestrutura física de serviços de saúde**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 jan. 2010. Disponível em: https://www.in.gov.br. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-4 – Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho**. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-33 – Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados**. Brasília, 2020.

CHEN, Dan *et al*. **An indicator system for evaluating operation and maintenance management of mega infrastructure projects in China**. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 17, n. 24, p. 9589, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17249589. Acesso em: 5 jul. 2025.

CISNE, Vandeilson do Nascimento; ALBUQUERQUE JUNIOR, Carlos Roberto Falcão. **Planejamento estratégico para implantação de uma gestão de excelência de manutenção predial e facilities com o aporte do PPCGM**. In: XLI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu, 2021. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_354_1822_41893.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

DEJACO, M. C.; GRAMIGNA, M.; MORETTI, N. **Plant maintenance in hospitals facilities**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 296, p. 012030, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012030. Acesso em: 5 jul. 2025.

EBSERH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares. **Gestão de manutenção predial hospitalar para os hospitais da rede Ebserh**. 1. ed. Brasília: EBSERH, 2022.

ENSHASSI, Adnan Ali; EL SHORAFA, Farida. **Key performance indicators for the maintenance of public hospitals buildings in the Gaza Strip**. Facilities, v. 33, n. 3/4, p. 206-228, 2015.

FOTOVATFARD, Armaghan; HERAVI, Gholamreza. **Identifying key performance indicators for healthcare facilities maintenance**. Journal of Building Engineering, v. 42, p. 102838, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102838. Acesso em: 5 jul. 2025.

GOMES, Aline Neves. **Gestão na manutenção predial hospitalar: uma análise bibliométrica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO DO EDIFÍCIO HOSPITALAR – CBDEH, 10., 2024, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABDEH, 2024. p. 74-82.

GUEDES, Vânia L. S.; BORSCHIVER, Suzana. **Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento em sistemas de informação, comunicação e avaliação científica**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 6., 2005, Salvador. Anais [...]. Salvador: ICI/UFBA, 2005. Disponível em: https://cinform-nteriores.ufba.br/vi_anais/docs/VaniaLSGuedes.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

GUIMARÃES, José Mauro Carrilho. **A problemática da manutenção predial e de equipamentos em estabelecimentos de saúde pública do município do Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Profissional em Saúde) – Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/8811. Acesso em: 5 jul. 2025.

JESUMOROTI, Christtestimony; OLANREWAJU, AbdulLateef; KHOR, Soo Cheen. **Defects in Malaysian hospital buildings**. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2022. DOI: 10.1108/IJBPA-12-2021-0166.

KARMAN, Jarbas. **Manual de manutenção hospitalar – Manutenção Preditiva**. São Paulo: Pini, 1994.

KARMAN, Jarbas; FIORENTINI, Domingos; KARMAN, Jarbas N. M. **Manutenção incorporada à arquitetura hospitalar**. Brasília: Ministério da Saúde/SAS, 1995. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manut_hospit.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

LAVY, Sarel; BILBO, David L. **Facilities maintenance management practices in large public schools.** Facilities, v. 27, n. 1/2, p. 5-20, 2009.

LI, Yongkui *et al*. **Automated analysis and assignment of maintenance work orders using natural language processing**. Automation in Construction, v. 165, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105501. Acesso em: 5 jul. 2025.

PICCHIAI, Djair. **Parâmetros e indicadores de dimensionamento de pessoas em hospitais**. Relatório de pesquisa. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

PRITCHARD, Alan. **Statistical bibliography or bibliometrics?** Journal of Documentation, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

WONG, Wai Fang; OLANREWAJU, AbdulLateef; LIM, Poh Im. **Value-Based Building Maintenance Practices for Public Hospitals in Malaysia**. Sustainability, v. 13, n. 11, p. 6200, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13116200. Acesso em: 5 jul. 2025.

XENOS, Harilaus G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

Autores

Aline Neves Gomes Jefa del Servicio de Obras e Instalaciones del Instituto Nacional del Cáncer (INCA) y máster en Sistemas de Gestión por la Universidad Federal Fluminense (UFF). Cuenta con diez años de experiencia en el INCA, con especialización en la gestión integrada del mantenimiento de edificios hospitalarios. Trabajó durante seis años en la Beneficente Portuguesa do Pará, también en el ámbito de la arquitectura hospitalaria. Es graduada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Federal de Pará (UFPA) y posee una Licenciatura Plena en Matemáticas por la Universidad del Estado de Pará (UEPA).

E-mail: ang@alprojetos.com

Marcelo J. Meiriño Arquitecto y Urbanista por la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), con maestría y doctorado en Ingeniería Civil por la Universidad Federal Fluminense (UFF). Ingeniero de Seguridad en el Trabajo y especialista en Eficiencia Energética, trabaja en el desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles. Es profesor de la UFF en los programas de maestría y doctorado en Sistemas de Gestión y coordina el Núcleo de Innovación y Tecnología para la Sostenibilidad (NITS/UFF). Coordina el Grupo de Investigación en Innovaciones y Sostenibilidad (CNPq/UFF) y el Congreso Nacional de Excelencia en Gestión. Fue becario del Programa Internacional de Visitantes Líderes (IVLP) del Departamento de Estado de los Estados Unidos. Se desempeña como consultor en proyectos de investigación y desarrollo (I+D) de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) y en revistas científicas indexadas.

E-mail: marcelojm@id.uff.br

Fábio Aquino Administrador graduado por la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ), con maestría y doctorado en Sistemas de Gestión por la Universidad Federal Fluminense (UFF). Trabajó durante 12 años en el sector privado, en las áreas financiera e inmobiliaria. Fue jefe de la Sección de Compras y de la División de Investigación de la Pro Rectoría de la UFF, donde actualmente también desempeña funciones de dirección. Se desempeñó como gestor público de contratos en el legado olímpico (2021–2023). Fue docente en la Facultad Paraíso y actualmente es profesor con dedicación de 40 horas semanales en el CEFET/RJ. Cuenta con publicaciones en congresos y revistas científicas, así como experiencia en la organización de eventos académicos.

E-mail: faquin98@gmail.com

Artículo

El aporte de las tecnologías digitales al desarrollo de proyectos destinados a satisfacer las necesidades de información necesarias para el funcionamiento y el mantenimiento de los activos hospitalarios

Autora

Adriana Tonani Mazzieiro Universidad Federal de Minas Gerais – UFMG

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.02

Resumen

Los hospitales son edificios complejos que requieren una gestión sistemática y altamente precisa de las operaciones y el mantenimiento. Esta investigación aborda las características específicas de estas unidades asistenciales y analiza cómo las tecnologías digitales pueden contribuir al desarrollo de proyectos cuyo objetivo sea satisfacer los requisitos de información necesarios para esta fase del ciclo de vida del activo. La metodología es exploratoria y parte de una revisión bibliográfica, seguida de un estudio de dos casos que consideran distintas tecnologías digitales para el desarrollo de proyectos y el registro de la información necesaria para la gestión de instalaciones. Aunque los ejemplos aplican diversas tecnologías digitales, coinciden en que la información que debe conservarse y registrarse para su uso futuro está presente desde la fase de diseño, al inicio del ciclo de vida del activo, continúa durante la fase de construcción y finalmente se entrega para la fase de operación y mantenimiento.

Palabras clave:

tecnologías digitales, hospitales, gestión de instalaciones, operación y mantenimiento.

1. Introducción

Los hospitales presentan estructuras funcionales complejas que exigen una gran atención por parte de los responsables de su gestión en lo que respecta a los sistemas de infraestructuras físicas y de equipamiento médico. Con el desarrollo y la creciente especialización de las distintas áreas de la medicina, los edificios hospitalarios deben adaptarse, cada vez más, a una distribución arquitectónica diversificada que satisfaga todas las exigencias de una atención sanitaria de alta calidad.

Esta especificidad de los edificios hospitalarios exige a los arquitectos y urbanistas una visión sistémica del objeto arquitectónico, capaz de dar respuesta a las complejidades físico-funcionales del edificio hospitalario, sin prescindir de las cualidades de humanización y del entorno confortable necesarias para el bienestar de los pacientes, teniendo en cuenta el paradigma contemporáneo de los hospitales como lugares de recuperación de la salud.

La cantidad de información que hay que almacenar, tanto en lo que respecta a las infraestructuras físicas como a los equipos médicos hospitalarios, ha crecido de forma exponencial, y la necesidad de organizar dicha información de manera objetiva y sistemática es imprescindible para que el funcionamiento y el mantenimiento de los hospitales se desarrollen de forma eficaz.

El avance de las tecnologías digitales para el diseño, el registro y el almacenamiento de información sobre los activos construidos, que ya se ha visto facilitado por la aparición de las plataformas CAD – *Computer-Aided Design* – ha cambiado y se ha ampliado de forma significativa con la aparición de las plataformas BIM – *Building Information Modeling*, ya que no solo se registran los datos geométricos de los edificios, sino también la información pertinente y seleccionada para su uso futuro, que puede estar disponible en el modelo tridimensional.

Así, la posibilidad de actuar con precisión en las tareas de funcionamiento y mantenimiento de los edificios hospitalarios ha ganado en eficacia, ya que la información necesaria para resolver cualquier incidencia que pueda surgir estará a disposición del usuario de forma más directa, lo que garantiza una mayor rapidez y calidad en la respuesta de los servicios prestados a los pacientes.

2. Justificación

La elección del tema se basó en la constatación de la importancia de la fase de funcionamiento y mantenimiento de los activos hospitalarios, derivada de la observación directa de sus procesos, experimentada

en diversas unidades asistenciales en las que he podido trabajar como profesional junto a equipos de mantenimiento y funcionamiento, y de la revisión bibliográfica actualizada sobre el tema, en la que se demuestra su relevancia y cómo las tecnologías digitales pueden contribuir a la mejora de dicha gestión.

En esta investigación, se parte de la premisa de que el ciclo de vida de un activo hospitalario comienza con el estudio de viabilidad del proyecto y se desarrolla a lo largo de las siguientes fases: el proyecto arquitectónico y el resto de proyectos de ingeniería, la construcción, la puesta en servicio, la explotación y el mantenimiento, hasta que, un día, si sus características constructivas ya no se ajustan a sus usos, pueda rehabilitarse mediante reformas, desmontarse o demolerse.

Debido a su elevada complejidad físico-funcional, los hospitales son edificios en los que la gestión del patrimonio inmobiliario debe estar en consonancia con los procesos más avanzados de explotación y mantenimiento, con el fin no solo de obtener buenos resultados operativos, sino, sobre todo, de dar respuesta a la urgencia que presentan algunas situaciones de mantenimiento. Como mencionado por el profesor Jarbas Karman, en su obra *Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas*:

> El hospital se considera uno de los proyectos más complejos desde el punto de vista arquitectónico, de ingeniería, de instalaciones, de equipamiento, de seguridad, así como de tecnología y de gestión. Sus equipos, aparatos, instalaciones y suministros se utilizan de forma continua y constante. (Karman, 2011, p.41).

Por lo tanto, los arquitectos y urbanistas deben preocuparse por establecer, desde la fase de diseño conceptual de los hospitales, una serie de premisas que puedan ayudar, en el futuro, a los equipos de explotación y mantenimiento en los procesos de gestión de los activos hospitalarios. Además, estas premisas deben tenerse en cuenta en la elaboración de los proyectos ejecutivos de todas las disciplinas y, posteriormente, en la fase de construcción, por lo que es necesario registrarlas *as-built* las modificaciones que se hayan producido durante las obras, para que los datos resultantes estén actualizados y constituyan una fuente de información fiable para la fase de explotación y mantenimiento.

En los últimos años se han producido impresionantes incendios en hospitales brasileños, como los de septiembre de 2019 en el Hospital Badim, que causaron la muerte de 25 pacientes. Se han registrado otros incidentes: uno en octubre de 2020, en el Hospital Municipal Lourenço Jorge, a causa de un cortocircuito en el cuadro de disyuntores que, afortunadamente, se logró controlar; y otro en el edificio 1 del Hospital Federal de Bonsucesso, en la zona norte de Río de Janeiro, en el que se evacuó a 200 pacientes del edificio y, lamentablemente, dos personas

fallecieron a causa de este siniestro. En Belo Horizonte, en la Santa Casa de Misericórdia, el mayor hospital del estado con 1.200 camas, la UCI de la décima planta se incendió debido a una fuga de oxígeno relacionada con un equipo; los pacientes fueron trasladados a la calle en camillas y sillas de ruedas, lo que provocó el fallecimiento de tres pacientes y la hospitalización de 25 empleados que ayudaron a evacuar a las personas, por inhalación de humo[1].

Debido a la gravedad de los incidentes y a la recurrencia de las emergencias operativas en los hospitales brasileños, es imprescindible que los proyectos tengan en cuenta la importancia de comprender los requisitos de información necesarios para la fase de explotación y mantenimiento de los edificios sanitarios, así como el establecimiento de premisas y estrategias de diseño, mediante la adopción de una metodología que garantice la integridad de los datos necesarios para hacer frente a las situaciones cotidianas de mantenimiento, así como a las situaciones de riesgo, minimizando al máximo las pérdidas derivadas de ellas.

3. Objetivo

El propósito de este artículo es demostrar cómo las tecnologías digitales pueden contribuir a la fase de explotación y mantenimiento de los hospitales, tanto en edificios que se someten a reformas para su rehabilitación física como en edificios de nueva construcción.

4. Metodología

La metodología de investigación adoptada para este trabajo fue de carácter exploratorio (Gil, 2002, p. 41), partiendo de una revisión bibliográfica cualitativa sobre la importancia de la fase de explotación y mantenimiento en el ciclo de vida de los activos hospitalarios y sobre cómo las tecnologías digitales pueden contribuir al cumplimiento de los requisitos necesarios para los procesos derivados de dicha fase. A continuación, se utilizó un análisis de ejemplos que facilitan la comprensión de la importancia de tener en cuenta los requisitos de información para la gestión de los activos ya en la fase inicial de desarrollo de los proyectos arquitectónicos.

5. Revisión bibliográfica

Los edificios hospitalarios requieren procesos constantes de funcionamiento y mantenimiento, dada su complejidad y la intensidad de uso de sus estructuras físico-funcionales. Muchos edificios hospitalarios existentes necesitan medidas constantes de rehabilitación de sus

1 Todos los casos mencionados ponen de manifiesto la necesidad de tener en cuenta la importancia del acceso inmediato a la información relativa a las instalaciones de infraestructura física y de contar con un sistema integrado de seguimiento del mantenimiento y el funcionamiento, lo que permite aumentar la calidad y la eficiencia de las operaciones.

espacios, debido a su deterioro físico o a su inadecuación a las nuevas exigencias funcionales, y carecen de registros mínimos con información suficiente para dar un apoyo adecuado a la fase de funcionamiento y mantenimiento.

> Cada vez más, el hospital se revela como *una obra en constante construcción y una institución a la espera de su finalización*: se suceden modificaciones, innovaciones, avances tecnológicos, cambios, reformas y nuevas obras; los equipos y las instalaciones se sustituyen con mayor frecuencia; la vida útil de los productos y la lucha contra la obsolescencia física y funcional cobran mayor relevancia, lo que genera la necesidad de respuestas, planificación, medidas e inversiones cada vez más ágiles (Karman, 2011, p.45).

Proporcionar la información necesaria para la gestión de activos debe ser una prioridad para la alta dirección[2] de las instituciones hospitalarias, que deben determinar, dentro de su estructura organizativa, cuáles son los requisitos de información necesarios para que los procesos de funcionamiento y mantenimiento se desarrollen de forma eficaz (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

A la hora de registrar esta información, los proyectos deben, necesariamente, cuando aún se desarrollan en CAD[3], ser compatibles con el resto de asignaturas y documentarse, aunque sea en forma de diseños 2D, hojas de cálculo o tablas, las ubicaciones y la información de las principales infraestructuras que se gestionarán en la fase de explotación y mantenimiento, de modo que el acceso a los datos esenciales para dicha fase se vea facilitado por el registro completo de las redes y los equipos existentes en el edificio.

Este escenario de uso de tecnologías digitales en CAD – *Computer-Aided Design* sigue siendo una realidad en Brasil, en la mayoría de los hospitales, ya que la migración de las tecnologías digitales de los proyectos al BIM – *Building Information Modeling* requiere una gran inversión en hardware, software y formación del personal para su uso, lo que exige una planificación y un presupuesto a largo plazo para su implantación. Una vez adoptado el BIM, el modelo podrá utilizarse, siempre que se haya desarrollado y preparado para ello, con el fin de cumplir los requisitos de información necesarios para la gestión de activos integrada en el sistema de mantenimiento y operación, lo que supondrá un salto cualitativo en este proceso.

La etapa de gestión de los activos construidos es la de mayor duración del ciclo de vida de un edificio y, por consiguiente, la que supone un mayor costo.

> Centrándonos en la fase de uso y explotación del ciclo de vida de un proyecto, se considera que es la más costosa por ser la más prolongada en comparación con las demás. En consecuencia, es la etapa que más se

2 Según la norma ABNT NBR ISO19650, la alta dirección debe determinar el AIR – Asset Information Requeriment, para que se cumplan los requisitos de información sobre el activo en el modelo AIM – Asset Information Model, en la etapa de operación y mantenimiento, cuando se utiliza la metodología BIM.

3 Aunque el sector de la construcción está avanzando hacia la implantación del BIM en todos los sectores de la economía, el sector sanitario sigue enfrentándose a diversas dificultades a la hora de adoptarlo, lo que no puede comprometer el registro de la información necesaria para la fase de funcionamiento y mantenimiento de los hospitales; por ello, también resulta necesario seguir recurriendo a las tecnologías CAD.

> beneficia de disponer de un historial de información estructurado, ya que acumula datos sobre la evolución del proyecto desde la fase de concepción. En esta fase se genera información específica que puede utilizarse para mejorar el rendimiento de los proyectos, como: solicitudes de servicios, programas de mantenimiento, informes de inspecciones, tiempo de inactividad y costes operativos. (Mota; Moreira, 2025)

En vista de la longevidad característica de los edificios construidos y, sobre todo, de los elevados costes de las inversiones globales en construcción e instalación de equipos en los edificios hospitalarios, resulta imprescindible potenciar una gestión eficiente de su patrimonio físico y de sus equipos médicos, no solamente para preservar sus resultados operativos, sino, sobre todo, para garantizar una atención segura y de calidad a sus usuarios.

La gestión de activos en Brasil se rige por una serie de normas técnicas traducidas de la serie internacional ISO 55000X. Los activos pueden incluir cualquier cosa que tenga un valor real o potencial, tangible o intangible, financiero o de otro tipo[4]. La norma brasileña ABNT NBR ISO 55000 define la terminología, la visión general y los principios con el fin de alcanzar los resultados esperados para un proceso eficaz de gestión de activos (ABNT NBR ISO 55000, 2024).

> La gestión de activos puede entenderse como la gestión de inventarios, instalaciones y equipos mediante registros que recogen información. [...] Estos activos, que consisten en el edificio físico, los sistemas, el entorno y los equipos, deben mantenerse, actualizarse y gestionarse con una eficiencia que satisfaga tanto al propietario como a los usuarios de la forma más económica posible. (Mota; Moreira, 2025)

En la gestión de activos hospitalarios, la administración de *facilities* y la ingeniería clínica son, desde un punto de vista estratégico, las más importantes para la fase de funcionamiento y mantenimiento, ya que afectan directamente a la seguridad, la integridad física de los usuarios y la calidad de la prestación asistencial. Los procesos de registro de la información relativa a las infraestructuras físicas y los equipos médicos pueden variar en función de la tecnología digital aplicada, pero los tipos de información que deben almacenarse pueden sistematizarse y estandarizarse independientemente de la metodología adoptada.

Según la IFMA – *International Facility Management Association*, la gestión de *facilities* "es un campo del conocimiento cuya función organizativa consiste en integrar a las personas, los lugares y los procesos dentro del entorno construido, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas y la productividad del actividad principal" (IFMA, 2025, traducción propia).

En la Norma Brasileña ABNT NBR ISO 41018:2023, el concepto de gestión de *facilities* es "la que integra múltiples disciplinas para influir en la

4 En el caso de este trabajo, destacan los activos con valores reales y tangibles como los más importantes para su registro en los proyectos, tanto en 2D como en modelos BIM, ya que el enfoque principal de la operación y el mantenimiento hospitalarios, en esta investigación, se centra en las infraestructuras físicas de los edificios y en los equipos médicos necesarios para prestar una asistencia sanitaria de calidad en las instituciones sanitarias.

eficiencia y la productividad de las economías de las organizaciones, las sociedades y las comunidades, así como en la forma en que los individuos interactúan con el entorno construido".

A nivel operativo, la gestión de *facilities* es responsable de gestionar todas las infraestructuras físicas necesarias para que un edificio funcione con la máxima eficiencia y seguridad.

Por su parte, la gestión de la ingeniería clínica, según la Abeclin – Associação Brasileira de Engenharia Clínica,

> "es el campo del conocimiento que se ocupa de las técnicas de ingeniería aplicadas a la gestión de equipos sanitarios con el objetivo de garantizar la trazabilidad, la facilidad de uso, la calidad, la eficacia, la efectividad, la seguridad y el rendimiento de dichos equipos, con el fin de promover la seguridad de los pacientes" (ABECLIN, 2025).

A nivel operativo, la ingeniería clínica garantiza el perfecto funcionamiento de los equipos médicos.

Con respecto a la información sobre los activos que deben gestionarse en la fase de explotación y mantenimiento, la Norma Británica BS 8210:2012 establece una lista de los principales registros que deben gestionarse. Según la norma, los datos de los activos deben incluir información como: el número de identificación, la ubicación, la vida útil prevista, la descripción detallada, el modelo y el fabricante, la fecha de fabricación, el proveedor, la fecha de adquisición y de instalación, el costo, las piezas y el ciclo de sustitución, el consumo energético, la amortización y el valor final tras la amortización, el ciclo de mantenimiento, así como el coste y el tipo de formación necesaria para el operario de mantenimiento (BS 8210:2012 *apud* Mota; Moreira, 2025, p.188).

Estos datos pueden estar registrados en los sistemas de gestión del mantenimiento hospitalario, CAFM – *Computer Aided Facility Management/ CMMS – Computerized Maintenance Management Systems*, que gestionan las infraestructuras y las órdenes de servicio de mantenimiento de forma habitual, o que están integrados en sistemas más avanzados, que establecen la conexión entre los sistemas FM – *Facility Management* y el modelado BIM para gestión de activos. La ventaja de contar con un modelo AIM – *Asset Information Model* de la edificación, tal y como se define en la Norma Brasileña ABNT NBR ISO 19650-1:2025 como el modelo de información relacionado con la fase de explotación de un activo es que asocia datos geométricos con datos no geométricos, además de incluir la información necesaria para una gestión más sistemática de los procesos implicados (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

Los sistemas FM – *Facility Management*, que permiten la integración con modelos AIM – *Asset Information Model*, pueden facilitar esta conexión de diferentes maneras: directamente, en la que los modelos BIM, en formatos

nativos o abiertos ".ifc" – *Industry Foundation Classes*, se pueden integrar en los sistemas; mediante una conexión a través del desarrollo de una API – *Application Programming Interface*, una interfaz que facilita el intercambio de información y la integración de funcionalidades; o de forma indirecta, utilizando el COBie – *Construction Operations Building Information Exchange*, un MVD – *Model View Definition*, subconjunto del ".ifc" que selecciona del modelo únicamente la información necesaria para la fase de explotación y mantenimiento, proporcionando datos no geométricos intercambiables entre el modelo AIM y los sistemas FM – *Facility Management*.

> COBie – *Construction Operations Building Information Exchange* es una especificación para la recopilación y entrega de información sobre proyectos y obras a los gestores de *facilities*. Las especificaciones COBie se pueden recopilar utilizando una hoja de cálculo o un programa compatible con COBie. (BIM Dictionary, 2025, traducción propia)

En los ejemplos que se presentan a continuación se podrán comprender las premisas que pueden adoptarse desde la fase inicial del proyecto arquitectónico para cumplir con los requisitos de información necesarios para la fase de explotación y mantenimiento de los activos, así como las diferentes aportaciones de las tecnologías digitales que pueden ser de ayuda en esta fase del ciclo de vida de los proyectos hospitalarios.

6. Estrategias de proyecto para cumplir los requisitos de información con vistas a la fase de explotación y mantenimiento de los activos hospitalarios

6.1 Caso A – Recualificación del edificio del antiguo Hospital Hilton Rocha: tecnología digital incorporada: CAD – Computer-Aided Design

El Hospital Hilton Rocha, en Belo Horizonte, fue diseñado por el arquitecto y profesor Jarbas Karman en la década de los 70. El edificio funcionó como Instituto Hilton Rocha, un hospital dedicado a tratamientos oftalmológicos, y cerró sus puertas en el año 2002, años después del fallecimiento del Dr. Hilton Rocha en 1993, por motivos económicos. En 2009, fue adquirido en una subasta pública por un grupo de médicos y, a partir de 2017, se llevó a cabo el proyecto aprobado de reforma y ampliación para su reestructuración física. En la figura 1 se puede ver el hospital tal y como era antes de su reforma y ampliación.



Figura 1 . El Hospital Hilton Rocha antes de la reforma y la ampliación. Fuente: archivo de los arquitectos responsables de la reforma y la ampliación del hospital, 2011.

Aunque, en el sector de la construcción, la transformación digital mediante el uso del BIM ya se había puesto en marcha cuando se iniciaron los planes de reforma y ampliación del hospital, por decisión de los propietarios, los proyectos se desarrollaron en CAD. A pesar de utilizar una tecnología digital, sin recurrir a modelos geométricos, se adoptaron algunas premisas de diseño para cumplir con los requisitos de planificación del hospital, con vistas a las fases de explotación y mantenimiento del edificio, distribuidas en las siguientes etapas:

a. Estudio topográfico y arquitectónico del hospital existente: con el objetivo de registrar el potencial constructivo previo para determinar la capacidad del antiguo edificio a la hora de albergar las infraestructuras necesarias para dar servicio a los espacios y equipos del nuevo hospital, así como la viabilidad estructural para la construcción de las ampliaciones requeridas. El análisis derivado de estos levantamientos tuvo como objetivo investigar las cualidades preexistentes del edificio y su adecuación a la nueva configuración operativa, aprovechando al máximo sus características físicas. El registro de la estructura original, con la información sobre las dimensiones y alturas de los elementos constructivos existentes, sirvió de base para establecer la ubicación de los orificios para *shafts* de instalaciones y distribuciones horizontales de infraestructuras, de tal manera que su ubicación se rigiera por una organización estructurada, con el objetivo de registrarlas *as built* para la futura operación.

Así, los proyectos resultantes de los estudios pudieron superponerse a los planos y secciones de la nueva propuesta, con el fin de comprender la viabilidad técnica de dicha estrategia (Figura 2).

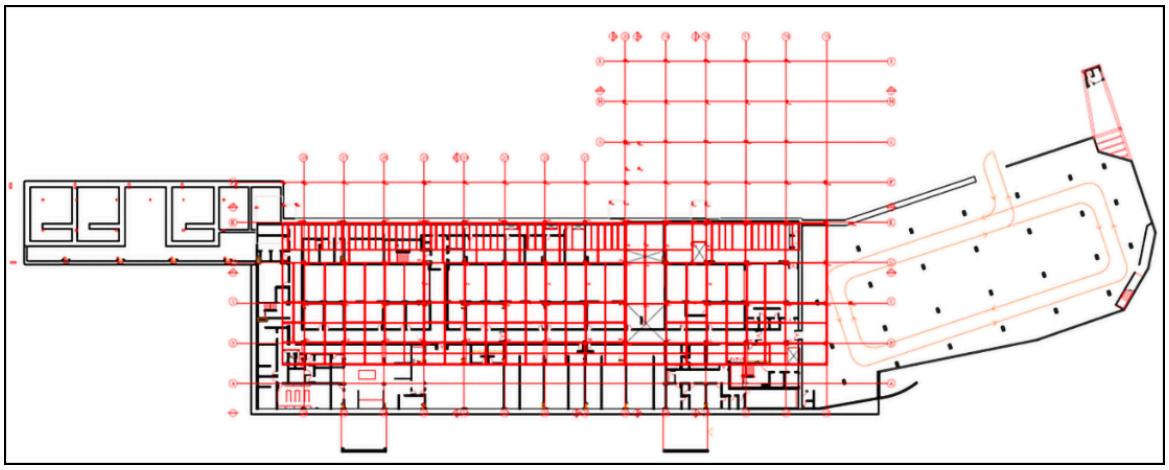


Figura 2 . Superposición de la estructura de hormigón existente y las áreas de ampliación en la segunda planta. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2017.

b. Plan director: a partir del estudio y el registro de las condiciones existentes, así como de los requisitos funcionales establecidos por los propietarios, se inició la planificación de la ubicación de los sectores asistenciales del hospital, estableciendo una lógica de correspondencias espaciales entre las áreas construidas anteriormente y las nuevas áreas previstas para la ampliación de los servicios ofrecidos, teniendo en cuenta la proximidad entre áreas con funciones afines y la privacidad de las unidades que deben estar más protegidas del público.

Con la ubicación de los nuevos sectores del hospital, fue posible determinar, desde la fase inicial del proyecto, la ubicación de las áreas estratégicas de infraestructuras del edificio y de los principales equipos médicos, que requieren intensos procesos de funcionamiento y mantenimiento. Así, los nuevos sectores se han diseñado desde el principio para facilitar el acceso para el mantenimiento, la ubicación y el dimensionamiento de las áreas técnicas, así como la proximidad a las áreas a las que dan servicio y la elección de sistemas de infraestructura adecuados a la nueva configuración del hospital. (Figura 3).

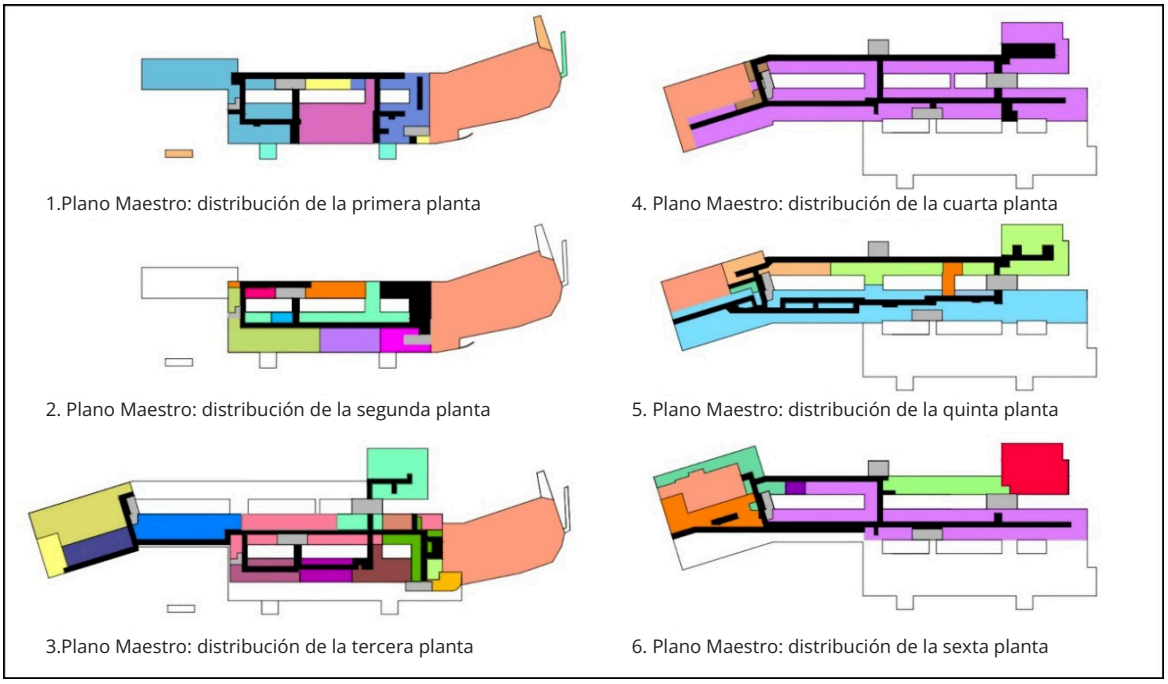


Figura 3 . Plano director con la ubicación prevista de todos los sectores funcionales y vías de circulación. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2017.

c. Desarrollo del anteproyecto arquitectónico y proceso de coordinación simultánea con las demás disciplinas: aunque se desarrollaron en CAD, para los procesos de intercambio de información se utilizó la plataforma de gestión de proyectos Autodoc, con el fin de gestionar todos los entregables y las comunicaciones entre el equipo de arquitectura, el coordinador de proyectos y el resto de proyectistas, evitando así la pérdida de datos relevantes y permitiendo un intercambio de información ágil y eficiente. Los archivos disponibles en Autodoc seguían una nomenclatura estandarizada y contaban con estados de desarrollo, aunque fueran anteriores a la norma, tal y como se recomienda para un entorno común de datos ABNT NBR ISO 19650:1-2025: trabajo en curso, compartido, publicado y archivado.

Los procesos de compatibilización, debidamente gestionados por el arquitecto responsable de la supervisión, se registraron en archivos superpuestos de planos y secciones de las distintas disciplinas implicadas en los sectores funcionales, además de documentarse en el repositorio compartido de archivos de Autodoc, de tal manera que todos los responsables de las disciplinas dispusieran de la información necesaria para resolver las interferencias entre ellas y comunicar los cambios, simultáneamente, a través del sistema (Figura 4).

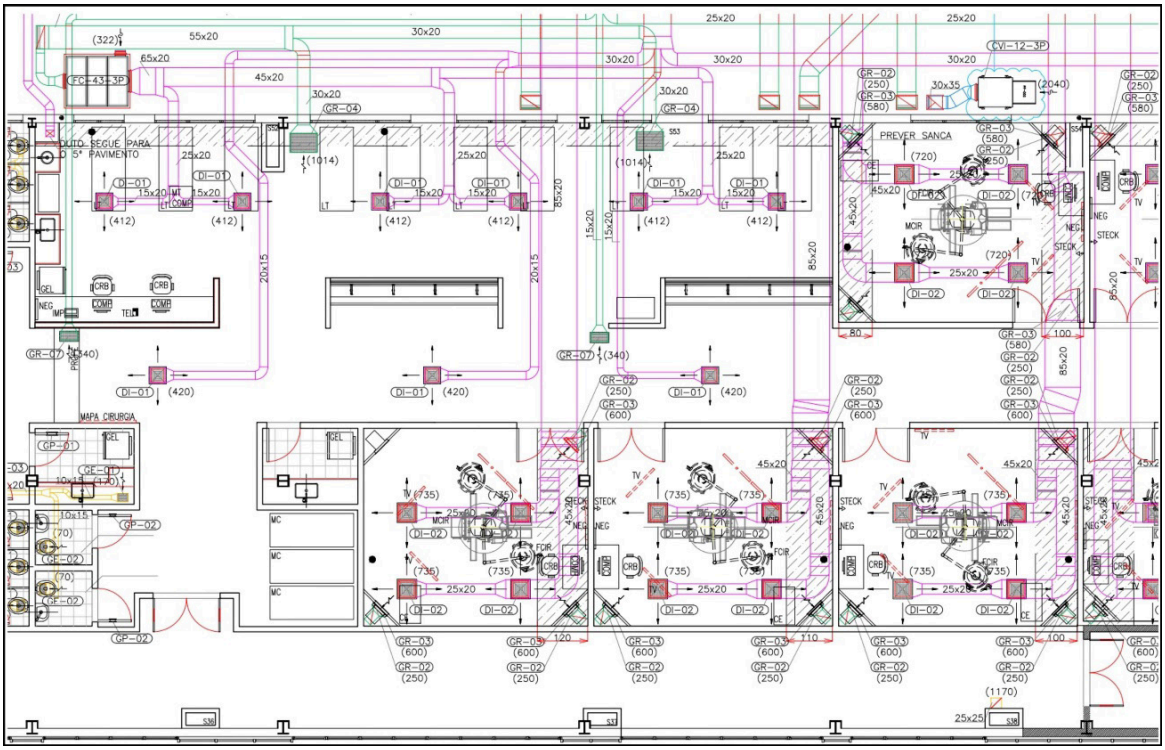


Figura 4 . Ejemplo de compatibilización de parte del sector del bloque quirúrgico ambulatorio: arquitectura x estructura x sistema de aire acondicionado. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2018.

d. En la etapa del anteproyecto, la colaboración del equipo de arquitectura con el resto de proyectistas permitió fijar las vías verticales de distribución de las infraestructuras, los *shafts*, por todo el edificio, previendo su futura caracterización mediante el registro de todas las tuberías identificadas por su ubicación en la estructura construida, con el fin de facilitar la identificación de los activos que se gestionarán en la fase de explotación y mantenimiento. Otra premisa que el equipo de arquitectura planteó desde el principio al resto de proyectistas fue la determinación de planos horizontales de distribución de las redes de suministro de las infraestructuras, mediante el paso de las tuberías pertinentes por los techos de las zonas de circulación principales y, cuando fuera posible, sin limitarse a las alturas libres existentes, a diferentes alturas, evitando al máximo las colisiones entre las distintas disciplinas. (Figura 5).

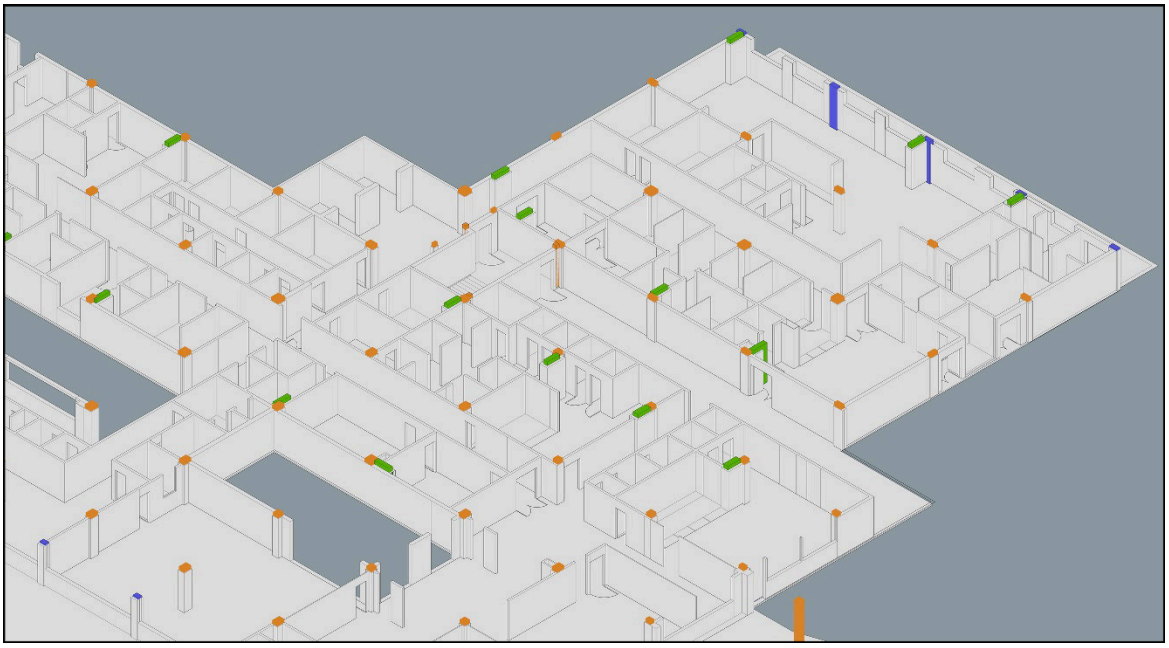


Figura 5 . Ilustración de la disposición de los shafts en verde y pilares en naranja, que definen los pasos verticales de las infraestructuras. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2017.

e. Con el desarrollo de los proyectos ejecutivos, el equipo de arquitectura creó un archivo en formato Excel con todas las infraestructuras existentes en cada uno de los *shafts*, ya identificados según su ubicación en el edificio, con el fin de registrar el tipo de infraestructura existente, las dimensiones de las tuberías correspondientes y las medidas finales de los *shafts* (Tabla 1).

TAG SHAFT	PAVIMENTOS	ESTRUTURA	EIXO	MAPEAMENTO E TAG DOS SHAFTS - PRUMADAS HIDRÁULICAS / GASES													
				AF	AFV	AQ	RT	IRR	TQ	TV	TG	TS	END	AS	AP	APA	API
S1	3º	2	12-B	1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S2	3º	2	11-B	1XØ40	-	1XØ40	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ75	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S3	3º	2	10-B	1XØ40	1XØ25	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S4	3º	2	9-B	1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1x Ø100	-
	2º	2		1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ32	1XØ25			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-

Tabla 1 . Ejemplo de una parte de la hoja de cálculo de identificación de los 140 shafts creados durante la construcción, desde la fase del anteproyecto arquitectónico, y en los que se indican las ubicaciones y las instalaciones que contienen. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2018.

Aunque los proyectos se han desarrollado en CAD, las premisas para la designación inicial de los trazados de las infraestructuras en los *shafts* y en planos horizontales predeterminados y localizados con una nomenclatura sistematizada, garantizaron que los datos no se perdieran a lo largo del proceso de construcción y posterior funcionamiento del hospital.

El hospital funciona desde octubre de 2020.

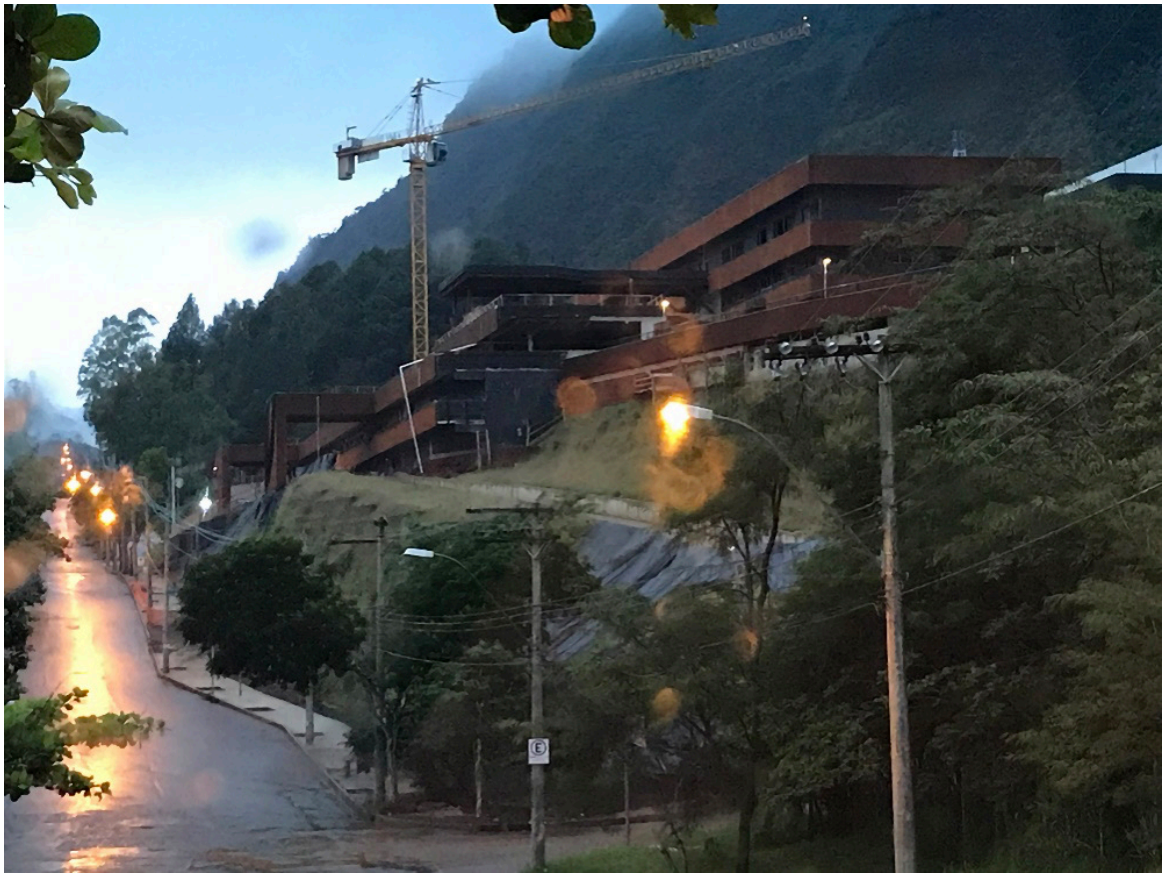


Figura 6 . Fotografía de la fase final de la obra. Fuente: de autoría propia, 2019.

6.2 Caso B – Identificación de los requisitos de información para la gestión de activos en un hospital: tecnología digital adoptada: BIM – Building Information Modeling

El uso del BIM para FM – *Facility Management* se ha ido incorporando cada vez con mayor frecuencia en proyectos de gran complejidad, partiendo de la idea de que el modelo AIM – *Asset Information Model* se convierte en un gran aliado para la gestión operativa eficiente del edificio.

El caso que se presenta en esta investigación está en fase de desarrollo y consiste en un trabajo conjunto de investigadores, usuarios, propietarios e ingenieros que están estudiando una forma de lograr que los datos

sobre las infraestructuras físicas y los equipos médicos de un hospital puedan identificarse y almacenarse en el modelo para su futura utilización en la fase de explotación y mantenimiento de un sistema FM – *Facility Management* por implementar.

La metodología adoptada hasta ahora consta de las siguientes etapas:

1. Identificación de los activos de los sistemas más relevantes del edificio que deben tenerse en cuenta en los modelos de infraestructuras físicas e ingeniería clínica: a partir de los proyectos de infraestructuras físicas de los sistemas eléctricos, de climatización e hidrosanitarios, así como de los equipos médicos, se extrajeron los activos correspondientes en hojas de cálculo de Excel, a partir de los modelos de cada disciplina, con el fin de identificar el grado de criticidad y la importancia de cada uno de ellos para la fase de explotación y mantenimiento.

2. Selección de los activos por parte de los equipos responsables por el funcionamiento y el mantenimiento del hospital: una vez elaboradas las tablas para cada sistema, estas se remitieron a los responsables del funcionamiento y el mantenimiento del edificio para que, basándose en su criterio, los activos estratégicos fueran seleccionados, con el objetivo de delimitar con exactitud el número de activos que debían gestionarse[5].

Además de la presentación de las tablas de activos, se ha presentado la lista de datos que deben completarse sobre cada activo, la cual se ha elaborado tal y como se describe en Mota *et al*. (2023), teniendo por base la Norma Británica BS 8210:2012, junto con otra lista que contenga la información identificada por el equipo responsable de la gestión de los procesos en el ámbito de la explotación y el mantenimiento, y que se considere importante registrar en los modelos.

En un primer momento, entre la información relevante resultante del análisis del equipo se seleccionaron los siguientes datos: identificación del activo, código, descripción, estado, ubicación, nivel de criticidad, fecha de adquisición, modelo, fabricante, coste inicial, dimensiones, fotografía, número de serie y POP (Procedimiento Operativo Estándar). Estos requisitos deberán aplicarse a los parámetros de los activos en sus modelos geométricos de cada disciplina de origen, tal y como se ilustra en la figura 7, en la disciplina de ingeniería clínica.

5 Una de las ventajas del uso de la metodología BIM es la selección acertada de la información necesaria, de modo que los modelos solo contengan aquellos datos estratégicos e imprescindibles, evitando así tanto el exceso de información como, por otro lado, su ausencia. Por ello, es necesario un trabajo colaborativo, en el que participen, sobre todo, la alta dirección y los responsables del FM – Facility Management a la hora de elegir la información que se va a incluir en el modelo.

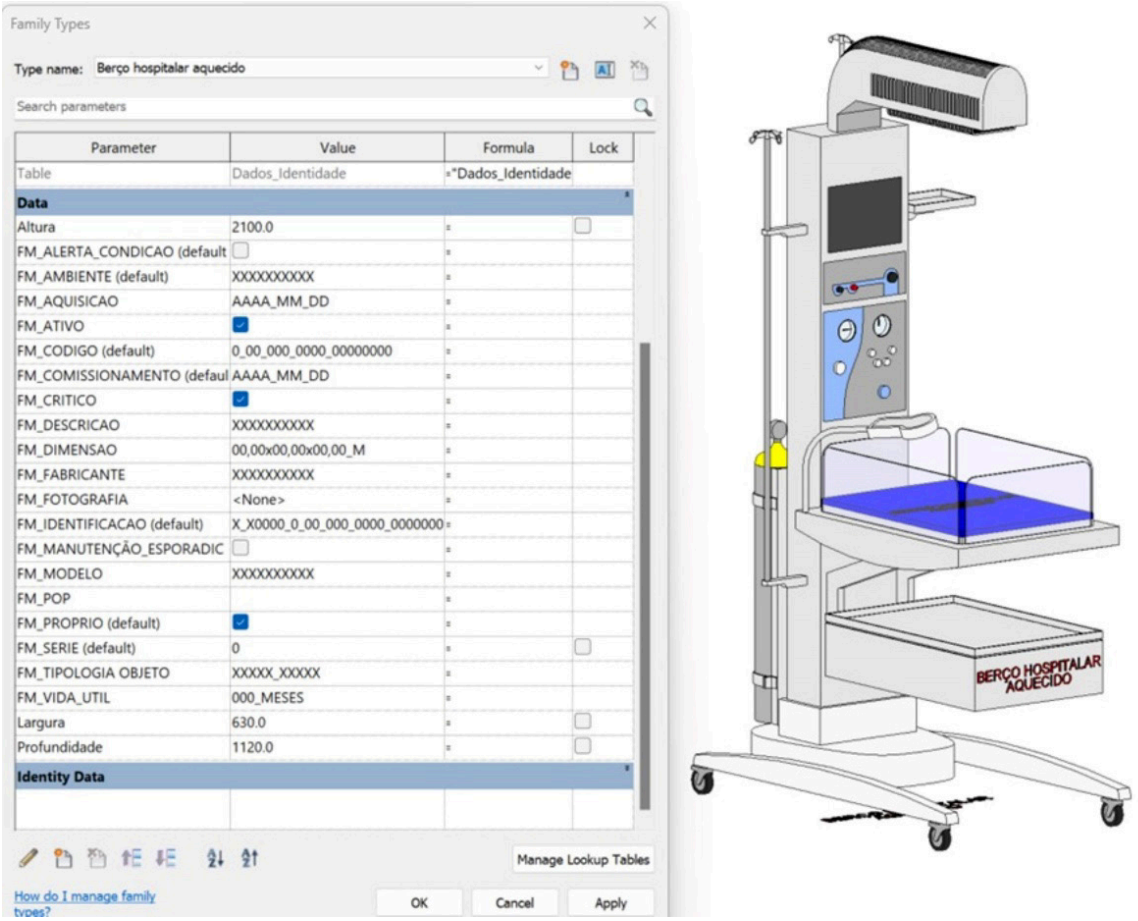


Figura 7 . Ejemplo de introducción de parámetros en el modelo de ingeniería clínica de un equipo hospitalario, a partir de la selección de la información necesaria realizada conjuntamente con el equipo del hospital. Fuente: imagen cedida por SIPPRO Engenharia, 2023.

3. Desarrollo del AIR – *Asset Information Requeriment*

Una vez seleccionada la información necesaria, se elaboró un documento con la estandarización de la codificación para la identificación de cada uno de los activos que se van a gestionar, en forma de tabla que deberá rellenarse desde el inicio de la obra y que deberá actualizarse a medida que los activos se adquieran, instalen, pongan en servicio e incorporen al modelo que acompaña a la fase de construcción, hasta que el modelo *as built* se finalice y se entregue para la fase de explotación, convirtiéndose en el modelo AIM – *Asset Information Model*. A partir de esta entrega, en el futuro, este modelo deberá mantenerse siempre actualizado, de modo que se registren las posibles modificaciones derivadas de los procesos de reforma y sustitución de activos y el modelo siga proporcionando la información necesaria para el proceso continuo del ciclo de vida del edificio.

4. Paralelamente a la recopilación de información sobre los activos, se inició una investigación sobre los sistemas FM – *Facility Management* capaces de facilitar la integración con el modelo BIM, tal y como se

describe en el artículo de Mota *et al* (2023). De los sistemas FM existentes seleccionados y disponibles en el mercado brasileño, se analizaron exhaustivamente ocho de ellos en cuanto a su capacidad para satisfacer las necesidades del equipo de operación y mantenimiento del hospital en lo que respecta a: asistencia para la implementación y el uso, capacidad de visualización en 2D y 3D, acceso a la documentación de los activos, acceso móvil y *off-line* el sistema, la plataforma y el límite de almacenamiento en la nube, el idioma, el tipo de integración con el modelo BIM, el tipo de colaboración y comunicación entre usuarios, las posibilidades de exportación de datos, el lector de códigos QR, la conexión con sensores, el control de existencias, el registro de horas de trabajo, la generación de informes y *dashboards* y gestión de entornos. A estos requisitos generales se sumaron otros específicos para los edificios hospitalarios: gestión de ingeniería clínica, centro de costos, integración con los sistemas de gestión de la asistencia hospitalaria, de existencias de materiales y medicamentos y de compras.

Los usuarios del hospital están probando los sistemas y, una vez elegido el sistema que se va a adoptar, la siguiente fase consistirá en la integración del modelo de activos en la plataforma de gestión de *facilities*.

Se espera que, una vez realizada la integración, la información introducida en el modelo se comparta con el sistema de gestión de operaciones y mantenimiento del hospital, lo que constituirá una potente herramienta para mejorar los procesos y la calidad de los servicios prestados por la institución a todos los sectores y usuarios del hospital.

7. Conclusiones

Las lecciones extraídas de las dos experiencias mencionadas presentan puntos en común y diferencias tanto en cuanto a la metodología como a los resultados.

En el caso del uso de tecnología digital en CAD, es posible organizar los datos, desde la elaboración de los proyectos, de tal forma que se conserve la información esencial y que la fase de explotación y mantenimiento se beneficie de esta sistematización. Sin embargo, la información no estará integrada con la geometría del edificio, lo que aleja esta metodología del BIM, ya que no permite la visualización inmediata del activo dentro del modelo del edificio. Aunque es posible llevar a cabo todo el proceso de selección de la información relevante, el sistema de gestión de *facilities* tendrá que asimilar la información mediante la introducción manual y directa de los datos de los activos, procedentes de los proyectos de construcción, lo que supone duplicar el proceso de registro y control de los datos. Y durante las fases de explotación y mantenimiento, la

posibilidad de pérdida de datos es exponencialmente mayor, ya que la información deberá registrarse, como mínimo, dos veces: en las tablas de los proyectos, en caso de que se modifiquen los activos, y en el sistema de gestión de *facilities* utilizado en el sector correspondiente.

Cuando se utiliza el modelo BIM integrado en el sistema de gestión de FM, desde las etapas de diseño y construcción, es posible alimentar el modelo con la información necesaria para la fase de explotación y mantenimiento del edificio, de acuerdo con los requisitos señalados en el AIR. El siguiente paso es determinar el sistema de gestión de FM, que podrá incorporar el modelo directamente, integrándolo a través de formatos nativos, o en ".ifc", o integrarlo de forma indirecta, a través de una API, o utilizando el COBie para la transferencia de datos. Está claro que la integración directa es la que más reduce el número de procedimientos necesarios para la gestión eficiente de *facilities* y la posibilidad de un intercambio bidireccional de datos. En las otras dos formas de intercambio de información entre el modelo y el sistema de FM adoptado, es posible que la integración sea unidireccional, o incluso que haya que volver a realizar una nueva importación masiva de datos en el sistema FM, como, por ejemplo, la exportación de otra versión del COBie procedente del modelo BIM, con el registro de las modificaciones o sustituciones de activos preexistentes en el modelo por otros activos, y su reincorporación al sistema FM. Una de las ventajas que ofrece la gestión de *facilities*, com a introdução do uso do modelo BIM para FM, con la introducción del uso del modelo BIM para la FM, es la integración de los datos geométricos a los datos no geométricos, lo que crea un entorno sólido de información de fácil acceso para los usuarios, lo que aumenta la agilidad a la hora de atender las necesidades de funcionamiento y mantenimiento de los activos y, en consecuencia, mejora la calidad de los servicios prestados.

En cualquier caso, la comprensión de la importancia de que, en edificios complejos como los hospitales, se identifiquen los requisitos de información que deben conservarse, desde la fase de concepción de los proyectos hasta la fase de entrega para su funcionamiento y mantenimiento, es una necesidad compartida por los equipos de proyectistas, los usuarios y la alta dirección de los proyectos.

El avance que supone el uso del modelo BIM para la gestión FM representa una mejora en la gestión de los centros de atención sanitaria, y su implantación está en fase de desarrollo en Brasil. Se espera que, a corto plazo, podamos contar con ejemplos de aplicaciones cada vez más habituales en los hospitales del país, lo que garantizará una mejora cualitativa de la excelencia en la gestión de los centros de atención sanitaria.

8. Referencias

ABECLIN – Associação Brasileira de Engenharia Clínica. Disponível em: https://abeclin.org.br/. Acesso em: 15 outubro 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 19650-1: Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção – Parte 1: Conceito e princípios. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 41018:2023: Facility management – Desenvolvimento de uma política para facility management. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 55000: Gestão de ativos – Terminologia, visão geral e princípio. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BIM Dictionary (2019), COBie, version 1. Disponível em: https://bimdictionary.com/en/cobie/1. Acesso em: 3 nov. 2025.

BOECKEL, C.; ROUVENAT, F.; Incêndio no Hospital Badim: vítimas morreram por asfixia e desligamento de aparelhos. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

CAETANO, C.; MANSUR, R., Incêndio na Santa Casa de Belo Horizonte: o que se sabe até agora. **G1 Minas**, Belo Horizonte. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/06/28/incendio-na-santa-casa-de-belo-horizonte-o-que-se-sabe-ate-agora.ghtml

COELHO, R. C. H., Incêndio atinge o Hospital Federal de Bonsucesso. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

G1 Rio. Princípio de incêndio é controlado no Hospital Lourenço Jorge, na Barra da Tijuca. **G1**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/01/principio-de-incendio-e-controlado-no-hospital-lourenco-jorge-na-barra-da-tijuca.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. (ISBN 85-224-3169-8).

IFMA - International Facility Management Association. Disponível em: https://www.ifma.org/. Acesso em: 2025.

KARMAN, J. **Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas**. São Paulo: Estação Liberdade, IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares 2011, p.41 e p.45. (ISBN 978-85-7448-189-0).

MOTA, P.; MOREIRA, L. Modelagem da Informação na Gestão de Ativos. In: RUSCHEL, R. C.; LIMA, M. M. X.; BÖES, J.S.; (org.). **Bim**: concepção, construção e operação: ensino e prática. Rio de Janeiro: LTC, 2025, p.188. (ISBN 978-85-216-3901-5).

MOTA, P. P.; MAZZIEIRO, A.T; JOKO, C.; MOREIRA, L. C. S. Identificação das potencialidades de sistemas FM integrados ao BIM para uso em ambientes hospitalares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–8. DOI: 10.46421/sbtic.v4i00.2624. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2624. Acesso em: 15 out. 2025.

Autora

Adriana Tonani Mazzieiro es arquitecta y urbanista, con una maestría en Arquitectura y Urbanismo, cuya investigación, realizada en 1998, se centró en la metodología para la reestructuración de hospitales generales existentes. Actualmente, es doctoranda en la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), en el Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo (NPGAU), con una investigación en el área de tecnologías digitales, principalmente enfocada en BIM (Building Information Modeling). Es integrante de la célula BIM-UFMG, vinculada a la Red de la ANTAC (Asociación Nacional de Tecnología del Ambiente Construido). Fue profesora adjunta I del curso de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad FUMEC entre 2002 y 2022, y profesora sustituta del curso de Arquitectura y Urbanismo de la UFMG entre 2024 y 2025. Desde 2025, es profesora del máster en BIM Management del Zigurat Institute of Technology, donde imparte la asignatura BIM para Facility Management. Se desempeñó como arquitecta y urbanista responsable técnica de la Santa Casa de Misericordia de Belo Horizonte entre 1991 y 1995; fue responsable de las obras de reforma y ampliación del Hospital de la Policía Militar de Minas Gerais entre 2000 y 2010; y estuvo a cargo del proyecto de reforma y ampliación del antiguo Hospital Hilton Rocha entre 2011 y 2019. En este último, entre 2017 y 2019, asumió la coordinación y compatibilización de los proyectos ejecutivos correspondientes a una superficie construida de 38.000 m². Es socia fundadora de Quattromani Arquitetos Associados desde 2000 y se desempeña como BIM Coordinator en SIPPRO Engenharia desde 2022.

Agradecimientos especiales:

El presente trabajo fue realizado con el apoyo de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiación 001.

Institución: Universidad Federal de Minas Gerais

Datos de contacto:: adtonani@gmail.com

Artículo

Economía circular en establecimientos asistenciales sanitarias

Autores
Antonio Pedro Alves de Carvalho Universidad Federal da Bahía
Jair de Jesus Lima Universidad Federal da Bahía

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.03

Resumen

El modelo de economía lineal, basado en los principios de "extraer, producir y desechar", ha impulsado los avances tecnológicos, pero ha generado graves problemas medioambientales y sociales, sobre todo en lo que respecta a la extracción excesiva de recursos naturales, el aumento de la contaminación y la acumulación de residuos. El sector sanitario, con una elevada demanda de energía y agua y que depende en gran medida de materiales desechables, se considera uno de los principales responsables de la generación de estos impactos. En este contexto, la economía circular (EC) se presenta como una alternativa para promover la sostenibilidad en el sector sanitario, proponiendo la reducción de la extracción de recursos naturales, la reutilización y el reciclaje. Este estudio ofrece una revisión bibliográfica sobre el modelo circular aplicado a los establecimientos de atención de la salud (EAS), abordando cuestiones como design sostenible, eficiencia energética, uso del agua y gestión de residuos, además de ejemplos de éxito en Brasil y en el resto del mundo. Se ha constatado que la introducción de la economía circular en el sector sanitario puede minimizar los costos operativos, reducir la generación de residuos y contener las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por lo tanto, se concluye que la adopción de estrategias de economía circular en las EAS es fundamental para combinar la prestación de servicios esenciales con la sostenibilidad medioambiental.

Palabras clave:

economía circular, centros sanitarios, medio ambiente.

Introducción

A partir de la Revolución Industrial, la sociedad adoptó el modelo de economía lineal, muy dependiente de la extracción de recursos naturales, la producción de bienes, la distribución, el consumo y la eliminación de residuos (Fernandes, 2024). Aunque este modelo ha impulsado los avances tecnológicos y el crecimiento económico, también ha contribuido de manera significativa a generar impactos medioambientales negativos, como la explotación excesiva de los recursos naturales, el aumento de la contaminación y la acumulación de residuos, que en la actualidad son retos a los que se enfrenta la humanidad como consecuencia de dicho modelo (Barcelos, 2024) (Figura 1).

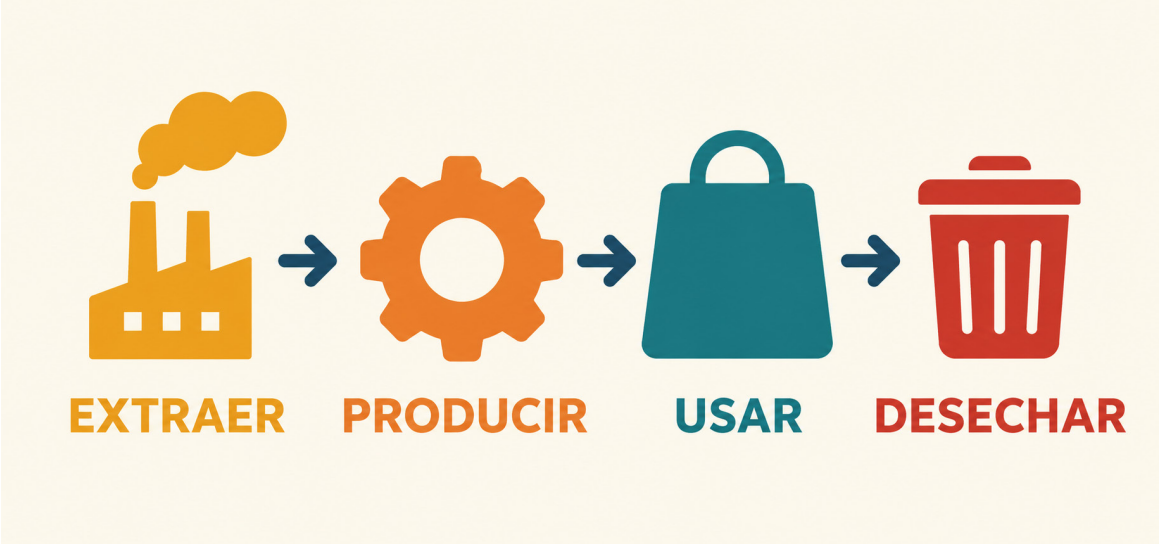


Figura 1 . Esquema de la economía lineal. Fuente: generado por IA.

Entre las principales consecuencias de este sistema se encuentran el agotamiento de los recursos naturales, la generación excesiva de residuos y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros productos perjudiciales para el medio ambiente, que ponen en peligro la salud humana debido a la contaminación atmosférica y a la contaminación del suelo y del agua, además de provocar fenómenos como la reducción de la capa de ozono, la pérdida de biodiversidad y cambios climáticos catastróficos (MacNeill *et al*., 2020).

Estos efectos están directamente relacionados con las diferentes etapas del proceso de "extraer, producir, consumir y desechar". La explotación descontrolada de materias primas, como los minerales, el agua y los combustibles fósiles, con la consiguiente generación de residuos, contribuye al agotamiento de los recursos naturales y a la contaminación del medio ambiente. La contaminación está ligada al proceso de producción, ya que, para garantizar la fabricación de bienes

en una sociedad consumista, se emite una gran cantidad de subproductos que contaminan el aire, el agua y el suelo. La eliminación prematura e inadecuada de los productos intensifica la generación de residuos, agravando la contaminación ambiental. (Barcelos, 2024).

El sector sanitario, integrado en este modelo de economía lineal, es uno de los responsables de una parte significativa de las emisiones de GEI. Los Establecimientos de atención de la salud (EAS) y los dispositivos médicos que se utilizan en ellos se basan en ese modelo, por lo que dependen de material desechable de un solo uso (MacNeill *et al*., 2020). Según el

informe de la Health Care Without Harm, realizado en colaboración con la Arup Consultoria (2019), el sector sanitario, en 2019, fue responsable de alrededor de 4,4% del total de GEI generado en el mundo, lo que equivale a dos gigatones de dióxido de carbono. Esta contribución es similar a las emisiones anuales de GEI de 514 centrales eléctricas de carbón de tamaño medio. Además, si se considerara un país, el sistema sanitario sería el quinto mayor emisor del planeta (Karliner *et al*., 2019).

Las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la asistencia sanitaria se producen por diversos medios, entre los que destacan el consumo de energía, el transporte y la fabricación, el uso y la eliminación de productos en general. Las emisiones generadas directamente por los centros sanitarios y los vehículos pertenecientes al sector representan alrededor del 17 % de la huella mundial de este ámbito. Aproximadamente el 12 % está relacionado con las emisiones indirectas asociadas a la energía adquirida, como la electricidad, el vapor, la refrigeración y la calefacción. La mayor parte de las emisiones – alrededor del 71 % – está relacionada con la cadena de suministro, que abarca la producción, el transporte y la eliminación de insumos, como medicamentos, productos químicos, alimentos, dispositivos médicos y equipos hospitalarios. (Karliner *et al*., 2019).

El concepto de economía circular (EC) surge como una solución innovadora que busca la implantación de un nuevo sistema productivo, estableciendo cambios estructurales significativos y asumiendo un mayor protagonismo al oponerse al modelo tradicional de economía lineal, conocido por sus prácticas definidas por el paradigma del "ciclo abierto": extraer-producir-descartar (Abdalla; Sampaio, 2018).

La EC tiene como objetivo reducir el uso de materias primas y sus impactos medioambientales asociados, mediante estrategias que prolonguen la vida útil de los recursos. Según Viet (2012), Esto es posible gracias al principio de las 3R, que consiste en una serie de prácticas que

deben adoptarse con el objetivo de prolongar la vida útil de los materiales ya procesados, lo que contribuye a reducir la extracción de recursos naturales para su uso como materias primas:

• **Reducir** – aplicar técnicas de gestión para minimizar la cantidad de materiales que se consumen para un fin determinado, como el agua, la energía y los minerales.

• **Reutilizar** – reutilizar un material, ya sea para el mismo fin para el que fue diseñado o para otro similar, prolongando así su vida útil, antes de desecharlo o destinarlo al reciclaje.

• **Reciclar** – consiste en el conjunto de técnicas destinadas a la reutilización de residuos, reincorporándolos de nuevo al ciclo de producción. Este proceso incluye una serie de actividades, como la recogida, la separación y el tratamiento de materiales, con el fin de transformarlos en materia prima para la fabricación de nuevos productos (ver Figura 2).



Figura 2 . Esquema de la economía circular Fuente: SMAS-Sintra (2025).

La adopción de un modelo circular en el sector sanitario puede contribuir a reducir significativamente los costes operativos, disminuir la cantidad de residuos generados y el impacto medioambiental, además de contribuir

a la mejora de la calidad de los servicios y de la salud pública (Fernandes, 2024). Al mismo tiempo, la adopción de prácticas circulares contribuye directa o indirectamente al avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) hasta 2030, como el ODS 3 (Salud y bienestar); ODS 6 (Agua potable y saneamiento); ODS 7 (Energía limpia y accesible); ODS 8 (Trabajo digno y crecimiento económico); ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles); ODS 12 (Consumo y producción sostenibles); ODS 13 (Acción contra el cambio climático global); y ODS 15 (Vida Terrestre) (Azizuddin; Shamsuzzoha; Piya, 2021; Schroeder; Anggraeni; Weber, 2019).

Los ODS, junto con las finanzas sostenibles, desempeñan un papel importante en el sector sanitario. Para las administraciones gubernamentales y los centros sanitarios, es fundamental que su financiación considere prioritaria la inclusión de factores medioambientales, sociales y de gobernanza (ESG) en las decisiones de inversión (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

La infraestructura de los establecimientos de atención de la salud puede desempeñar un papel importante para que el sector sanitario sea menos contaminante y reduzca su impacto en el cambio climático. Sin embargo, debido a la elevada demanda, alcanzar las metas de sostenibilidad, desde la neutralidad en carbono hasta 2030, exigirá un cambio significativo por parte de los prestadores de servicios sanitarios. Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por este sector están estrechamente relacionadas con su rendimiento, el tipo de servicios y el lugar donde se prestan, además de con las políticas orientadas a reforzar las mejores prácticas que frenen la demanda de servicios (Or; Seppänen, 2024).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2009), al reducir la huella de carbono y avanzar hacia la neutralidad, el sector sanitario puede convertirse en un ejemplo en la respuesta al cambio climático, desempeñando un papel de liderazgo en la defensa de un futuro saludable y sostenible. En este sentido, es fundamental adoptar un enfoque integral basado en el principio de la EC. Esto incluye iniciativas como estrategias de *design* sustentables, procedimientos de eficiencia energética, ahorro de agua, tratamiento de aguas residuales y gestión de residuos, lo que reduce la huella medioambiental del sector, que reviste una importancia cada vez mayor en la sociedad moderna.

Metodología

El presente artículo consiste en una revisión bibliográfica cuyo objetivo es recopilar, analizar y sintetizar los conocimientos existentes sobre el tema de la economía circular en los centros sanitarios. El propósito es presentar

una revisión sobre cómo se puede aplicar la transición hacia un modelo circular en los centros sanitarios, abordando cuestiones como el *design* sostenible, la eficiencia energética, el uso del agua y la gestión de residuos. Para lograrlo, se consultaron bases de datos de libre acceso de Google Académico y de revistas especializadas CAPES, Scielo, Scopus y SciSpace, utilizando palabras clave relacionadas con el tema, como *Circular Economy; Circular Economy and Healthcare Establishment; Circular Economy Strategies in Hospitals; Energy Efficiency in Hospitals; Sustainable architecture in hospitals; Water Saving Strategies in Hospitals; Hospital Wastewater; Circular Economy in Hospital Sewage Treatment; Hospital Waste Management* y sus equivalentes en portugués.

Se incluyeron en la revisión los materiales que abordaban directamente la aplicación de la economía circular en entornos sanitarios, publicados en los últimos cinco años y cuyo texto completo estuviera disponible en portugués o en inglés. En algunos casos, se tuvieron en cuenta estudios de mayor relevancia, aunque no cumplieran el criterio relativo al período de publicación. Por otra parte, se excluyeron los trabajos que no estuvieran directamente relacionados con el tema central, así como los documentos de acceso restringido.

Inicialmente se identificaron 91 estudios relevantes para el tema. Para la selección de las referencias, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, seleccionándose 76 para componer la revisión.

Estrategias de diseño

La arquitectura de los establecimientos de atención de la salud se caracteriza por su gran complejidad y por los requisitos funcionales vinculados a los procedimientos y prácticas médicas, que están sujetos a constantes cambios y actualizaciones (Lopes, 2014). Según Biro (2024), el sector de la construcción, junto con el del *design*, es responsable de más del 30 % de la extracción de recursos naturales del planeta, por lo que resulta fundamental que todas las construcciones apuesten por una mayor sostenibilidad.

La sostenibilidad en los edificios destinados a la salud ha dejado de ser una tendencia o un factor diferenciador para convertirse en una necesidad importante desde la fase de planificación. La introducción de la sostenibilidad medioambiental en los centros sanitarios puede llevarse a cabo mediante la incorporación de principios de construcción sostenible en los nuevos proyectos, así como en la modernización de los hospitales ya existentes. (OMS, 2009).

Para la elaboración de proyectos de los EAS sostenibles, es fundamental tener en cuenta los aspectos:

• **Medioambientales** – como la adaptación al medio ambiente mediante el uso de los recursos naturales presentes en cada lugar.

• **Económicos** – como el uso de sistemas constructivos racionales, estandarizados, flexibles, modulares y que permitan la reutilización de materiales, con el fin de evitar el desperdicio y la generación de residuos, la cualificación de la mano de obra y la adopción de tecnologías que contribuyan a reducir el consumo de agua y energía.

• **Sociales** – como la preocupación por la satisfacción de los usuarios implicados en todas las fases de la construcción, sin descuidar los aspectos estéticos (Lopes, 2014).

Existen diversas estrategias para edificios sanitarios que minimizan el impacto medioambiental, y es fundamental que se apliquen en todas las etapas del ciclo de vida del edificio, como la planificación, el diseño, la ejecución, la ocupación, el mantenimiento, la rehabilitación y la eventual demolición (Vilas-Boas, 2011). En este sentido, se puede considerar que la aplicación de estrategias de diseño sostenible constituye un enfoque eficaz, ya que contribuye a alargar la vida útil y a reducir los costes de mantenimiento del edificio (Alsawaf; Albadry, 2022). Estos métodos reducen el impacto medioambiental, al tiempo que mejoran la equidad social, el bienestar del paciente y la productividad de los profesionales sanitarios (Biro, 2024).

Un ejemplo de estrategia de sostenibilidad es el *Diseño para la Adaptabilidad y el Desmontaje* (DfAD). El DfAD, cuando se aplica a la planificación de la vida útil de los edificios sanitarios, puede contribuir positivamente al desarrollo sostenible (ISO, 2020). El desmontaje, siguiendo el principio de las 3R – reducir, reutilizar y reciclar –, es importante para la recuperación de materiales de construcción, sobre todo durante las fases de mantenimiento, renovación, reubicación y montaje, lo que permite la recuperación no destructiva de dichos materiales y su reintroducción en la cadena de producción, ya sea para desempeñar la misma función o para dar lugar a nuevos productos (Davis, 2024). Por su parte, la introducción de principios de adaptabilidad puede reducir las demoliciones y la construcción de nuevos edificios, al permitir la reutilización o la modificación de estructuras ya existentes, prolongando su vida útil y permitiendo que se adapten a una mayor variedad de usos, lo que garantiza el uso eficaz de los recursos y la aplicación de los principios de la EC en los edificios (ISO, 2020).

Como principio básico para el enfoque DfAD, la construcción modular de edificios desempeña un papel fundamental en la promoción de la sostenibilidad, al reducir los impactos medioambientales relacionados

con la construcción (Paliwal, 2019). Este principio resulta especialmente útil en los edificios destinados a la salud, que tradicionalmente requieren cambios frecuentes de uso. Este modelo de construcción ofrece una alternativa potencialmente sostenible, basada en el uso de elementos prefabricados que se instalan y se ensamblan in situ para crear edificios con una gran flexibilidad funcional (Lawson; Ogden; Goodier, 2014). El uso de módulos en la construcción permite desarrollar edificios con estructuras que reducen los residuos, optimizan el uso de los materiales y adoptan un enfoque eficiente para hacer frente a los retos de la industrialización y el mantenimiento (Morales, 2023).

Según Morales (2023), la implementación de la construcción modular permite un mayor aprovechamiento de los materiales utilizados y una reducción de la generación de residuos – aproximadamente un 90 % en comparación con el modelo de construcción tradicional –, ya que aproximadamente el 70 % del proceso de construcción puede llevarse a cabo en un entorno controlado. El uso de materiales con sellos ecológicos, así como el reciclaje y la reutilización de componentes modulares al final de su ciclo de vida, intensifica la reducción de pérdidas.

La construcción modular ofrece una mayor flexibilidad en el diseño de los proyectos, lo que facilita la adaptabilidad y el desmontaje, permitiendo que se adapten a diferentes fines durante su uso o la recuperación de productos, piezas y materiales cuando es necesario reformar un edificio. Tras el desmantelamiento de los edificios modulares, sus componentes pueden reciclarse o reutilizarse en nuevas unidades con mayor facilidad, lo que contribuye a reducir el desecho de materiales de construcción (Sajid *et al*., 2024).

Un ejemplo exitoso de la aplicabilidad del sistema de construcción modular en edificios destinados al sector sanitario son los hospitales de la Rede SARAH, proyectados por el arquitecto João Filgueiras Lima, o Lelé. Los sistemas prefabricados de mortero armado y estructura metálica se utilizan ampliamente en todas las fases de los edificios (Figura 3), desde la superestructura hasta las instalaciones hospitalarias, lo que proporciona una mayor flexibilidad y facilita las fases de construcción, montaje y, sobre todo, el mantenimiento y las futuras ampliaciones de los hospitales (Lukiantchuki *et al*., 2011).



Figura 3 . Vista exterior del Centro de Tecnología de la Rede SARAH (CTRS) Fuente: Lukiantchuki et al. (2011).

La integración del diseño biofílico en la arquitectura de los establecimientos de salud representa otra medida eficaz para promover la sostenibilidad en el sector sanitario (Zhao; Zhan; Xu, 2022). Este enfoque busca integrar elementos naturales en la concepción de los entornos construidos, con el potencial tanto de favorecer el bienestar de los usuarios como de promover una mayor sostenibilidad en el edificio, mediante la reducción del consumo energético y el fomento de prácticas de construcción respetuosas con el medio ambiente (Santos; Torres, 2024).

En el contexto brasileño, el Hospital Albert Einstein, situado en São Paulo, es un ejemplo de la aplicabilidad del diseño biofílico. En su proyecto se adoptó el sistema de cubierta verde (Figura 4), cuyo objetivo es contribuir a reducir el calentamiento del edificio, además de permitir la recogida de agua de lluvia para su reutilización en el riego de jardines. Entre los principales resultados obtenidos gracias al uso del techo verde, destacan: la disminución de las islas de calor, responsables del aumento de la temperatura en zonas densamente urbanizadas; el ahorro de

energía eléctrica, derivado de la reducción del uso de sistemas de aire acondicionado; y la ayuda en el control del flujo de agua pluvial, lo que, en consecuencia, reduce las inundaciones en las zonas urbanas (Vilas-Boas, 2011).



Figura 4 . Techo verde en el Hospital Albert Einstein, SP. Fuente: Vilas-Boas (2011).

El uso de principios bioclimáticos, como la ventilación, la iluminación natural, la vegetación y el paisajismo, puede contribuir de manera significativa a reducir el efecto de isla de calor, mejorar la biodiversidad, mitigar la contaminación atmosférica, optimizar la calidad del aire, mejorar el confort térmico y fomentar el uso de materiales certificados, promoviendo así entornos interiores que favorecen la recuperación de la salud. Esta práctica contribuye directamente al avance del ODS 3 (Salud y bienestar) y del ODS 13 (Cambio climático), los más respaldados por el *design* biofílico (Zhong; Schröder; Bekkering, 2022).

La captación de la ventilación y la luz natural en los establecimientos de atención de la salud puede realizarse de forma indirecta mediante diferentes métodos. Se pueden utilizar elementos como marcos de ventanas colocados estratégicamente, brises y ventanas que orienten el viento y el sol. En cuanto a la iluminación, destacan métodos como las aberturas en el tejado, cobertizos, ventanas con brises y recepciones con grandes vanos sombreados. En situaciones más complejas, en las que no es posible incorporar grandes paños de ventana o abrir el espacio hacia el exterior, se pueden utilizar recursos como claraboyas o tubos reflectantes (Vilas-Boas, 2011).

Eficiencia energética

Los Establecimientos de salud requieren una gran variedad de formas de consumo de energía, como la energía térmica, utilizada para la calefacción, el agua caliente y la generación de vapor, y para la refrigeración, en los

sistemas de aire acondicionado, además del consumo de electricidad para el funcionamiento de equipos médicos, sistemas de iluminación, extracción y ventilación (Suszanowicz; Ratuszny, 2019). Esta demanda se intensifica debido al continuo crecimiento del consumo energético en estas instalaciones, ya que, a diferencia de otros tipos de edificios, los establecimientos de salud suelen funcionar de forma ininterrumpida, las 24 horas del día, y acogen a personas con problemas de salud, por lo que son extremadamente vulnerables a pequeñas variaciones en las condiciones ambientales. En los centros de tratamiento, es necesario mantener parámetros específicos de temperatura y calidad del aire interior, sobre todo en espacios altamente especializados, como quirófanos, UCI y laboratorios (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

Esta elevada demanda energética contribuye a que aproximadamente el 40 % de la huella climática del sector sanitario provenga del uso de electricidad y energía térmica. Este consumo incluye tanto la energía adquirida por los centros sanitarios como la de los fabricantes y proveedores de bienes y servicios para el sector (Karliner *et al*., 2019). Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado representan la parte más importante del consumo eléctrico en los hospitales, ya que se consideran fundamentales para la salud de los pacientes, para aumentar la productividad del personal y para el correcto funcionamiento de los equipos médicos, y consumen, de media, el 50 % de la energía eléctrica total de estos edificios (Oliveira, 2021).

Según un estudio realizado por el *Kigali Cooling Efficiency Program* (UNEP, 2019), vinculado a las Naciones Unidas, que en 2018 analizó las emisiones globales relacionadas con la climatización de los establecimientos de salud, aproximadamente 365 millones de toneladas de CO_2 son emitidas anualmente en la atmósfera debido a la climatización, la ventilación y la refrigeración de los edificios, lo que equivale a las emisiones generadas por más de 75 millones de coches o por 110 centrales térmicas de carbón durante un año. La introducción de sistemas gestionados por inteligencia artificial (IA) en la climatización de los establecimientos de salud puede suponer un ahorro significativo en el consumo energético.

Los sistemas de aire acondicionado y de refrigeración, en general, además de fabricarse utilizando combustibles fósiles, emplean hidrofluorocarbonos (HFCs) y otros gases refrigerantes que, al liberarse a la atmósfera, intensifican el efecto invernadero (Oliveira, 2021). Además de las necesidades de climatización, los establecimientos de salud llevan a cabo numerosas actividades que requieren un elevado consumo energético, como el uso de equipos médicos y de laboratorios especializados, la esterilización, las lavanderías y los servicios de alimentación (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022). Debido a estas características,

los establecimientos de salud se enfrentan a dos retos contradictorios: satisfacer la creciente demanda energética y, al mismo tiempo, reducir la huella de carbono del sector (Tomanek, 2024).

Gran parte de los impactos ambientales sobre la salud pública derivados del consumo de energía se deben a la quema de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas, lo que genera emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación atmosférica, y repercute tanto en el cambio climático como en los problemas de salud. En este sentido, gracias a la mejora de la eficiencia energética y a la transición hacia fuentes de energía limpias y renovables, el sector sanitario puede desempeñar un papel importante en la mitigación de las emisiones de GEI y en la reducción de los daños a la salud pública causados por el cambio climático y la contaminación atmosférica (Corvalan *et al*., 2020).

En los edificios hospitalarios se pueden introducir diversas fuentes de energía renovable para la generación de electricidad, calor y refrigeración, como la energía solar, la eólica, la biomasa y la geotérmica. Las tecnologías con bajas emisiones de carbono, como los sistemas de cogeneración y las bombas de calor, también pueden utilizarse con el mismo fin (Vourdoubas, 2022). Estas fuentes de energía alternativas pueden utilizarse en sistemas de iluminación, bombeo y calentamiento de agua, usos que representan una parte considerable del consumo energético de los edificios sanitarios, tanto en países desarrollados como en desarrollo (OMS, 2009), lo que contribuye a reducir la huella climática y a aumentar la resiliencia energética, además de cumplir con la normativa vigente y los objetivos globales relacionados con la mitigación de desastres medioambientales (Vourdoubas, 2022).

La energía solar se considera una de las mejores opciones para garantizar la sostenibilidad energética a largo plazo, ya que presenta diversas ventajas, como el hecho de ser una fuente abundante, tener pocas pérdidas en la transmisión y la distribución, un bajo coste operativo y ser una fuente limpia, lo que reduce la intensidad de las emisiones de los combustibles en general (Duraivelu; Elumalai, 2021). Este sistema puede utilizarse para la producción de electricidad tanto mediante tecnología solar fotovoltaica como solar térmica, y se emplea en sistemas de generación de energía de pequeño, mediano y gran tamaño (Vourdoubas, 2022).

Un estudio realizado por Al-Rawi, Bicer y Al-Ghamdi (2023), en un hospital situado en la región del Consejo de Cooperación del Golfo (GCC), que utiliza un sistema de calentamiento de agua mediante energía solar, destacó el potencial de la integración combinada de tecnologías solares térmicas y fotovoltaicas en los establecimientos de salud de la región, resaltando beneficios como la reducción de los costos de energía, el

aumento de la seguridad energética y la promoción de la sostenibilidad. Los resultados demostraron que el sistema solar térmico utilizado en el hospital contribuye con alrededor del 12 % del gasto energético de los sistemas de agua caliente, con una eficiencia de aproximadamente el 46 %; por su parte, el sistema fotovoltaico aportó aproximadamente el 29,6 % de la carga total del sistema de HVAC, lo que pone de manifiesto el potencial de ambos sistemas para promover la eficiencia energética y reducir la dependencia de las fuentes de energía tradicionales en los Establecimientos de atención de la salud.

En un estudio realizado en dos hospitales situados en Romênia, Prada *et al*. (2020) muestran que la implantación de la energía solar fotovoltaica puede cubrir entre el 62,68 % y el 75,51 % del consumo energético necesario para la calefacción, el aire acondicionado y la producción de agua caliente. Además, el ejemplo ha demostrado una reducción de las emisiones de CO_2 de entre el 77 % y el 67 %, lo que repercute directamente en el calentamiento global, la contaminación y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el contexto global, Vourdoubas (2021), en una revisión sobre diversas aplicaciones exitosas de energías renovables en hospitales de todo el mundo, destacó que el uso de la energía solar puede alcanzar una eficiencia energética del 40 % al 80 % al contribuir al sistema de refrigeración, y del 30 % al 40 % a la calefacción de las instalaciones hospitalarias. En cuanto a la energía geotérmica, puso de manifiesto que su aplicación puede alcanzar una eficiencia del 70 % al 90 %, sobre todo en el uso de fluidos geotérmicos para la calefacción de los edificios.

La energía solar también puede aplicarse junto con otras tecnologías de generación con bajas emisiones de carbono o sin ellas, como en los sistemas de cogeneración. En este caso, al mismo tiempo que la energía solar se convierte en energía eléctrica en una central eléctrica para alimentar los refrigeradores de compresión de vapor destinados a la producción de enfriamiento, el calor residual expulsado por el motor térmico puede utilizarse para accionar un refrigerador de absorción, lo que desempeña un papel importante tanto en el ahorro energético como en la reducción de la contaminación ambiental (Çakir; Çomakli; Yüksel, 2012).

Los sistemas de cogeneración representan una solución prometedora para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y sus costes operativos. Las centrales de cogeneración funcionan con una única fuente de energía o combustible, siendo el principal el gas natural (Franco *et al*., 2017). También pueden utilizar biomasa, como residuos agrícolas y forestales, subproductos y residuos, bioetanol, biodiésel o biogás producido a partir de residuos orgánicos (Vourdoubas, 2022). Su

implementación tiene como objetivo la producción simultánea e integrada de energía eléctrica y térmica, mitigando las pérdidas de energía. La cogeneración puede clasificarse en dos tipos: sistemas combinados de calor y energía (*Combined Heat and Power* – CHP), que produce electricidad y calor; y trigeneración, conocida como sistema combinado de refrigeración, calefacción y producción de energía (*Combined Heat, Ice, and Power* – CHIP), que genera energía eléctrica y térmica en forma de calor y frío (Chen-Xu *et al*., 2024).

Los sistemas de CHP y CHIP presentan una mayor eficiencia en comparación con los métodos tradicionales de generación. Mientras que los medios convencionales poseen una eficiencia de aproximadamente el 60%, los sistemas CHP pueden presentar índices de entre el 87% y el 92%; por su parte, los sistemas CHIP alcanzan valores de entre el 85% y el 90%. Estos porcentajes pueden variar en función de la dimensión del proyecto (Teke; Timur, 2014).

En el marco del uso de la cogeneración en los establecimientos de salud, Alexis y Liakos (2013) defienden, por medio de un estudio realizado en un hospital ubicado en Grecia, que la implementación de un sistema de cogeneración puede llevar a la reducción de los costos operativos anuales en un 32%, además de la reducción del consumo anual de energía primaria en un 28 %. Además, aseguran una reducción anual significativa de las emisiones de contaminantes, con disminuciones estimadas entre 46,5 % y 48,6% para el CO_2, entre 75,9 % y 82,8 % para el SO_2, entre 2,3 % y 7,5 % para el NOx y entre 75,9 % y 82,9 % para las partículas en suspensión.

La utilización de sistemas de iluminación gestionados por IA es otra innovación tecnológica que desempeña un papel importante en la promoción de la eficiencia energética en los establecimientos de salud (Tomanek, 2024). Estos sistemas utilizan mecanismos avanzados para la iluminación, como sensores para detectar ocupación, automatización y conectividad para controlar la iluminación de forma más eficiente. A diferencia de los modelos tradicionales, que funcionan manualmente, estos sistemas permiten una reducción significativa del consumo de energía a partir de la reducción o el apagado automático de las luces en áreas desocupadas o poco ocupadas, ajustando el brillo, la temperatura de color e incluso la dirección de la luz en función de varios factores, como la presencia de iluminación natural, el horario, la presencia de personas y las actividades realizadas en el lugar, además de la utilización de lámparas de alta eficiencia energética (Wipro Lighting, 2024).

Según, Teke y Timur (2013), en una revisión de estudios prácticos sobre eficiencia energética y potenciales de ahorro de energía en sistemas de iluminación en hospitales, la implementación de sistemas inteligentes

en los establecimientos de salud puede contribuir al ahorro de aproximadamente el 60 % al 80 % de la energía consumida, especialmente si se utilizan en iluminación interna y aire acondicionado, con un tiempo de retorno de la inversión estimado entre 1,5 y 5 años, variando según los sistemas de control y el tamaño del establecimiento.

Ahorrar agua

El sector de la salud presenta un elevado consumo de agua, ya que necesita mantener ambientes y materiales desinfectados, operar equipos médicos y asegurar la higiene de los pacientes. Sus características únicas hacen que los establecimientos de salud consuman significativamente más agua por metro cuadrado que otros tipos de edificios, dificultando la adopción de los principios de la economía circular en este sector. (Teslim, 2024). La cantidad de agua utilizada depende de diferentes factores, como el perfil del establecimiento, el número de camas, el tipo de hospitalización, la antigüedad del hospital, las fuentes de acceso, los servicios generales presentes dentro de la estructura (incluidos la cocina, la lavandería y el aire acondicionado), las políticas de gestión institucional y la concienciación en la gestión de la infraestructura en relación con la preservación del medio ambiente, el clima y los factores culturales y geográficos (Verlicchi *et al*., 2010).

Un estudio realizado por el Victorian Government Department of Health (2009) relacionado con el consumo de agua en los establecimientos de salud, ubicados en Victoria, Australia, se destacó que, dentro de los hospitales, los mayores consumos de agua están relacionados con: higiene (limpieza y lavado); saneamiento (descarga de residuos al alcantarillado); ingesta (consumo de agua y preparación de alimentos); procesos generales (limpieza, desinfección, esterilización, lavado, calefacción, refrigeración, filtración y tratamiento de agua) e irrigación (jardines ornamentales y céspedes). El informe señala además que las instalaciones sanitarias (lavabos, duchas y fregaderos) representan entre el 20 % y el 40 % del consumo total, mientras que las descargas sanitarias (inodoros y lavadoras de cuñas/orinales) varían del 15 % al 30 %. Por su parte, los procesos de esterilización, laboratorios y refrigeración contribuyen con cerca del 15 % al 40 %, y la preparación de alimentos, con el 5 % al 25 % del consumo total de agua

El consumo de agua en los establecimientos de salud también varía considerablemente tanto a lo largo del día como en el transcurso del año. En relación con la demanda media diaria, puede producirse un aumento de hasta el 20 % entre las 8:00 y las 16:00 horas, y una disminución del 30 % entre la 1:00 y las 8:00 horas; asimismo, pueden registrarse valores medios más elevados durante los meses más cálidos (*Verlicchi et al*., 2010).

La explicación de este elevado consumo de agua durante las horas de la mañana y la tarde se asocia al hecho de que, en estos períodos, se llevan a cabo los tratamientos de los pacientes y los análisis de laboratorio (Altın; Altın, 2017).

Debido a la variedad de funciones que demandan el consumo de agua en los establecimientos de salud, el uso eficaz y eficiente del recurso es fundamental en estas instituciones. La implementación de rutinas de ahorro de agua en el entorno hospitalario enfrenta grandes restricciones, ya que los procedimientos de higiene y mantenimiento de la calidad del agua obedecen a normas rígidas y exigentes (Priyalal, 2019). Según Oliveira *et al*. (2021), el agua utilizada en los hospitales debe estar exenta de microorganismos patógenos, ya que representan un riesgo significativo de brotes infecciosos graves, por lo que resulta de gran importancia el acto constante de lavado de manos con agua de calidad, además de la higienización del entorno, la producción y el consumo de alimentos. Mantener la calidad del agua, por lo tanto, es fundamental, puesto que su contaminación puede estar relacionada con la transmisión de enfermedades, afectando principalmente a los pacientes, quienes presentan grados diferenciados, pero siempre existentes, de baja resistencia a las infecciones (Ferreira; Caran, 2023).

La eficiencia en la gestión del agua en los edificios hospitalarios se logra mediante la adopción rigurosa de buenas prácticas y tecnologías adecuadas, como la realización periódica de auditorías hídricas, cuyo objetivo sea identificar las zonas de alto consumo y las posibles fugas. En consonancia con esto, el uso de sistemas de detección de fugas es esencial para localizar y corregir tempranamente los problemas que podrían provocar un desperdicio significativo de agua. La sustitución de aparatos sanitarios antiguos, como inodoros, grifos y duchas, por modelos más eficientes puede reducir significativamente el consumo de agua. Asimismo, la utilización de lavavajillas y lavadoras más modernos, con bajo consumo de agua, contribuye a la disminución del desperdicio en las áreas de cocina y lavandería (Teslim, 2024).

Según Silva *et al*. (2024), la introducción de sistemas de reutilización de aguas grises y el aprovechamiento de aguas pluviales son soluciones eficientes para promover el ahorro de recursos hídricos y la sostenibilidad ambiental en los establecimientos de salud. Estas medidas se realizan a partir de la recolección, el tratamiento y la reutilización de aguas provenientes de duchas, lavamanos, lavaderos y lavadoras, además de la captación de agua de lluvia por medio de canaletas instaladas en techos, terrazas y áreas abiertas.

Las aguas recolectadas deben someterse a procesos específicos de tratamiento, que incluyen la filtración, en diversos grados, y la desinfección. Estas aguas, según el tipo de tratamiento, pueden utilizarse

incluso para fines potables, lo que encarece el proceso. Lo más común es la utilización de tratamientos simples, empleando este tipo de agua para el riego, la limpieza, la descarga de inodoros y el lavado de superficies.

Debido a la complejidad de los procesos que utilizan agua en el ámbito de la salud, es necesario una planificación técnica adecuada para el reúso de aguas grises y el aprovechamiento de aguas pluviales, como la instalación de tuberías separadas, sistemas de captación eficientes, además de tanques de almacenamiento protegidos contra la contaminación y sistemas de redistribución con bombas y tuberías específicas para estos procedimientos. Asimismo, se debe inspeccionar la calidad del agua y garantizar la eficiencia de los sistemas (Silva *et al*., 2024).

La implementación de estrategias de gestión y conservación del agua en los establecimientos de salud ofrece una serie de beneficios económicos y ambientales. La disminución del consumo hídrico contribuye directamente a la reducción de gastos en los servicios, lo que resulta en ahorros significativos a lo largo del tiempo. La adopción de tecnologías eficientes tiende a reducir los gastos relacionados con el mantenimiento y a prolongar la vida útil de los equipos. Paralelamente, estas iniciativas contribuyen significativamente al cumplimiento de las metas relacionadas con la sostenibilidad ambiental, aliviando la presión sobre los recursos hídricos locales y disminuyendo la huella ambiental de este tipo de edificaciones. (Teslim, 2024).

Tratamiento de aguas residuales

El acceso al tratamiento de aguas residuales es importante para el combate de enfermedades relacionadas con el agua en los establecimientos de salud (OPS, 2021). Como señala Lima (2023), los avances en el tratamiento de pacientes y el desarrollo de nuevos medicamentos han contribuido al aumento de la generación de residuos líquidos hospitalarios, lo que termina dificultando el tratamiento del agua cruda de las fuentes de abastecimiento.

La cantidad y las características de las aguas residuales generadas por los hospitales pueden variar considerablemente según los servicios prestados, como el número de camas, el número de pacientes y la disponibilidad de laboratorios (Hocaoglu *et al*., 2021). En los países desarrollados, cada cama, en promedio, puede generar más de 1.000 litros de aguas residuales por día, mientras que en los países en desarrollo el volumen estimado es de 200 a 400 litros por cama por día (Kumari; Maurya; Tiwari, 2020).

Las descargas provenientes de zonas administrativas, baños de habitaciones o enfermerías normales se consideran domésticas. Por otro lado, las aguas residuales resultantes de actividades de atención directa al

paciente, análisis e investigación, que contienen sustancias tóxicas como desinfectantes, detergentes, residuos de medicamentos, excrementos infecciosos, radioelementos y otros productos químicos como ácidos, álcalis, solventes, benceno, hidrocarburos y colorantes, se clasifican como descargas específicas y deben tener un destino monitoreado (Chartier *et al*., 2014). Tales efluentes, cuando se manipulan y desechan de forma inadecuada, representan un grave riesgo para la salud humana y el medio ambiente, debido a su capacidad para contaminar cuencas hidrográficas y contaminar aguas superficiales y subterráneas (Majumder *et al*., 2021).

De acuerdo con Lima (2023), las aguas residuales hospitalarias contaminadas, por lo general, deben ser tratadas en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) especializadas. Estas operaciones se dividen en tres tipos: físicas, como la presencia de cribado (o tamizado), mezcla, floculación, sedimentación, flotación y filtración; químicas, que eliminan o convierten los contaminantes mediante la adición de productos o reacciones químicas, como la precipitación, la adsorción y la desinfección; y biológicas, que utilizan microorganismos para eliminar materiales orgánicos e inorgánicos y llevar a cabo procesos como la eliminación carbonácea, la nitrificación y la desnitrificación.

El proceso de purificación de los efluentes de los establecimientos de salud generalmente consta de cinco etapas sucesivas, que incluyen el pretratamiento (físico y mecánico), el tratamiento primario (físico y químico), el tratamiento secundario (químico y biológico), el tratamiento terciario (físico y químico) y el tratamiento de los lodos generados (disposición final supervisada, reciclaje o incineración) (Crini; Lichtfouse, 2019). A lo largo de estas etapas, se lleva a cabo la eliminación de sólidos gruesos y flotantes, materia mineral sedimentable, sólidos inorgánicos, materia orgánica en suspensión y la eliminación de organismos patógenos (Lima, 2023).

Los métodos comunes de tratamiento de aguas residuales presentan desventajas, como el consumo excesivo de energía, la generación de grandes cantidades de lodos y la emisión de GEI. Estos procesos de tratamiento siguen un sistema de economía lineal, es decir, su objetivo principal es únicamente generar un efluente tratado, sin proporcionar la recuperación de energía y recursos (Oliveira *et al*., 2022).

Según Oliveira *et al*. (2022), la implementación de estrategias de tratamiento de aguas residuales orientadas a los principios de la economía circular propone un cambio en la forma en que se entienden las aguas residuales. En lugar de ser consideradas únicamente como un pasivo ambiental, como ocurre en el modelo lineal, pasan a ser un recurso capaz de generar ingresos a partir de su tratamiento, con un enfoque en la

recuperación y el aprovechamiento de subproductos. Los componentes del sistema se interpretan con una nueva perspectiva de sostenibilidad, alineándose con los principios de la EC.

El tratamiento eficiente de las aguas residuales es una forma de alcanzar los objetivos establecidos por la ONU para 2030, especialmente el ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento), que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Dentro de este objetivo, se destacan las metas 6.2 y 6.3, que pretenden lograr el acceso equitativo al saneamiento y a la higiene para todos, así como mejorar la calidad del agua al reducir la contaminación, eliminar el vertimiento y minimizar la emisión de productos químicos y materiales peligrosos. También se propone reducir a la mitad la proporción de aguas residuales sin tratar, aumentando sustancialmente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial (ONU, 2025).

Además del ODS 6, otros objetivos pueden alcanzarse de forma directa o indirecta mediante la promoción de la economía circular y el desarrollo sostenible de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La generación de energía renovable a partir de gases procedentes de sistemas anaerobios de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la contribución al desarrollo de ciudades sostenibles, el control de los gases de efecto invernadero y de los residuos derivados de estos tratamientos son algunos de los puntos que se asocian con las metas orientadas hacia la energía asequible y no contaminante (ODS 7), ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) y acción por el clima (ODS 13) (Oliveira *et al*., 2022).

Gestión de residuos

El sector de la salud es, a escala mundial, uno de los de más rápido crecimiento, lo que genera una cantidad considerable de desechos debido a la prestación de una infinidad de servicios para el control de enfermedades y el tratamiento de pacientes (Kenny; Priyadarshini, 2021). Utilizando a los Estados Unidos como ejemplo, Voudrias (2018) destacó que ese país produce cerca de 5,9 millones de toneladas por año de residuos de actividades de atención de la salud. La pandemia de COVID-19 fue otro factor determinante en el aumento de la generación de residuos sanitarios, debido al uso de cantidades significativas de mascarillas y equipos de protección personal, siendo los países en desarrollo los más afectados por estos desechos peligrosos y tóxicos debido a sistemas de gestión deficientes. (Dihan *et al*., 2023).

De acuerdo con la RDC nº 222, de 28 marzo de 2018 (Anvisa, 2018), los residuos sanitarios se clasifican en cinco grupos: A, B, C, D y E. El grupo A corresponde a materiales con la posible presencia de agentes

biológicos que, por sus características, pueden presentar un riesgo de infección, tales como materiales de laboratorio, carcasas (cadáveres de animales), piezas anatómicas, tejidos, bolsas transfusionales que contienen sangre, entre otros. El grupo B incluye sustancias químicas que pueden presentar riesgos para la salud pública o el medio ambiente, según sus características de inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad, como por ejemplo medicamentos, desinfectantes, residuos que contienen metales pesados y reactivos de laboratorio. El grupo C engloba cualquier material que contenga radionúclidos por encima de los límites permitidos por la Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), incluidos los desechos radiactivos provenientes de laboratorios de investigación y docencia en el área de la salud, laboratorios de análisis clínicos, servicios de medicina nuclear y radioterapia. El Grupo D abarca los residuos que no presentan un riesgo biológico, químico o radiactivo para la salud o el medio ambiente, pudiendo ser comparados con los residuos domésticos, tales como restos de alimentos, residuos de áreas administrativas y materiales utilizados para la higiene, entre otros. El Grupo E contempla los materiales punzocortantes o escarificantes, tales como hojas de afeitar, agujas, ampollas de vidrio, brocas, puntas diamantadas, hojas de bisturí, lancetas, espátulas y otros similares.

Estos residuos se generan principalmente en hospitales, laboratorios, centros de investigación, bancos de sangre y residencias de ancianos (OMS, 2024). Del total de residuos generados por los establecimientos de atención de la salud, alrededor del 85 % son desechos comunes, no peligrosos, similares a los domésticos. El 15 % restante se considera peligroso debido a su contaminación biológica, química o radioactiva (OMS, 2024). Para una gestión económica del tratamiento, sin embargo, es necesaria una estricta segregación en el momento de la generación de estos residuos.

La gestión inadecuada de los desechos de las actividades de atención de la salud puede agravar el cambio climático, debido principalmente a su quema a cielo abierto, que libera diversos contaminantes peligrosos, incluidas las dioxinas, los furanos y los metales tóxicos como el plomo, el cadmio y el mercurio, además de elevadas cantidades de dióxido de carbono. Asimismo, la eliminación de desechos biodegradables provoca emisiones significativas de gases de efecto invernadero, como el metano, cuya influencia en el clima es aún más fuerte que la de otros gases (Deviyanti; Shahriar, 2022).

El modelo tradicional de extraer, fabricar y desechar ha sido predominante en la gestión de residuos, lo que ha generado impactos ambientales y económicos cada vez más visibles, principalmente en sectores como el de la salud, donde una parte significativa de los desechos generados se

considera peligrosa, lo que hace que el proceso sea insostenible en estos entornos (Sepetis; Georgantas; Nikolaou, 2025).

En este sentido, la adopción de principios de economía circular para la gestión de los desechos de las actividades de atención de la salud se considera una medida que contribuye a la sostenibilidad urbana, ya que colabora con la reducción de los impactos ambientales, aumenta la eficiencia de los recursos y fortalece los flujos circulares de materiales. (D'Alessandro *et al*., 2024). La gestión eficaz de los residuos sanitarios contribuye significativamente al cumplimiento de diversos ODS, especialmente: ODS 3 (Salud y Bienestar); ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento); ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico); ODS 12 (Producción y Consumo Responsables); y ODS 13 (Acción por el Clima) (Sharma *et al*., 2021).

La implementación de la economía circular en el sistema de gestión de residuos de servicios de salud es más compleja que en otros sectores, debido a la tipología de los residuos, especialmente por la presencia de sustancias peligrosas, lo que representa un desafío, ya que muchos materiales utilizados en los establecimientos de atención de la salud son de un solo uso, con muy baja posibilidad de reciclaje o reutilización, incluso en otros sectores menos exigentes. (Dihan *et al*., 2023).

Para emplear un escenario de gestión sostenible para el sistema de gestión de residuos sanitarios, es necesario adoptar estrategias de economía circular que involucren el objetivo de minimizar la generación de residuos, ya que cuanto menor sea la producción de residuos, menores serán los costos para su gestión y mayor será la eficiencia en la utilización de materiales. Para ello, es necesario que los establecimientos de atención de la salud formen equipos que desarrollen procedimientos estratégicos para la gestión de residuos, tales como realizar compras inteligentes basadas en el ciclo de vida de los productos, prever sus efectos ambientales (como la toxicidad y el costo de eliminación), así como la posibilidad de reutilización y reciclaje de materiales. (Dihan *et al*., 2023).

Para la economía circular, la adquisición sostenible significa, inicialmente, una estrategia que busca reducir el consumo de recursos naturales y materiales, así como minimizar los impactos ambientales de los insumos utilizados, priorizando productos compuestos por materiales renovables o materias primas con contenido reciclado (Sanofi, 2024). Cabe destacar la compra de productos de plástico reciclable, como el polietileno o el polipropileno, en lugar de herramientas compuestas por policloruro de vinilo (PVC), así como la sustitución de las mascarillas faciales de un solo uso por otras de materiales duraderos que permitan la esterilización y la reutilización (Dihan *et al*., 2023).

Para aplicar estrategias de tratamiento de residuos sanitarios, la segregación en el origen es fundamental para garantizar el manejo, la eliminación y la minimización segura de los riesgos ambientales y para la salud (Aquilina, 2025). La segregación consiste en separar y seleccionar los residuos sanitarios en el lugar de generación de acuerdo con la clasificación adoptada. Sus principales objetivos son: evitar la contaminación de residuos considerados comunes; posibilitar la implementación de procedimientos de manejo para cada grupo separado; permitir el tratamiento específico para cada categoría de residuo; minimizar los riesgos de contaminación de las personas responsables; reducir los gastos relacionados con el manejo de los residuos; posibilitar la adopción del aprovechamiento y reciclaje de residuos no peligrosos (Brasil, [s.f.]).

Otra estrategia que busca mitigar los efectos generales de los residuos sanitarios en el medio ambiente es prolongar la vida útil de ciertos materiales, ya sea mediante la reutilización o a través de otros medios, como la reparación, la renovación o el reaprovechamiento. Para la adopción de esta práctica, sin embargo, es necesario implementar técnicas de segregación rigurosa, acompañadas de recolecciones selectivas para distinguir entre sustancias peligrosas, no peligrosas, reutilizables y reciclables (Dihan *et al*., 2023). Para que los materiales contaminados utilizados en los establecimientos de asistencia sanitaria puedan considerarse reutilizables, es fundamental que se sometan a estrictos procesos de esterilización (Voudrias, 2018). Entre los elementos que pueden considerarse reutilizables, se destacan las batas quirúrgicas, las cortinas, las cubiertas para mesas, los instrumentos quirúrgicos, los recipientes para objetos punzantes, los instrumentos laparoscópicos, los recipientes de succión y las bandejas de anestesia (Voudrias, 2018).

La reutilización de materiales contribuye tanto a la reducción de costos como a la disminución en la generación de residuos. Según un estudio realizado por Kwakye, Brat y Makary (2011), se estimó una reducción de aproximadamente 15.422 kg/año de residuos y una economía US$ 175.000/año, en un hospital con 1.000 camas, utilizando únicamente recipientes reutilizables para objetos punzantes en lugar de desechables.

Según Voudrias (2018), el reciclaje es otra técnica que puede emprenderse en un establecimiento de salud antes de la eliminación de los residuos. Debido a las preocupaciones y regulaciones asociadas con el manejo de los residuos peligrosos biológico-infecciosos o residuos peligrosos, sin embargo, el uso del reciclaje puede ser difícil, o incluso imposible, cuando involucra algunos tipos de residuos. No obstante, existe una enorme cantidad de materiales no peligrosos en los establecimientos de salud que pueden reciclarse de forma fácil y segura, contribuyendo a la economía

ambiental y financiera. Entre estos materiales se encuentran el envoltorio azul – un material a base de polipropileno utilizado para envolver material esterilizado y que representa aproximadamente el 20 % de los residuos generados en los quirófanos –, cartón, vidrio, papel, latas de bebidas, periódicos, revistas, plásticos PET, baterías y aparatos eléctricos y electrónicos (Voudrias, 2018).

La implementación de prácticas de reciclaje puede reducir de forma significativa el total de desechos generados en los establecimientos de salud, contribuyendo directamente a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la eliminación inadecuada y a la mitigación del cambio climático. Esta iniciativa puede promover ahorros sustanciales de costos relacionados con la eliminación de estos desechos. (Tabibi, 2024). Según Ultreras-Rodríguez *et al*. (2024), En un análisis de casos en hospitales y clínicas, la adopción de programas de reciclaje y reutilización contribuye a una reducción de hasta el 40% en la cantidad de residuos enviados a vertederos o incineración. Estos autores afirman además que se registró una disminución del 18 % en los costos operativos relacionados con la eliminación de residuos en establecimientos de salud seleccionados.

De acuerdo con MacNeill *et al*. (2020), la transición hacia una economía circular en el sector de la salud requiere la colaboración de diversos grupos de partes interesadas, como los administradores de hospitales, los proveedores de atención médica y los fabricantes de equipos, quienes deben actuar con el objetivo común de lograr una transformación sistémica.

Conclusiones

La introducción de la economía circular (EC) en los establecimientos de salud no es solo una alternativa viable, sino una necesidad frente a la gama de desafíos ambientales, sociales y económicos que enfrentan la población mundial y el planeta. Al cambiar el modelo lineal basado en “extraer, producir, consumir y desechar” por una práctica que priorice la reducción, la reutilización y el reciclaje, los establecimientos de salud pueden minimizar significativamente sus impactos ambientales y la extracción de recursos naturales, además de generar beneficios operativos y financieros. Estas prácticas se alinean directamente con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, lo que demuestra la importancia del sector de la salud en este rol.

La adopción de soluciones como el diseño sostenible, la eficiencia energética, la gestión hídrica adecuada, el tratamiento de efluentes y el manejo responsable de residuos, demuestra que los establecimientos de

atención de la salud pueden prestar servicios asistenciales de calidad con responsabilidad ambiental. Los ejemplos presentados a lo largo de esta revisión refuerzan la eficiencia de estas estrategias, comprobando sus beneficios ambientales, económicos y sociales.

Agradecimientos:

Los autores expresan su agradecimiento al *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* por el apoyo a la presente investigación.

Referencias

ABDALLA, Fernando Antônio; SAMPAIO, Antônio Carlos Freire. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Entorno Geográfico**, n. 15, p. 82-102, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.25100/eg.v0i15.6712. Acesso em: 25 jul. 2025.

ALEXIS, G. K.; LIAKOS, P. A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts. **Applied Thermal Engineering**, v. 54, n. 2, p. 488-496, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.019. Acesso em: 26 mar. 2025.

AL-RAWI, Omar F.; BICER, Yusuf; AL-GHAMDI, Sami G. Sustainable solutions for healthcare facilities: examining the viability of solar energy systems. **Front. Energy Res.**, v. 11, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1220293. Acesso em: 26 maio 2025.

ALSAWAF, Ebtisam S.; ALBADRY, Amjad M. Principles for the sustainable design of hospital buildings. **Int. J. Sustain. Dev. Plann**., v. 17, n. 6, p. 1797-1808, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.18280/ijsdp.170614. Acesso em: 11 abr. 2025.

ALTIN, Ahmet; ALTIN, Süreyya. Sustainable Water and Wastewater Management in Hospitals. **Turjoem**, Yozgat, v. 2, n. 1-3, p. 1-7, 2017. Disponível em: https://dergipark.org.tr/en/pub/turjoem/issue/31076/327724. Acesso em: 16 jul. 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2018.

AQUILINA, Jahel. **Public hospital waste segregation practices**: a scoping review. 2024. 96 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Baseada em Evidências e Tomada de Decisão Eficaz) University of Malta, Malta, 2024. Disponível em: https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/132878. Acesso em: 6 jun. 2025.

ARUP Global Consultancy. **Health Care's Climate Footprint**. 2019. Disponível em: https://www.arup.com/insights/healthcares-climate-footprint/. Acesso em: Acesso em: 6 jun. 2025.

AZIZUDDIN, Muhammad; SHAMSUZZOHA, Ahm; PIYA, Sujan. Influence of circular economy phenomenon to fulfil global sustainable development goal: Perspective from Bangladesh. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11455, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su132011455. Acesso em: 18 mar. 2025.

BARCELOS, Brenda Rodrigues. Economia Linear: Desafios e Soluções para um Futuro Sustentável. **Blog Crescendo Juntos**, São Paulo, 2024. Disponível em: https://cefsa.org.br/crescendojuntos/economia-linear-desafios-e-solucoes-para-um-futuro-sustentavel/. Acesso em: 29 jul. 2025.

BIRO, Andrew. 16 Sustainable Health Care Design Examples. **Green Building e Design**, 2024. Disponível em: https://gbdmagazine.com/sustainable-health-care-design-examples/. Acesso em: 15 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **UNIDADE 05: Controle de resíduos de serviços de saúde**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, [s.d]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/UNIDADE05.PDF. Acesso em: 06 jun. 2025.

ÇAKIR, Uğur; COMAKLI, Kemal; YÜKSEL, Fikret. The role of cogeneration systems in sustainability of energy. **Energy Convers. Manag**., v. 63, p. 196-202, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.041. Acesso em: 15 maio 2025.

CHARTIER, Yves *et al*. (eds.). **Safe management of wastes from health-care activities**. 2nd ed. Genebra: World Health Organization, 2014. Disponível em: https://www.who.int/iris/bitstream/10665/85349/1/9789241548564_eng.pdf. Acesso em: 1º nov. 2024.

CHEN-XU, José *et al*. Interventions for increasing energy efficiency in hospitals (Protocol). **Cochrane Library**, n. 3, p. 14, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/14651858.CD015693. Acesso em: 25 mar. 2025.

CORVALAN, Carlos *et al*. Towards climate resilient and environmentally sustainable health care facilities. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 17, n. 23, p. 8849, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17238849. Acesso em: 31 jul. 2025.

CRINI, Grégorio; LICHTFOUSE, Eric. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. **Environ Chem Lett**, v. 17, n. 1, p. 145-155, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9. Acesso em: 11 ago. 2025.

D'ALESSANDRO, Carlotta *et al*. Exploring circular economy practices in the healthcare sector: a systematic review and bibliometric analysis. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 401, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16010401. Acesso em: 2 abr. 2025.

DAVIS, Annette. Design for Disassembly. **Re-Dwell**, 2024. Disponível em: https://www.re-dwell.eu/concept-definition/51. Acesso em: 24 abr. 2025.

DEVIYANTI, Indah; SYAHRIAR, Irma. **Green hospitals for a healthier future.** Indonesia: OMS - World Health Organization, 2022. Disponível em: https://www.who.int/indonesia/news/detail/15-08-2022-green-hospitals-for-a-healthier-future. Acesso em: 9 maio 2025.

DIHAN, Musfekur Rahman *et al*. Healthcare waste in Bangladesh: Current status, the impact of Covid-19 and sustainable management with life cycle and circular economy framework. **Sci. Total Environ**., v. 871, p. 162083, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162083. Acesso em: 3 abr. 2025.

DURAIVELU, Revati; ELUMALAI, Natarajan. Performance evaluation of a decentralized rooftop solar photovoltaic system with a heat recovery cooling unit. **Environ Sci Pollut Res**, v. 28, p. 19351–19366, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-020-12104-0. Acesso em: 27 mar. 2025.

FERNANDES, Marco Filipe Santos. **Economia Circular no Setor da Saúde**. 2024. 35 p. Dissertação (Mestrado em Economia) Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2024. Disponível em: https://estudogeral.uc.pt/retrieve/276322/Vers%C3%A3o%20Final%20do%20Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio_Marco%20Fernandes_2018263816.pdf. Acesso em: 12 mar. 2025.

FERREIRA, Isabela Gobbo; CARAN, Nara da Cruz Carolli. O papel do gerenciamento ambiental na garantia da qualidade da água hospitalar. **Rev Qualidade HC**, Ribeirão Preto, 2023. Disponível em: https://hcrp.usp.br/revistaqualidade/uploads/Artigos/478/478.pdf. Acesso em: 7 nov. 2024.

FRANCO, Andrea *et al*. A review of sustainable energy access and technologies for healthcare facilities in the Global South. **Sustain. Energy Technol**. Assess., v. 22, p. 92-105, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.02.022. Acesso em: 16 maio 2025.

HOCAOGLU, Selda Murat *et al*. Treatment-based hospital wastewater characterization and fractionation of pollutants. **J Water Process Eng**., v. 43, 2021. Disponível em: https://sci-hub.se/uptodate/S2214714421002920.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 20887:2020**. Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance. Geneva: ISO, 2020. Disponível em: https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/ISO-20887_2020_01.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.

KARLINER, Josh *et al*. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. **Health Care Without Harm; ARUP**, 2019. p. 43. Disponível em: https://global.noharm.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

KENNY, Christina; PRIYADARSHINI, Anushree. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. **Healthcare**, v. 9, n. 3, p. 284, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/healthcare9030284. Acesso em: 1º abr. 2025.

KUMARI, Astha; MAURYA, Nityanand Singh; TIWARI, Bhagyashree. Hospital wastewater treatment scenario around the globe. In: TYAGI, R.D. *et al*. (eds.). **Current developments in Biotechnology and Bioengineering.** Elsevier, 2020. cap. 15, p. 549-570. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7252247/. Acesso em: 13 fev. 2025.

KWAKYE, Gifty; BRAT, Gabriel A.; MAKARY, Martin A. Green surgical practices for health care. **Archives of surgery**, v. 146, n. 2, p. 131-136, 2011. Disponível em: https://jamanetwork.com/journals/jamasurgery/article-abstract/406778. Acesso em: 8 abr. 2025.

LAWSON, Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. London: CRC Press, 2014, 280 p. Disponível em: https://doi.org/10.1201/b16607. Acesso em: 2 jun. 2025.

LIMA, Isabelle Cardoso Alves de. **Efluentes hospitalares e sua relação com as estações de tratamento de esgoto com ênfase na composição microbiológica**. 2023. 100 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2023. Disponível em: https://hdl.handle.net/11449/251609. Acesso em: 11 ago. 2025.

LOPES, Amanda dos Santos. **Processo de projeto de uma arquitetura sustentável para edificações de saúde**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014. Disponível em: http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/dissertacao_formatada.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia *et al*. Industrialização da construção no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS): A construção dos hospitais da Rede Sarah: uma tecnologia diferenciada através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah – CTRS. **Arquitextos Vitruvius**, São Paulo, v. 134, n. 12, jul. 2011. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.134/3975. Acesso em: 3 jun. 2025.

MACNEILL, Andrea J. *et al*. Transforming the medical device industry: road map to a circular economy: study examines a medical device industry transformation. **Health Affairs**, [S.l.], v. 39, n. 12, p. 2088-2097, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01118. Acesso em: 13 mar. 2025.

MAJUMDER, Abhradeep *et al*. A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. **J Environ Chem Eng.**, v. 9, n. 2, 2021. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33251108/. Acesso em: 13 fev. 2025.

MORALES, Matteo Antonio S. Modular Construction: A Sustainable Solution For Carbon Emission Reduction In The Construction Industry. **Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.**, v. 8, p. 393-401, ISSN 2455-2143, 2023.

OLIVEIRA, Márcio N. de. Reduzindo a pegada de carbono do setor de saúde. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 11, n. 15, p. 5-9, 2021.

OLIVEIRA, Rafael de Freitas *et al*. Estratégias de economia circular no tratamento de esgotos sanitários: o uso de câmaras de vácuo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 11, p. 76584-76592, 2022. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/54865. Acesso em: 5 ago. 2025.

OLIVEIRA, Sarah M. da S. *et al*. Análises microbiológicas da água utilizada em um hospital público no município de Quixeramobim, Ceará. **Brazilian J of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 44092-44098, maio 2021. DOI 10.34117/bjdv.v7i5.29192. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29192. Acesso em: 14 nov. 2024.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Hospitais Saudáveis, Planeta Saudável, Pessoas Saudáveis**: Abordando as mudanças climáticas em ambientes de saúde. Geneva: OMS, 2009. 32 p. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/climate-change/healthy-hospitals-healthy-planet-healthy-people.pdf?sfvrsn=8b337cee_1. Acesso em: 12 maio 2025.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Resíduos de cuidados de saúde**. Geneva: OMS, 2024. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste. Acesso em: 4 abr. 2025.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: Portal Nações Unidas Brasil, 2025. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br. Acesso em: 6 ago. 2025.

OPS – Organización Panamericana de la Salud. **Agua, saneamiento e higiene en establecimientos de atención de salud de siete países de América Latina.** Washington: OPS, 2021. DOI 10.37774/9789275324653. Disponível em:https://doi.org/10.37774/9789275324653. Acesso em: 24 out. 2024.

OR, Zeynep; SEPPÄNEN, Anna-Veera. The role of the health sector in tackling climate change: A narrative review. **Health Policy**, v. 143, p. 105053, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105053. Acesso em: 1º ago. 2025.

PALIWAL, Shreyansh. **Opportunities and Challenges of Modular Construction in a Hospitality Centric Environment.** 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - University of Nevada, Las Vegas, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.34917/15778516. Acesso em: 30 maio 2025.

PRADA, Marcela *et al*. New solutions to reduce greenhouse gas emissions through energy efficiency of buildings of special importance - Hospitals. **Science of the Total Environment**, v. 718, p. 137446, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137446. Acesso em: 27 mar. 2025.

PRIYALAL, W. G. S. S. *et al*. Strategies for Effective Water Management in Health Care (HC) Sector in Sri Lanka. **IC-SD**, 2019. Disponível em: https://ic-sd.org/wp-content/uploads/2019/11/sabrina_nazeer.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

SAJID, Zeerak Waryam *et al*. Climate change mitigation through modular construction. **Smart Cities**, v. 7, n. 1, p. 566-596, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/smartcities7010023. Acesso em: 3 jun. 2025.

SANOFI. **Circular Economy and Waste Management**: Sanofi, 2024. Disponível em: https://www.sanofi.com/assets/dotcom/content-app/documents/2024/Circular-Economy-and-Waste-Management.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

SANTOS, Jagna Stefani dos; TORRES, Maurício C. A. Design biofílico e eficiência energética em centros de saúde: uma revisão bibliográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5919. Acesso em: 4 jun. 2025.

SCHROEDER, Patrick; ANGGRAENI, Kartika; WEBER, Uwe. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jiec.12732. Acesso em: 18 mar. 2025.

SEPETIS, Anastasios; GEORGANTAS, Konstantinos; NIKOLAOU, Ioannis. A Proposed Circular Economy Model for Hospital Bio-Waste Management in Municipal Settings. **Sustainability**, v. 17, n. 1, p. 20, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17010005. Acesso em: 19 mar. 2025.

SHARMA, Hari Bhakta *et al*. Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. **Sci. Total Environ**., v. 800, p. 149605, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605. Acesso em: 7 abr. 2025.

SILVA, Alice Marina de Lima da *et al*. Reuse of greywater and rainwater in health units: case study in upas in the municipality of São Gonçalo. **Rev. Gest. Soc. Ambient.**, Miami, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2024. Disponível em: https://search.proquest.com/openview/e7b2fae31650392f8ab40ee9096d2115/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2031968. Acesso em: 23 jul. 2025.

SMAS-Sintra – **Serviços Municipalizados de Sintra**, PO. Disponível em: https://www.smas-sintra.pt/sensibilizacao-ambiental/economia-circular/. Acesso em: 17 ago. 2025.

SUSZANOWICZ, Dariusz; RATUSZNY, P. **Energy efficiency improvement in hospital buildings**, based on the example of a selected type of hospital facility in Poland. In: IOP CONFERENCE SERIES: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, v. 564, p. 012129, 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/564/1/012129. Acesso em: 26 mar. 2025.

TABIBI, Alex. Recycling Initiatives in the Healthcare Sector. **Green.Org**, 2024. Disponível em: https://green.org/2024/01/30/recycling-initiatives-in-the-healthcare-sector/. Acesso em: 23 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 33, p. 224-235, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.002. Acesso em: 14 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Lighting Systems at the Hospitals: An Overview. **Majlesi Journal of Energy Management**, v. 2, n. 2, p. 39-51, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/download/80313690/pdf.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

TESLIM, Badrudeen. Water Management and Conservation Strategies in Hospitals. **ResearchGate**, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383784162_WATER_MANAGEMENT_AND_CONSERVATION_STRATEGIES_IN_HOSPITALS. Acesso em 17 jul. 2025.

TOMANEK, Michał. Energy Efficiency in Hospitals–towards Sustainable Healthcare. **Builder**, v. 28, n. 3, p. 38-42, 2024. Disponível em: https://publisherspanel.com/api/files/view/2399802.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.

ULTRERAS-RODRÍGUEZ, Andrés *et al*. Circular Economy in the Health Sector: Sustainable Management of Hospital Waste and Its Environmental Impact. **Seminars in Medical Writing and Education**, v. 3, p. 663, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.56294/mw2024663. Acesso em: 22 maio 2025.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Kigali cooling efficiency programme 2019**. Disponível em: https://www.unep.org/ozonaction/kigali-cooling-efficiency-programme. Acesso em: 22 maio 2025.

VERLICCHI, Paola *et al*. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **Journal of hydrology**, v. 389, n. 3-4, p. 416-428, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.005. Acesso em: 15 jul. 2025.

VICTORIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF HEALTH. **Guidelines for Water Reuse and Recycling in Victorian Health Care Facilities**. Victoria: Melbourne, 2009. Disponível em: https://vgls.sdp.sirsidynix.net.au/client/search/asset/1161347. Acesso em: 15 jul. 2025.

VIET, H. M. **Reciclagem de metais metálicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/reciclagem-mm/pag4.php. Acesso em: 25 jul. 2025.

VILAS-BOAS, Doris. Sustentabilidade em estabelecimentos assistenciais de saúde: soluções de projeto arquitetônico. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 5, n. 8, p.11-19, 2011.

VOUDRIAS, Evangelos A. Healthcare waste management from the point of view of circular economy. **Waste Management**, v. 75, p. 1-2, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.020. Acesso em: 1º abr. 2025.

VOURDOUBAS, John. Possibilities of using sustainable energy technologies including CHP systems, solar photovoltaics and heat pumps in hospitals. **EJ-Energy**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.2.52. Acesso em: 27 maio 2025.

VOURDOUBAS, John. Use of renewable energy sources for heat and cooling generation in hospitals. **ASRJETS**, v. 79, n. 1, p. 98-112, 2021. Disponível em: https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/6840. Acesso em: 31 mar 2025.

WIPRO LIGHTING. Integrating Smart Lighting Systems in Modern Hospitals: A Bright Future for Healthcare. **Wipro Lighting**, 2024. Disponível em: https://www.wiprolighting.com/blog/integrating-smart-lighting-systems-in-modern-hospitals-a-bright-future-for-healthcare. Acesso em: 28 maio 2025.

ZAZA, Paraskevi N.; SEPETIS, Anastasios; BAGOS, Pantelis G. Prediction and optimization of the cost of energy resources in Greek public hospitals. **Energies**, v. 15, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en15010381. Acesso em: 21 mar. 2025.

ZHAO, Yang; ZHAN, Qinchuan; XU, Tiancheng. Biophilic design as an important bridge for sustainable interaction between humans and the environment: Based on practice in Chinese healthcare space. **Comput. Math. Methods Med.**, v. 2022, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2022/8184534. Acesso em: 11 jun. 2025.

ZHONG, Weijie; SCHRÖDER, Torsten; BEKKERING, Juliette. Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. **Frontiers of Architectural Research**, v. 11, n. 1, p. 114-141, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006. Acesso em: 8 maio 2025.

Autores

Antonio Pedro Alves de Carvalho Arquitecto e ingeniero civil, con posdoctorado por la Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor titular de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Federal de Bahía, coordinador del Consejo Editorial de la Asociación Brasileña para el Desarrollo del Edificio Hospitalario (ABDEH), e investigador en las áreas de arquitectura hospitalaria, metodología del proyecto arquitectónico, medio ambiente y salud.

Jair de Jesus Lima Licenciado en Ciencia y Tecnología. Actualmente cursa estudios de grado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Universidad Federal de Bahía.

Artículo

Iluminación natural y proceso proyectual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo

Autores
Danielly Marcianny Silva Eulário Universidad de São Paulo
Paulo Sergio Scarazzato Universidad de São Paulo
Ludmila Cardoso Fagundes Mendes Universidad Federal de Minas Gerais

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.04

Resumen

Este artículo analiza el enfoque de la iluminación natural en el proceso de diseño del arquitecto Siegbert Zanettini, centrándose en el Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, en São Paulo. La investigación parte de la discusión contemporánea sobre los beneficios de la luz natural en los entornos de atención de la salud, especialmente relacionados con el bienestar, la recuperación de los pacientes y la regulación del ritmo circadiano. El estudio se desarrolló mediante una revisión de la literatura, el análisis del diseño arquitectónico y una entrevista con el arquitecto. Los resultados evidencian que las soluciones arquitectónicas como los atrios con claraboyas, los dispositivos de sombreado y la orientación adecuada de las fachadas contribuyen a la distribución de la luz natural en los ambientes internos. Se concluye que el proceso de diseño desempeña un papel fundamental en la incorporación de estrategias pasivas de iluminación natural, capaces de promover entornos hospitalarios más humanizados, eficientes y alineados con las condiciones climáticas locales.

Palabras clave:

arquitectura hospitalaria, iluminación natural, proceso de diseño, ecoeficiencia, evaluación de post-ocupación.

Introducción

El entorno hospitalario se ha venido adaptando a los cambios ocurridos en función de su rol, complejidad y las actividades de sus ocupantes. El desafío para dichos entornos es contribuir a atenuar el sufrimiento (Lisboa, 2021). Sin embargo, el inicio del ordenamiento de los hospitales no surge de la búsqueda de "una acción positiva del hospital sobre el enfermo o la enfermedad", según Lisboa, 2021:

> El primer factor de la transformación fue, no la búsqueda de una acción positiva del hospital sobre el enfermo o la enfermedad, sino simplemente la anulación de los efectos negativos del hospital. No se buscó primero medicalizar el hospital, sino purificarlo de los efectos nocivos del desorden que este conllevaba. Y desorden aquí significa las enfermedades que podía suscitar en las personas internadas y propagar en la ciudad en la que estaba situado, como también el desorden económico-social del que era un foco perpetuo [...]. (Lisboa, 2021, pág.78)

Los edificios hospitalarios difieren de otras tipologías, como señaló Jarbas Karman (Bitencourt; Saccomori, 2021), fundador del Instituto de Investigaciones Hospitalarias.

> "Creo que pocos saben "ver" un hospital, porque el hospital, desafortunadamente, es muy poco conocido entre nosotros; muchos ni siquiera entran en el fondo de las soluciones presentadas, sin importarles que estas sean sumarias y superficiales, con tal de que el aspecto de la planta sea "limpio" y el exterior monumental. Este modo de evaluar la obra arquitectónica tal vez sirva para edificios comerciales, pero nunca para un hospital. El hospital es muy diferente, ya que, al mismo tiempo que cada departamento y pieza integrante forzosamente tienen que observar dimensiones exactas, es necesario que estos departamentos y piezas estén dispuestos en conformidad con las interconexiones ideales. Cualquier concesión se reflejará en la elevación del costo de mantenimiento del hospital" (Jarbas Karman, Folha da Manhã, 24 de agosto de 1958. IPH, 2016)

La postura de Zanettini con respecto a los proyectos hospitalarios está plenamente en consonancia con la de Jarbas Karman ya que, al trabajar conscientemente con el potencial de la iluminación natural en tales edificios, contribuye a su eficiencia energética. Además, la correcta utilización de la iluminación natural, que pasa por el control de la insolación y del deslumbramiento potencialmente presentes en ella, contribuye a un mayor bienestar, confort y promoción de la salud de los pacientes y del personal.

La literatura temática sobre edificaciones hospitalarias indica que las formas convencionales pueden promover un estrés innecesario en el paciente y en el equipo asistencial. Una alternativa para reducir dicho problema es la aplicación de la metodología del diseño basado

en la evidencia, la cual puede dar como resultado proyectos con configuraciones físicas capaces de reducir la fatiga, a fin de hacer más eficientes los cuidados, además de viabilizar entornos de seguridad y de calidad para los ocupantes (Ulrich *et al*., 2004).

El contacto de los pacientes hospitalizados con la naturaleza, a través del acceso visual al exterior desde la cama, puede resultar en una recuperación más rápida, con una reducción del estrés y del dolor. Las distracciones positivas, como el acceso a vistas de la naturaleza, además del acceso a la luz natural, ayudan al paciente a percibir el espacio más allá de su dolor o angustia (Ulrich, 1991). En este contexto, la buena arquitectura hospitalaria contemporánea busca, a través de la metodología del Diseño Basado en Evidencias, muy conocido en el ámbito técnico por su nombre y siglas en inglés, *Evidence-Based Design* (EBD), atender las necesidades de los diferentes grupos de ocupantes de los entornos hospitalarios, lo que a veces puede resultar conflictivo. Se requiere sensibilidad y creatividad. Ulrich propone evaluar las ganancias y pérdidas para el diseño de un proyecto arquitectónico "psicológicamente solidario".

Aspectos como la geometría de los espacios, la orientación del edificio, la transmitancia de los vidrios y las reflectancias de las superficies internas son relevantes. Factores externos, como la latitud y la longitud de la localidad, los datos climáticos y los tipos de cielos, también impactan en la cantidad y la calidad de la luz natural en los ambientes. Estos factores deben ser considerados en el diseño arquitectónico con el fin de optimizar la captación y distribución de la iluminación natural, para la promoción del confort visual y del bienestar de los usuarios (Garcia *et al*., 2020).

Objetivo

Este artículo tiene como objetivo principal analizar el enfoque de la iluminación natural en el proceso de diseño del arquitecto Siegbert Zanettini, adoptado en el Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, en una época anterior al uso de los principios que hoy se debaten en el campo del Diseño Basado en Evidencias. Adelantado a su tiempo, Zanettini comprendió la importancia de la conexión visual con el exterior y el uso de atrios en sus proyectos hospitalarios, como recursos para la reducción del estrés y el soporte psicológico defendidos por Ulrich.

Revisión de la literatura

La contribución de la iluminación natural en los espacios de atención de la salud

La luz da ritmo a la vida a través de efectos visuales o no visuales (Brandston, 2010). La contribución esencial de la luz del día está directamente ligada al bienestar general del ser humano y relacionada con la fisiología humana, al contribuir a la regulación del ciclo circadiano, además de reducir el consumo de energía y hacer que el entorno sea más humano y acogedor (Heschong, 2021).

Desde el punto de vista fisiológico, la luz del día ejerce un impacto significativo sobre el sistema circadiano humano, responsable de la regulación de diversos procesos biológicos, tales como el ciclo de sueño y vigilia, el estado de ánimo y los niveles de alerta. La luz que llega a la retina actúa como el principal sincronizador de estos ritmos biológicos en relación con el ciclo natural de 24 horas del día y de la noche. Cuando las personas permanecen largos periodos en entornos con baja exposición a la luz natural, puede producirse una desregulación circadiana, lo que puede dar lugar a diversos problemas de salud, como trastornos del sueño, alteraciones metabólicas e impactos negativos en el bienestar psicológico (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La iluminación natural es ampliamente reconocida como un atributo ambiental fundamental en los entornos de atención de la salud, debido a sus beneficios para la salud humana, el bienestar y el rendimiento en las actividades cotidianas. Históricamente, el concepto de "hospital terapéutico" en el siglo XVIII ya vinculaba las tasas de curación con la calidad espacial, destacando la ventilación y la luz solar como factores cruciales para la recuperación. Con el avance de las investigaciones contemporáneas, se ha comprendido que la luz no es solo una necesidad visual, sino un elemento que influye en el reloj biológico, ayudando a la regulación endocrina y a la mitigación del estrés y la fatiga (Ribeiro *et al*, 2020).

Tanto la luz solar directa como la luz del día contribuyen a la recuperación de los pacientes, especialmente cuando les permiten visualizar el exterior o, al menos, percibir el transcurso de las horas del día. Las buenas prácticas en la atención de la salud empleadas a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, como el uso de terrazas, solárium y el contacto con el aire fresco en los hospitales para el tratamiento de la

tuberculosis, pueden considerarse un medio para la recuperación (Cooper-Marcus y Barnes, 1995).

Otro aspecto relevante se refiere al impacto de la iluminación natural en el rendimiento y la productividad de los profesionales de la salud. Los

estudios indican que los entornos de trabajo adecuadamente dotados de iluminación natural pueden mejorar la concentración, reducir la fatiga visual e incluso contribuir a la disminución de errores por parte de los profesionales de la salud. La presencia de luz diurna en las estaciones de trabajo y áreas de atención, por lo tanto, no solo beneficia a los pacientes, sino que también mejora las condiciones de trabajo de los equipos médicos y técnicos (Capolongo *et al*, 2016).

Además de los efectos fisiológicos, la iluminación natural contribuye a los aspectos psicológicos y emocionales de los usuarios. La presencia de ventanas y la posibilidad de visualizar el entorno externo promueven una sensación de conexión con el mundo exterior, reduciendo la sensación de aislamiento que frecuentemente experimentan los pacientes hospitalizados. Este contacto visual con el exterior puede contribuir a la reducción del estrés y a la creación de entornos más humanizados, favoreciendo el proceso terapéutico (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

En entornos hospitalarios, la presencia de iluminación natural se considera un factor determinante de la salud, ya que promueve la sincronización de la fisiología humana. Los estudios indican que la existencia de ventanas y el acceso a la luz solar reducen significativamente la aparición de dolor, fiebre y depresión posoperatoria en los pacientes. Además, la iluminación natural contribuye a mejorar el ciclo del sueño y acelera la recuperación en tratamientos prolongados, como los oncológicos, y en unidades de cuidados intensivos (UCI). La privación de este contacto visual con el exterior puede llevar al individuo a situaciones de malestar, dado que el contacto con el entorno externo responde a una necesidad biológica de información visual (Ribeiro *et al*, 2020).

Además de los beneficios para la salud y la experiencia del usuario, el aprovechamiento de la iluminación natural también presenta ventajas desde el punto de vista energético y ambiental. La reducción de la dependencia de la iluminación artificial durante el día puede disminuir el consumo energético de los edificios hospitalarios, contribuyendo a las estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética. Al considerar cuidadosamente

aspectos como la orientación, el dimensionamiento de las aberturas, los materiales y la organización espacial, es posible crear ambientes que maximicen los beneficios de la luz del día, promoviendo espacios más saludables y eficientes (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

Influencia del diseño arquitectónico en la percepción de la luz del día en el espacio construido

Las directrices presentes en las normativas determinan las condiciones y atributos de los espacios de atención médica, así como las relaciones entre

las ventanas, el medio externo, el interno y los ocupantes, aunque todavía no existe una definición unificada sobre la calidad de la visualización a través de una ventana aplicada a diversos tipos de ocupaciones y edificaciones. El proceso de diseño de edificaciones hospitalarias debe, por lo tanto, comprometerse con la calidad de vida de quienes trabajarán o recibirán tratamiento en ellas, puesto que entornos como las habitaciones de hospitalización pueden requerir aberturas diferentes a las de los espacios de trabajo, dada la especificidad de la ocupación (Ko *et al*., 2021).

El estudio de implantación, la volumetría de los edificios y la configuración de las fachadas son aspectos de la mayor importancia en el proceso de diseño arquitectónico, ya que tienen una relación directa con la calidad de la iluminación natural, incluyendo el control de la insolación. Cuando el arquitecto es consciente de ello, además de estar en el camino correcto para la obtención de resultados apropiados, facilita la labor de la consultoría especializada, encargada de asegurar una adecuada iluminación natural en el interior del edificio, con el control correcto del deslumbramiento y de las ganancias de calor. (Ko *et al*., 2021).

Desde el punto de vista de la comodidad ambiental, la iluminación natural también influye en la percepción estética y la calidad espacial de los entornos hospitalarios. La variación de la luz a lo largo del día crea ambientes más dinámicos y agradables, contribuyendo a la percepción positiva del espacio construido. En este sentido, la planificación efectiva de la iluminación natural debe considerar aspectos como la orientación solar, el dimensionamiento de las aberturas, los materiales internos y las estrategias de control de la luz, garantizando niveles adecuados de iluminación sin provocar deslumbramiento o incomodidad visual (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La orientación de las fachadas también altera la percepción espacial de la luz. Las fachadas orientadas al norte o al sur, en latitudes tropicales, presentan comportamientos distintos de uniformidad e ingreso de luz directa, lo que exige soluciones de diseño específicas para cada caso. La ausencia de elementos de protección solar, como parasoles fijos o móviles, por ejemplo, es un fallo común de diseño que resulta en malestar visual debido al exceso de luz directa y al calor. Por lo tanto, el proceso de diseño debe equilibrar la necesidad de altas iluminancias con la calidad de la vista y el control del deslumbramiento, entendiendo que las soluciones de sombreado y el correcto dimensionamiento de las aberturas son esenciales para garantizar espacios internos saludables y atractivos (Ribeiro *et al*, 2020).

Entre los elementos arquitectónicos más importantes para la entrada y distribución de la luz natural destacan el tamaño y la posición de las ventanas, la proporción entre el área acristalada y la fachada, la

orientación del edificio, así como las características de las superficies internas. El dimensionamiento correcto de las aberturas se considera un factor esencial para permitir que la iluminación natural alcance diferentes áreas del entorno, a fin de ofrecer tanto la iluminación visual como los estímulos necesarios para el sistema circadiano (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La presencia de ventanas permite la visualización de la luz del día, lo que resulta en un ambiente más agradable, con vistas y distracciones (Lam, 1977). Una arquitectura basada en la luz natural es una arquitectura condicionada a las condiciones ambientales. Durante el proceso de diseño, existen características que deben ser consideradas para lograr el resultado adecuado. Por lo tanto, la integración de la iluminación natural en el diseño arquitectónico de edificios hospitalarios constituye una estrategia esencial para promover ambientes más saludables, humanizados y eficientes. Al considerar los efectos fisiológicos, psicológicos y funcionales de la luz del día, los arquitectos y otros profesionales del diseño pueden contribuir significativamente a la mejora de la calidad de los espacios de atención y al bienestar general de sus usuarios (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La altura del antepecho es un elemento de diseño representativo para el confort lumínico y la vista del entorno. Las ventanas con antepechos altos tienden a propiciar un mayor alcance en la distribución y uniformidad de la luz, lo que disminuye la posibilidad de deslumbramiento directo en el plano de trabajo. Sin embargo, por encontrarse por encima del campo visual, estas aberturas a menudo restringen la vista del paciente hacia el cielo, impidiendo el contacto con la línea del horizonte. En contrapartida, las ventanas con antepechos bajos optimizan el contacto visual con el paisaje, pero pueden generar una iluminación poco uniforme y aumentar el riesgo de deslumbramiento, especialmente para pacientes encamados (Ribeiro *et al*, 2020).

Estudos de simulação em ambientes hospitalares demonstram que a relação entre a área da janela e a fachada pode influenciar significativamente os níveis de estímulo circadiano recebidos pelos ocupantes. Em determinados contextos, uma maior proporção de área envidraçada permite que níveis adequados de iluminação natural atinjam áreas mais profundas do ambiente, aumentando a probabilidade de que os usuários recebam estímulos luminosos suficientes para a sincronização dos ritmos biológicos (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

Los desafíos de los hospitales del siglo XXI, por João Filgueiras Lima, Lelé

Zanettini es un admirador del trabajo del arquitecto João Filgueiras Lima (Lelé) y su contribución a la arquitectura en el ámbito de la salud en Brasil. Este tema aborda parte del pensamiento de dicho arquitecto a partir de su

libro: **Arquitetura, uma experiência na área da saúde**. En una entrevista concedida a los autores, Zanettini destacó la influencia de la obra de Lelé en su trayectoria profesional, especialmente en lo que respecta a la relación entre arquitectura, tecnología y condiciones ambientales.

> (...) Yo tuve una relación muy estrecha con él (Lelé), porque también pensaba en la industrialización. Y él era realmente muy bueno. Era el mejor arquitecto de la época. De alguna manera, caminé de forma un tanto paralela a todo el proceso de construcción brasileña, junto a Lelé. Siempre con un sentido crítico. (Fragmento de entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini a los autores en 7/4/2024.)

El modelo de hospital tecnológico se consolidó en el siglo XX, caracterizándose por la integración de diferentes especialidades médicas en una misma unidad y por el uso intensivo de tecnologías. Tras la Segunda Guerra Mundial, el avance científico y la participación de grandes empresas en el sector médico-hospitalario ampliaron significativamente la oferta de equipos y sistemas especializados. Este proceso contribuyó a la automatización de diversos servicios hospitalarios y a transformaciones en la organización de los espacios y de las instalaciones físicas (Lima, 2012). El desarrollo de la bacteriología y de las técnicas de control de infecciones también influyó directamente en el diseño de los edificios hospitalarios. En este contexto, la iluminación y la ventilación naturales, comunes en los hospitales de tipo pabellones, fueron sustituidas gradualmente por sistemas artificiales de climatización e iluminación. Como consecuencia, los entornos hospitalarios se volvieron más herméticos y técnicamente controlados.

> El exhibicionismo tecnológico de la época volvió el ambiente hospitalario artificial y deshumano, al punto de influir en el estado depresivo del paciente provocando su estado psicológico, de modo que pasó a dificultar los propios procesos de curación. En 1960, se realizaban esfuerzos para cambiar este modo de pensar el hospital en la Fundação Hospitalar de Brasília, en un intento de establecer un modelo hospitalario extensible y flexible, que facilitara las innovaciones, pero que promoviera hospitales menos herméticos, con integración a espacios exteriores ajardinados, para que los pacientes tuvieran terapias al aire libre y baños de sol (Lima, 2012, p. 41).

Método

Sobre la base de la revisión de la literatura presentada, la presente investigación se dividió en dos etapas principales: (1) análisis del diseño arquitectónico del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, con énfasis en las estrategias adoptadas para la disponibilidad y el control de la luz natural; y (2) entrevista con el arquitecto Zanettini.

El punto de partida de la investigación fue la búsqueda y lectura de referencias sobre proyectos hospitalarios, con especial atención a los aspectos de percepción visual e iluminación natural. La bibliografía se discute con otros autores que evidencian la importancia de la iluminación natural en los establecimientos de atención de la salud, como Ko *et al*., Ulrich, Cooper-Marcus, Barnes y Lima, entre otros relevantes en el contexto abordado.

La investigación se caracteriza por ser un estudio de caso cualitativo con enfoque exploratorio, en el que se analizaron la orientación azimutal y la morfología visual. Se analizó el proyecto arquitectónico del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, haciendo hincapié en las estrategias de diseño relacionadas con el aprovechamiento de la iluminación natural. El análisis se llevó a cabo con base en criterios identificados en la literatura, tales como la orientación de las fachadas, la presencia de dispositivos de sombreado, la configuración de atrios y la relación entre las aberturas y los espacios internos. Asimismo, se realizó una entrevista semiestructurada al arquitecto Ziegbert Zanettini, autor del proyecto, quien confirmó que las soluciones propuestas para la

iluminación natural y el control de la insolación se adoptaron de manera consciente por los beneficios que aportan.

Resultados

Análisis del diseño

El edificio objeto de este artículo está ubicado en la región este de la ciudad de São Paulo y fue inaugurado en 1991. Se destaca por la participación comunitaria lograda, ya que fue desarrollado, planificado y ejecutado en concertación con representantes de la comunidad local, además de técnicos de la alcaldía y miembros de la comisión de salud, “escuchando sugerencias y aceptando modificaciones”. Para la comprensión de todos respecto a lo que se iba a construir, fue necesario explicar a los miembros de la comisión qué era un proyecto arquitectónico, la necesidad de la elaboración de un proyecto y cómo se desarrollaría el proceso de diseño del espacio hospitalario (Zanettini, 2002).



Figura 1 . Hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fuente: Zanettini, 2000.

El Hospital Municipal Ermelino Matarazzo se distingue en su concepción por ser el resultado de una dinámica colaborativa. Desde el seguimiento de la obra hasta su inauguración, la comisión de salud participó en todo el proceso, en el cual el arquitecto buscó responder a las necesidades de la población local, de acuerdo con la realidad de quienes viven y utilizan el espacio.

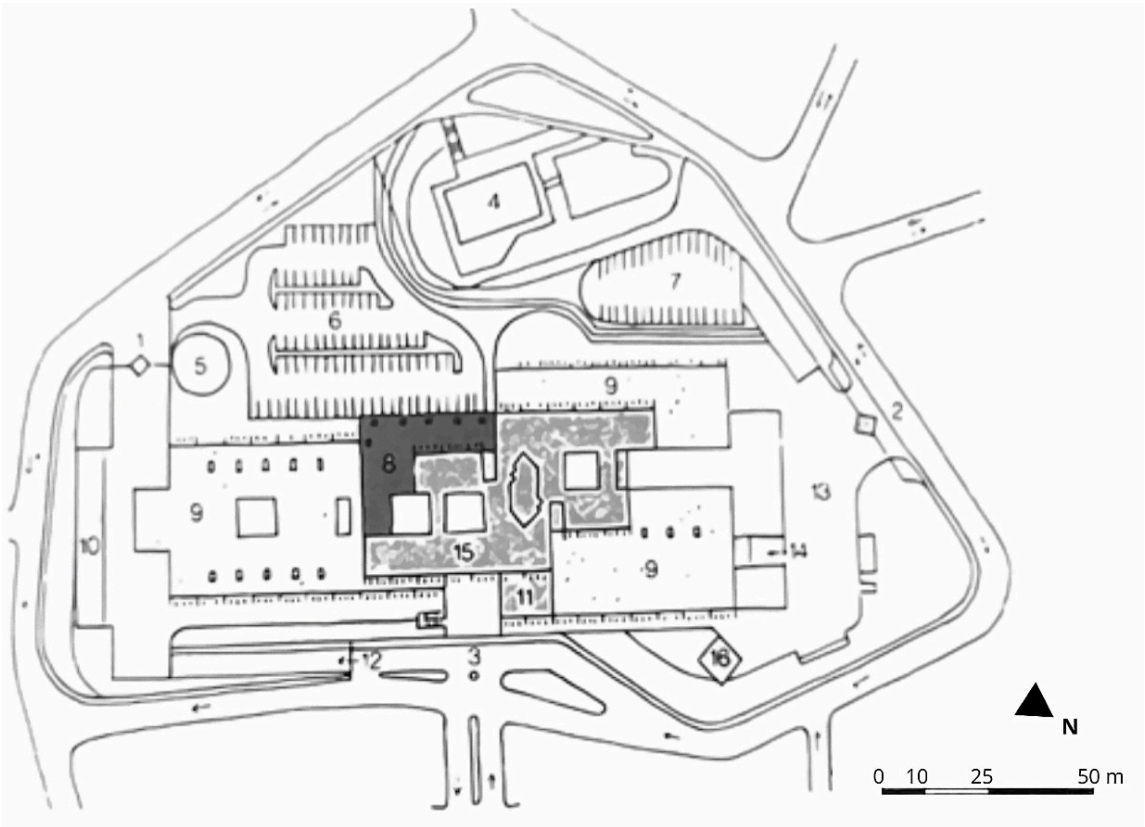
> "Nuestro hospital es diferente porque en él los detalles de funcionamiento y de arquitectura fueron concebidos a partir de sugerencias y reivindicaciones de los usuarios. Subimos a los pisos para acompañar el desarrollo de la obra, para que no se retrasara, opinamos sobre los acabados y fuimos entendiendo de pisos, contrapisos y altura libre". (Texto de la comisión de salud para la población). Zanettini, 2000, p. 214.)

La humanización del hospital se inició en el proceso participativo y se materializó en la calidad del objeto arquitectónico, valorizado por la adecuada captación y distribución de la iluminación natural, asociadas a un criterioso control de la insolación.

Análisis arquitectónico basado en la bibliografía de apoyo

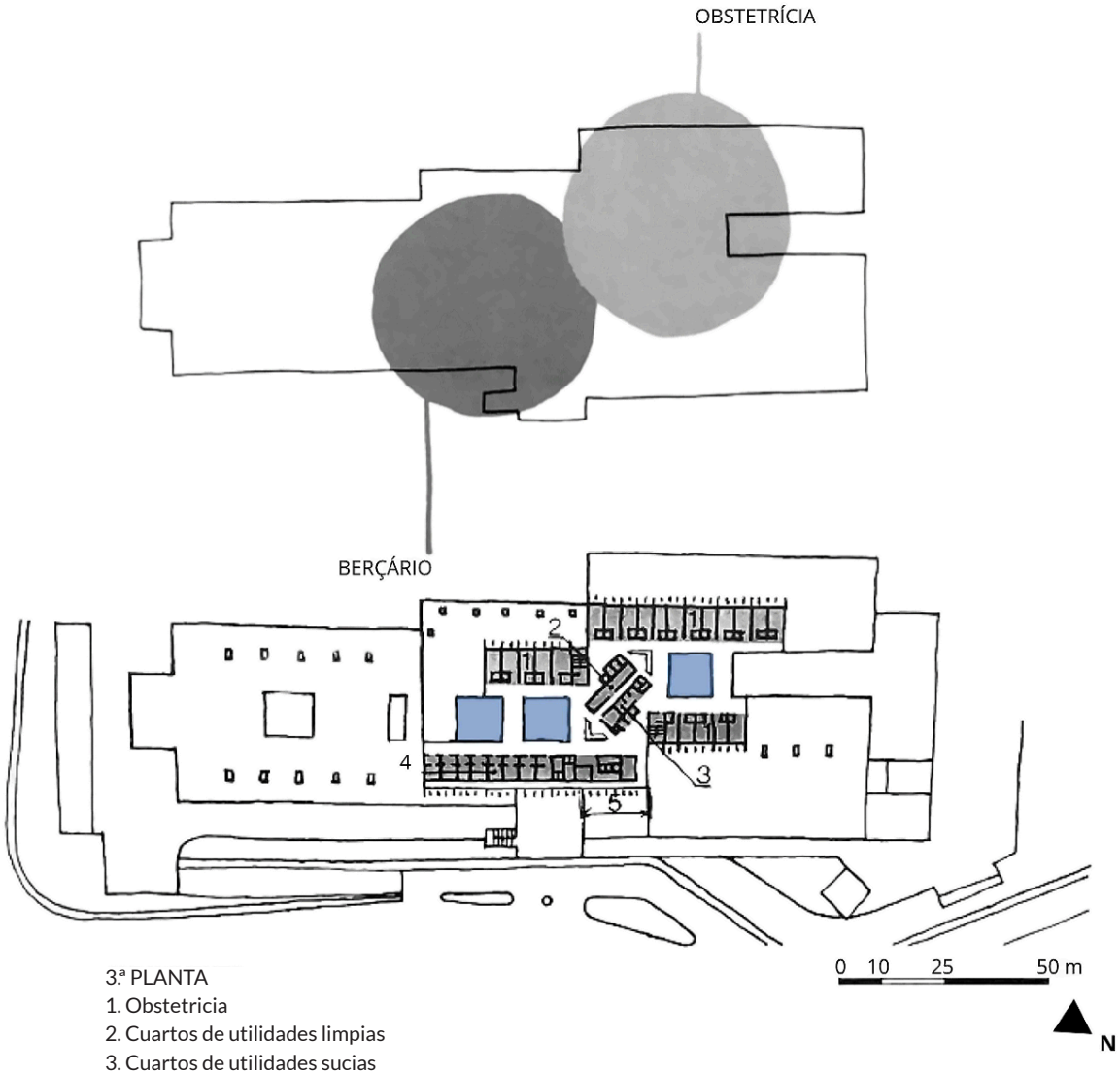
El Hospital Municipal Ermelino Matarazzo presenta soluciones en materia de iluminación natural, tales como el uso de claraboyas ubicadas en atrios y parasoles (brise-soleil) en las fachadas noreste y suroeste. Para la elaboración de este artículo, se consideraron el tercer piso, destinado a

obstetricia y sala de recién nacidos (o de la unidad de neonatología), y el cuarto piso, donde se encuentran obstetricia y pediatría, de acuerdo con los planos presentados a continuación (Figuras 2 a 4):



IMPLEMENTACIÓN
1. Acceso para pacientes ambulatorios
2. Acceso de servicio
3. Acceso principal
4. Guardería
5. Helipuerto
6. Estacionamiento para el público general
7. Estacionamiento para el personal
8. Centro Quirúrgico y Obstétrico
9. Cubierta verde
10. Base de ambulancias
11. Salón de actos
12. Acceso para ambulancias
13. Patio de servicio
14. Muelles de carga y descarga
15. Bloque de hospitalización vertical
16. Área de carga, limpieza y mantenimiento de vehículos

Figura 2 . Implementación del hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fonte: Zanettini, 2000.



3.ª PLANTA
1. Obstetricia
2. Cuartos de utilidades limpias
3. Cuartos de utilidades sucias
4. Nursery (Sala de recién nacidos)
5. Área común / Shaft de instalaciones

Figura 3 . Diagrama y plano de sectorización de las unidades de atención del tercer piso, con localización de obstetricia y de la sala de recién nacidos. Fuente: Zanettini, 2000.

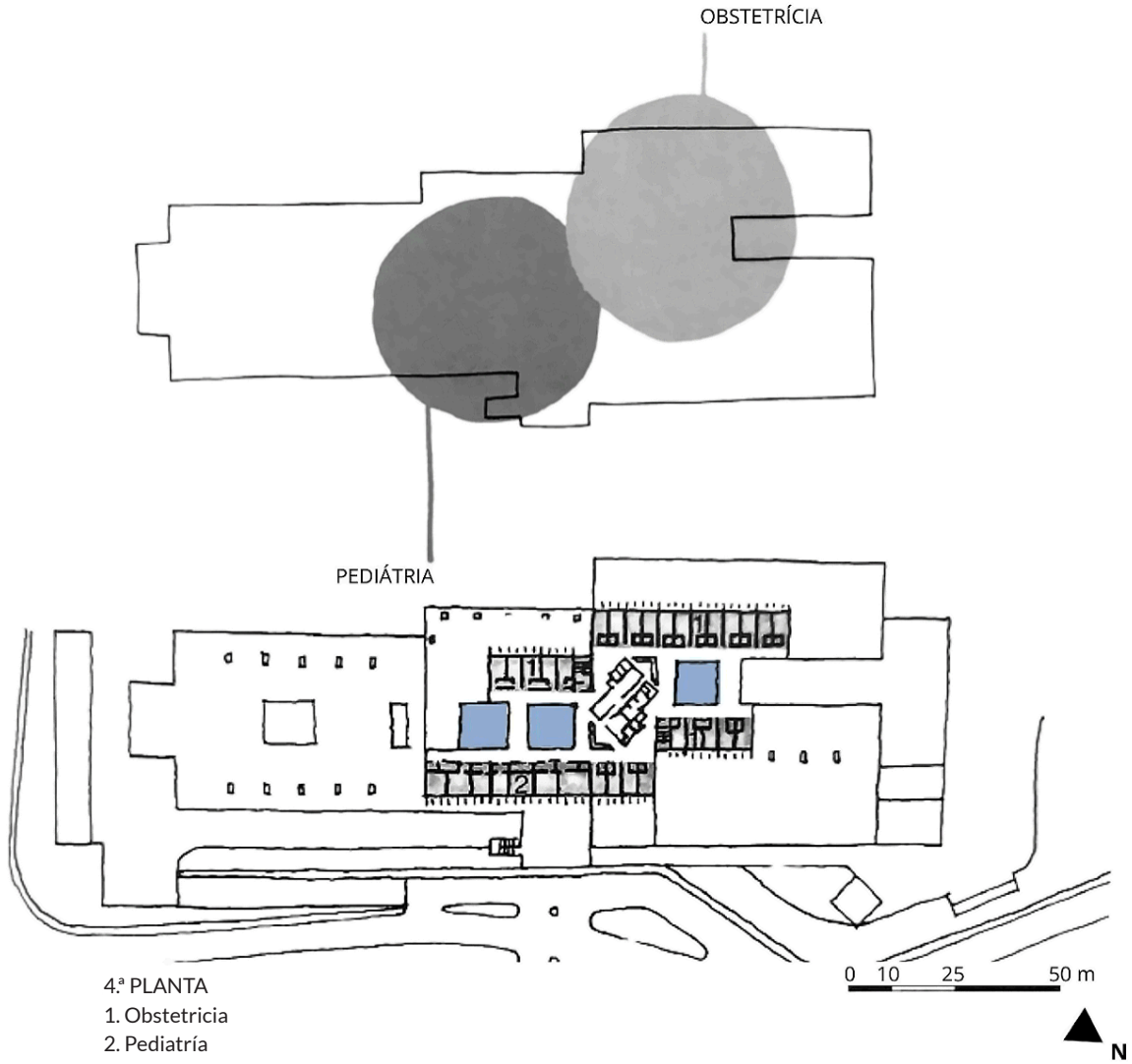
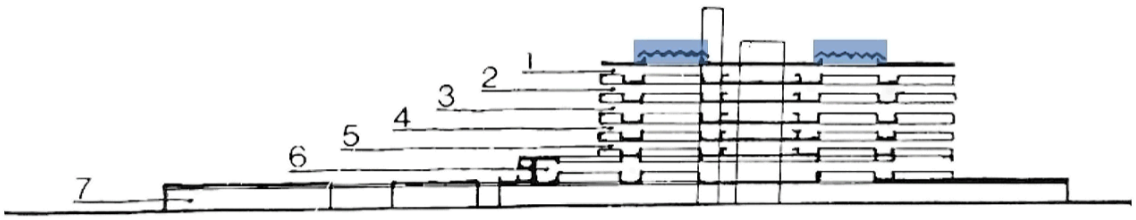


Figura 4 . Diagrama y plano de sectorización de las unidades de atención del cuarto piso [o cuarta planta], con ubicación de obstetricia y pediatría. Fuente: Zanettini, 2000.



Atrios
1. Sala de hospitalización quirúrgica
2. Sala de hospitalización médica
3. Obstetricia / Pediatría
4. Obstetricia / Sala de recién nacidos
5. Área administrativa
6. Centro Quirúrgico y Obstétrico / UCI (Unidad de Cuidados Intensivos)
7. Servicio de Urgencias / Servicios Generales

Figura 5 . Corte esquemático con indicación de la sectorización de las unidades por piso, con la ubicación de Obstetricia y Pediatría y de Obstetricia y Sala de Recién Nacidos. Fuente: Zanettini, 2000.

En las plantas, es posible observar tres atrios cubiertos por claraboyas translúcidas, las cuales están presentes en todos los pisos. La solución adoptada permite percibir la variación de la iluminación natural a lo largo del día y de las estaciones del año, lo que favorece el equilibrio del ritmo circadiano de todos los usuarios, dado que los pacientes, acompañantes, el personal médico y asistencial tienen acceso visual a los atrios cubiertos e iluminados. Además, esta solución puede contribuir al ahorro de energía en iluminación eléctrica, ya que todos los pisos tienen acceso a la luz del día de forma indirecta.

Los atrios cuentan con deflectores, que controlan la incidencia de la radiación solar directa, lo que se traduce en un mayor confort visual. La presencia de atrios con claraboyas permite la distribución de la iluminación natural en zonas profundas de la planta hospitalaria, estrategia que contribuye a lograr niveles de iluminancia más homogéneos y reduce la dependencia de la iluminación artificial durante el período diurno.

Otra solución adoptada por Zanettini es el uso de elementos de sombreado en las aberturas de las fachadas, mediante parasoles fijos, los cuales proporcionan un mayor control del deslumbramiento y una mejor distribución de la luz difusa, aumentando así el confort de los pacientes. Los parasoles están situados a lo largo de todas las fachadas noroeste y sudoeste, considerando que en el tercer piso se encuentra la sala de recién nacidos y en el cuarto, el servicio de pediatría.



Figura 6 . Solución de sombreado en las fachadas noroeste y suroeste del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fuente: Zanettini, 2000.



Figura 7 . Atrio con cubierta translúcida que permite la percepción de la luz natural. Fuente: Zanettini, 2000.

Entrevista

En una entrevista concedida a los autores en 2024, Zanettini enfatizó la importancia de la tecnología en el diseño arquitectónico y, en consecuencia, en la percepción de la luz en los espacios interiores.

> No se hace arquitectura sin tecnología. (...) El mundo de las artes y el mundo de las ciencias, la arquitectura es el encuentro de ambos. Yo explico por qué ella, la arquitectura, busca responder a todos los condicionantes técnicos, visuales y ambientales posibles. (...) Esa es mi lucha, la de entender nuestro clima, más tarde entender claramente nuestros biomas, y cada uno con sus características. Entender los regímenes de vientos, la densidad, la apertura de la luz, toda la manera de entender esto en el lugar, con su suelo determinado, con su subsuelo también. (Fragmento de la entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini en 7/4/2024.)

La crítica del arquitecto a los hospitales "cerrados y pesados" de la década de de 1960 se refleja en su proceso de diseño, con énfasis en la utilización de la "ecoeficiencia" aplicada en el Hospital Ermelino Matarazzo.

> (...) En la década de 1960 comencé a cuestionar esa arquitectura. Empecé a abordar algunos conceptos de ecoeficiencia, comenzó a surgir la cuestión de la sostenibilidad. La ecoeficiencia que planteé en la década de 1960 se preocupaba, originalmente, por entender cómo nuestra realidad, nuestro medio ambiente, contribuía a nuestra arquitectura. Y cómo este, de cierta manera, era determinante en esa arquitectura. Por lo tanto, este concepto mío viene de hace muchos años. Viene de hace 60 años. En la época lo llamaba ecoeficiencia, pero ya empezaba a discutir en las propuestas esta cuestión de por qué las obras eran tan cerradas, tan pesadas, tan marcadas en el sentido de preocuparse por su belleza, pero no respondían, principalmente, a las condiciones ambientales brasileñas (Fragmento de la entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini en 7/4/2024.)

Durante la entrevista, el arquitecto también habló sobre la importancia de considerar las condiciones climáticas locales durante la concepción de proyectos arquitectónicos.

> Soy brasileño. Y entiendo mi clima; el proyecto también debe comprender este clima. Para mí, es fundamental. Sin esto, en mi opinión, ya nace errado. No considero que la arquitectura sea independiente del lugar. El lugar es un determinante de la arquitectura, es fuerte. El costo inicial de producción, de pensamiento, eso ya no existe. Ahora es momento de producir. (Fragmento de la entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini em 7/4/2024.)

Discusión

Por tratarse de un proyecto con participación social, el Hospital Municipal Ermelino Matarazzo posee especificidades que lo convierten en un edificio singular en el ámbito de la arquitectura para la salud. Conforme a lo presentado por el arquitecto Zanettini en su libro **Arquitetura, Razão, Sensibilidade**, en algunos períodos, las reuniones para la discusión del proyecto eran semanales y contaban con una "pauta previamente discutida en asambleas con los vecinos". El análisis del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo evidencia que las estrategias de diseño adoptadas por Siegbert Zanettini anticipan discusiones contemporáneas sobre el "hospital terapéutico", donde la luz no es solo una necesidad visual, sino un elemento de sincronización biológica. Siendo condicionantes técnicos: la integración de la luz natural al ambiente construido, la comprensión del clima y del bioma.

La presencia de atrios centrales cubiertos por claraboyas constituye un elemento fundamental para la distribución de la luz natural en los pisos internos del edificio. Esta solución permite que la iluminación diurna penetre en áreas más profundas de la edificación, reduciendo la dependencia de la iluminación eléctrica durante el día, de manera que

contribuye a la percepción de la variación lumínica a lo largo del tiempo. Según lo discutido por Acosta, Leslie y Figueiró (2017), la exposición a la iluminación natural desempeña un papel relevante en la regulación del sistema circadiano e influye directamente en el bienestar y el ritmo circadiano de pacientes y profesionales de la salud.

Además, los atrios funcionan como elementos de orientación espacial y de conexión visual entre las diferentes plantas del edificio. Esta estrategia contribuye a la creación de ambientes más abiertos y menos institucionalizados, lo que concuerda con los planteamientos propuestos por Ulrich (1991) sobre entornos hospitalarios capaces de reducir el estrés psicológico de los usuarios. Otro aspecto relevante se refiere a la adopción de dispositivos de sombreamiento en las fachadas, mediante el uso de brise-soleil (parasoles). Estos elementos permiten controlar la incidencia de la radiación solar directa, evitando el deslumbramiento y la ganancia térmica excesiva, al mismo tiempo que mantienen la entrada de luz difusa en los ambientes internos. De acuerdo con Ribeiro *et al*. (2020), las estrategias de control solar son fundamentales para garantizar el confort visual y la calidad ambiental en los espacios hospitalarios.

Las soluciones adoptadas en el proyecto también demuestran una fuerte relación con las condiciones climáticas locales, un aspecto enfatizado por el propio arquitecto en una entrevista. Este enfoque evidencia una postura de diseño basada en la comprensión del clima y del contexto ambiental brasileño, acercándose a las reflexiones propuestas por João Filgueiras Lima (2012) sobre la importancia de integrar arquitectura, tecnología y condiciones ambientales en la concepción de edificios hospitalarios. Así, se observa que el proyecto del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo incorpora estrategias positivas de iluminación natural que no solo responden a cuestiones técnicas y ambientales, sino que también contribuyen a la calidad espacial y a la humanización de los entornos de atención de la salud.

Conclusiones

Esta investigación demostró que las soluciones de diseño arquitectónico centradas en el aprovechamiento de la iluminación natural son fundamentales para la creación de entornos hospitalarios humanizados y eficientes. El uso de elementos de sombreado y la correcta orientación de las fachadas pueden ser eficaces para mitigar el deslumbramiento y mejorar el confort térmico, permitiendo una interacción positiva entre el usuario y su entorno. Se concluye que el proceso de diseño, cuando se basa en la lectura del lugar y en la ciencia de la luz, es capaz de promover espacios que van más allá de la funcionalidad técnica, actuando como agentes activos en la humanización y la acogida.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen al arquitecto Siegbert Zanettini y a sus hijas Adriana y Luciana Zanettini el apoyo y la colaboración prestados a la investigación, la entrevista concedida y el hecho de compartir los archivos de los proyectos. Agradecemos también al profesor e investigador Erick Vicente, profesor del curso de Postgrado en Arquitectura Hospitalaria del Ensino Einstein – Centro de Educação em Saúde Abram Szajman, por propiciar el contacto con el estudio Zanettini Arquitetura.

Referencias

ACOSTA, Ignacio; LESLIE, Russell P.; FIGUEIRÓ, Mariana G. **Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms**. Lighting Research & Technology, v. 49, n. 1, p. 49–61, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1177/1477153515592948

BITENCOURT, Fábio; SACCOMORI, Danilo. **A ergonomia, a cidade e os ambientes interiores: reflexões sobre ambiências, espaço e saúde para o idoso**. Revista da arquitetura - cidadania e habitação, Brasília, v. 1, n. 1. p.12-20, 2021.

BRANDSTON, Howad M. **Aprender a ver: A essência do design de iluminação**. Tradução Paulo Sergio Scarazzato. 1ª ed., De Maio Comunicação e Editora, 2010.

APOLONGO, Stefano *et al*. **Social sustainability in healthcare facilities: a rating tool for analysing and improving social aspects in environments of care**. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, v. 52, n. 1, p. 15–23, 2016. DOI: https://doi.org/10.4415/ANN_16_01_06

COOPER-MARCUS, Clare e BARNES, Marni. **Gardens in healthcare facilities: Uses, therapeutic benefits, and design recommendations**. The Center for Health Design, Inc. 1995.

GARCIA, M. S.; SOUZA, R. V. G.; MARTINS, M. L.; VELOSO, A. C. O. **Integrando simulação de iluminação natural no processo de projeto: análise comparativa entre duas plataformas computacionais**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v.15, n. 2, p.69-83, 2020.

IPH, Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman. **O desenho de hospitais de Jarbas Karman**. Livro digital. Exposição realizada durante o VII Congresso Brasileiro para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar, entre os dias 28 e 30 de setembro de 2016 - Salvador - BA - Brasil. 1ª edição São Paulo Julho de 2017.

LAM, William M. **And lighting for architecture**. Library of Congress Cataloging in Publication Data. New York, 1977.

LIMA, João Filgueiras. **Arquitetura: uma experiência na área da saúde**. São Paulo: Romano Guerra Editora, 2012.

LISBOA, Teresinha Covas. **História dos hospitais** / Teresinha Covas Lisboa; prefácio Erick Vicente — São Paulo: IPH, 2021. ISBN 978-85-93958-02-1

RIBEIRO, P. V. S.; SANTOS, D. M. L.; VASCONCELLOS, L. T. DE M.; CAVALCANTI, F. A. DE M. S.; CABÚS, R. C. Influência do peitoril de janelas na luz natural e visão de céu em enfermarias. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 11, p. e020009, 13 jul. 2020. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8654728

ULRICH, R. S. Effects of interior design on wellness: Theory and recent scientific research. **Journal of Health Care Interior Design**, v. 3, 97-109, jan. 1991.

ULRICH, R; QUAN, X; ZIMRING, C.; JOSEPH, A.; CHOUDHARY, R. **The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century**: A Once-in-a-Lifetime Opportunity. Concord, CA: The Center for Health Design. 2004

KO, W. H., Schiavon, S., Altomonte, S., Andersen, M., Batool, A., Browning, W., ... Wienold, J. (2022). **Window View Quality: Why It Matters and What We Should Do**. LEUKOS, 18(3), 259–267. https://doi.org/10.1080/15502724.2022.2055428

HESCHONG, Lisa. **Visual Delight in Architecture: daylight, vision, and view**. 1º ed, Abingdon, Oxon; New York: Routledge, 2021

ZANETTINI, Siegbert. **Siegbert Zanettini: Arquitetura, razão, sensibilidade** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

Autores

Danielly Marcianny Silva Eulário es estudiante de maestría en el Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de São Paulo (FAU-USP). Tiene un posgrado en Arquitectura Hospitalaria del Centro de Educación en Salud Ensino Einstein Abram Szajman. Es arquitecta y urbanista, graduada por la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) y el Instituto Politécnico de Bragança (IPB). También está afiliada a la ABDEH, Asociación Brasileña para el Desarrollo de Edificios Hospitalarios.

Correo electrónico: danielly.eulario@usp.br

Paulo Sergio Scarazzato es profesor asociado en el Programa de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de São Paulo (FAU-USP), donde se graduó en Arquitectura y Urbanismo en 1979, inició su carrera académica en 1981 y obtuvo los títulos de maestría (1988), doctorado (1995) y profesor asociado (2018). Sus intereses se centran especialmente en temas relacionados con la iluminación —natural y eléctrica— aplicada al proceso de diseño del espacio arquitectónico y a su enseñanza en la formación de arquitectos. Como representante de la FAU-USP, participa en comités técnicos de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) y la Illuminating Engineering Society (IES), entidad de la que es miembro desde 2010. También es miembro de la Society of Light and Lighting (SLL) desde 2015. En su trayectoria profesional fuera del ámbito académico, ha realizado proyectos de arquitectura e iluminación de autor para distintos tipos de edificios y en diferentes escalas: pequeña, mediana y grande.

Correo electrónico: pasezato@usp.br

Ludmila Cardoso Fagundes Mendes tiene una maestría y es estudiante de doctorado en Ambiente Construido y Patrimonio Sostenible en la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG). Es becaria de CAPES y actualmente realiza un doctorado sándwich en la Universidad Politécnica de Gdansk (Polonia). Además, es especialista en Sistemas Tecnológicos y Sostenibilidad Aplicados al Ambiente Construido por la UFMG. Se graduó en Arquitectura y Urbanismo en la Universidad Federal de Viçosa (UFV). También es investigadora del Laboratorio de Confort Ambiental y Eficiencia Energética en el Ambiente Construido (LABCON-UFMG). Está afiliada a la ABDEH, Asociación Brasileña para el Desarrollo de Edificios Hospitalarios.

Correo electrónico: ludmilamendes@ufmg.br

Artículo

Percepción de gestores hospitalarios sobre la incorporación de tecnologías emergentes y sus impactos en la infraestructura física de los hospitales de Santa Catarina

Autores
João Paulo Lucchetta Pompermaier Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC
Lizandra Garcia Lupi Vergara Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC
Patrícia Biasi Cavalcanti Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.05

Resumen

El avance de las innovaciones tecnológicas ha transformado los hospitales; sin embargo, muchas instituciones aún enfrentan dificultades para adecuar su infraestructura física, regulatoria y organizacional. Este estudio investiga la percepción de los gestores hospitalarios de Santa Catarina sobre la incorporación de tecnologías emergentes y su relación con la infraestructura física. Se realizó una revisión de la literatura y entrevistas semiestructuradas a gestores de hospitales públicos y privados, las cuales se sometieron al análisis de contenido según Bardin (2016). Los resultados evidenciaron desafíos como edificaciones antiguas, mantenimiento preventivo insuficiente, limitación de espacio, exigencias regulatorias, tecnologías de la información (TI) inadecuadas, costos elevados y escasez de profesionales con visión sistémica. Las áreas más impactadas fueron las de quirófano (centro quirúrgico), diagnóstico por imagen, unidad de cuidados intensivos (UCI), farmacia, urgencias y administración. En conclusión, se evidencia que la adopción de estas tecnologías requiere planificación estratégica, reformas físicas, capacitación continua y políticas públicas de modernización hospitalaria.

Palabras clave:

salud 4.0; tecnologías emergentes; arquitectura hospitalaria; infraestructura hospitalaria; gestión hospitalaria.

Introducción

El creciente avance de las innovaciones tecnológicas ha impulsado transformaciones significativas en los hospitales a nivel global, impactando la gestión, la infraestructura y la prestación de los servicios de salud (Marques; Ferreira, 2020; Raimo *et al*., 2023). La adopción de las tecnologías digitales ha evolucionado a un ritmo sin precedentes en todos los ecosistemas de salud (Dal Mas *et al*., 2023) y, a menudo, la velocidad de la innovación tecnológica supera la capacidad de respuesta de las instituciones hospitalarias. Además, según datos recientes, el 65% de las organizaciones de salud aumentaron la adopción de tecnologías digitales tras la pandemia de COVID-19 (Deloitte, 2020).

Este proceso también está impulsado por la Salud 4.0, un concepto emergente derivado de la Industria 4.0 que ha evolucionado considerablemente en la última década (Ahsan; Siddique, 2022). El objetivo principal consiste en aplicar los principios de la Industria 4.0 a los sistemas de salud, integrando tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (IA), el *big data*, la robótica, la computación en la nube y la telesalud, entre otras (Gupta; Singh, 2022; Pompermaier *et al*., 2024; Tortorella *et al*., 2019). Sin embargo, para que los servicios de salud incorporen estos principios, se requieren directrices y una infraestructura adecuada (Chanchaichujit *et al*., 2019)

Estudios recientes han buscado comprender los impactos de estas tecnologías emergentes en la infraestructura física de los hospitales. Machry (2010) constató que la realización de reformas en edificaciones hospitalarias existentes es causada, principalmente, por la incorporación de innovaciones tecnológicas que alteran de manera variada la configuración físico-espacial. Bause *et al*. (2019) señalan la importancia de rediseñar los procesos hospitalarios, mientras que Al-Jaroodi *et al*. (2022) destacan la importancia del Plan Maestro Hospitalario para transformar y adaptar las soluciones actuales de infraestructura. Pompermaier (2024) analizó los impactos de las tecnologías emergentes en los establecimientos de salud de Brasil, concluyendo que estos impactos trascienden el espacio físico y se manifiestan en cambios en la estructura organizacional en su conjunto.

Incorporar tecnologías emergentes puede aportar innumerables beneficios para la salud, tales como: agilidad, servicios de alta calidad, atención más precisa y personalizada, mayor confiabilidad y reducción de costos, entre otros (Al-Jaroodi *et al*., 2020; Bause *et al*., 2019; Gupta; Singh, 2022). Sin embargo, también existen desafíos asociados a la modernización tecnológica de los hospitales que involucran barreras técnicas y de infraestructura, factores psicológicos y personales, preocupaciones relativas al aumento de la jornada o de la carga de

trabajo (Nascimento *et al*., 2023), la interoperabilidad y la resistencia organizacional (Dal Mas *et al*., 2023), entre otros.

A pesar de la creciente literatura sobre la Salud 4.0, existe una brecha en la investigación empírica sobre cómo los gestores hospitalarios brasileños perciben y enfrentan los desafíos de la incorporación tecnológica en contextos de infraestructura antigua y recursos limitados. Ante este contexto de transformación, este estudio tiene como objetivo investigar la percepción de los gestores de hospitales del estado de Santa Catarina sobre la incorporación de tecnologías emergentes, centrándose en la relación entre estas innovaciones y la infraestructura física hospitalaria.

Santa Catarina cuenta con una red hospitalaria reconocida en el escenario nacional por su excelencia en innovación y gestión en el área de la salud, impulsada en los últimos años por iniciativas gubernamentales que buscan modernizar el parque tecnológico y promover la transformación digital del sistema público por medio de inversiones significativas en tecnología e innovación (FAPESC, 2025; SES-SC, 2025). Este contexto ofrece un entorno propicio para la investigación empírica de los desafíos de incorporación tecnológica en hospitales, con la posibilidad de un análisis profundo de un sistema de salud estatal en proceso activo de modernización. Además, la delimitación regional favorece un enfoque profundo y contextualizado, lo que permite una comprensión más precisa de los desafíos y oportunidades de la Salud 4.0 en un contexto regional específico y transferible.

El estado también se destaca por sus características socioeconómicas y de infraestructura hospitalaria, lo que viabiliza una evaluación más realista de la implementación de estas innovaciones. Al enfocarse en este recorte geográfico, la investigación busca proporcionar información que pueda aplicarse tanto al contexto local como a otras regiones con perfiles similares, contribuyendo a la formulación de estrategias más eficaces para la adopción de tecnologías emergentes en el ámbito de la salud.

Método

La investigación se caracteriza por ser de naturaleza aplicada, enfocada en la generación de soluciones prácticas para problemas específicos a partir de la recolección de datos en campo. Adopta un enfoque cualitativo y un diseño exploratorio, con el fin de profundizar en la comprensión del fenómeno investigado (Gil, 2023). El proceso metodológico se estructuró en tres etapas secuenciales: (1) revisión de la literatura; (2) entrevistas semiestructuradas; y (3) análisis de los datos recolectados.

La revisión de la literatura (Etapa 1) se llevó a cabo mediante una búsqueda exhaustiva de artículos científicos, tesis, disertaciones y libros,

tanto a nivel nacional como internacional. El objetivo de esta etapa fue profundizar en el conocimiento sobre la Salud 4.0 y su relación con la infraestructura física hospitalaria, sirviendo como base para la elaboración de la guía de entrevista.

Las entrevistas semiestructuradas (Etapa 2) se realizaron con gestores hospitalarios de instituciones públicas y privadas del estado de Santa Catarina. Este tipo de entrevista se lleva a cabo sobre la base de una guía previamente elaborada, manteniendo, no obstante, la flexibilidad necesaria para que el investigador profundice, reformule o explore los temas según el desarrollo de la conversación. Esta característica otorga una mayor libertad en la conducción de la entrevista y posibilita una investigación más amplia y detallada de las cuestiones de interés de la investigación (Marconi; Lakatos, 2017).

La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico intencional, en el cual los individuos fueron elegidos deliberadamente con base en criterios previamente definidos para la investigación (Creswell, 2009; Marconi; Lakatos, 2017). Los criterios de inclusión adoptados fueron: (i) ser gestor(a) hospitalario(a) en funciones en una institución pública o privada de Santa Catarina; (ii) ejercer funciones de dirección, coordinación, gerencia, superintendencia o cargo equivalente; (iii) aceptar participar voluntariamente y firmar el Formulario de Consentimiento Informado. Para la operacionalización de esta estrategia, se realizó un mapeo de los hospitales a partir del

Registro Nacional de Establecimientos de Salud (CNES), con consultas específicas para el estado de Santa Catarina. Con base en este relevamiento, se contactó directamente a los hospitales y se invitó a sus gestores a participar voluntariamente en el estudio.

Las entrevistas se realizaron a 12 gestores entre septiembre y octubre de 2024, previamente programadas con los participantes y llevadas a cabo de forma remota, mediante videoconferencia (plataforma Google Meet), con una duración promedio de 45 minutos, siguiendo la guía predefinida (Cuadro 1). Antes del inicio de cada entrevista, los participantes firmaron el Consentimiento Informado (CI), el cual contenía información sobre los procedimientos éticos y legales adoptados, así como su acuerdo para participar en la investigación. Las entrevistas fueron grabadas y posteriormente transcritas en su totalidad, garantizando la confiabilidad de la información recopilada.

Parte I: Datos sociodemográficos	
1	Formación
2	Tiempo de experiencia profesional
3	Institución (pública o privada)
4	Cargo desempeñado
5	Tiempo en el cargo
Parte II: Datos específicos	
1	¿Cuáles son las principales barreras que enfrenta su hospital en la incorporación de tecnologías emergentes en términos de infraestructura física?
2	¿Cómo han impactado las tecnologías emergentes en el entorno físico de su hospital?
3	¿Qué áreas hospitalarias considera que se verán más impactadas por la adopción de tecnologías emergentes y cómo influye esto en la planificación arquitectónica?
4	¿Cómo considera que las tecnologías emergentes impactarán a corto, mediano y largo plazo en la planificación arquitectónica hospitalaria, y cómo se ha venido preparando su hospital?

Cuadro 1 . Guía de las entrevistas semiestructuradas. Fuente: Autores, 2024.

Según datos de diciembre de 2024 del Observatorio de Política y Gestión Hospitalaria (OPGH) de la Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), extraídos del CNES (Registro Nacional de Establecimientos de Salud), Santa Catarina cuenta con 306 hospitales. Estos establecimientos se distribuyen entre diferentes categorías (hospital de día independiente, hospital especializado, hospital general, policlínica/centro de especialidades, centros de parto de bajo riesgo y servicio de urgencias/atención de emergencias) y diferentes regímenes jurídicos (privado con y sin fines de lucro, público y universitario/de enseñanza). La muestra de la investigación, compuesta por 12 gerentes hospitalarios, cada uno de los cuales representa a una institución distinta, equivale al 3,92% del total de hospitales del estado. Aunque este porcentaje es reducido, la naturaleza cualitativa y exploratoria del estudio no busca representatividad estadística, sino profundidad analítica (Creswell, 2009). En la investigación cualitativa, una muestra de 12 participantes se considera frecuentemente suficiente para alcanzar la “saturación”, punto a partir del cual las nuevas entrevistas no producen información sustantivamente diferente de la ya obtenida (Boddy, 2016; Guest; Bunce; Johnson, 2006).

Por último, para el análisis de los datos obtenidos (Etapa 3), se utilizó la técnica de análisis de contenido, según lo recomendado por Bardin (2016). Este método permite organizar e interpretar la información recopilada, transformando los datos brutos en categorías y patrones que evidencian las principales características del contenido analizado.

El análisis de contenido se llevó a cabo en tres etapas principales: (i) preanálisis; (ii) exploración del material; y (iii) tratamiento de los resultados, inferencia e interpretación. En el preanálisis, los datos fueron organizados, transcritos y sometidos a una lectura inicial, lo que permitió la familiarización con el material y la identificación de aspectos relevantes. En esta fase, también se definieron los criterios y las categorías preliminares que orientaron el análisis posterior. En la etapa de exploración del material, las respuestas fueron codificadas y clasificadas en unidades de análisis, con base en la identificación de patrones, recurrencias y temas emergentes. Este proceso permitió la estructuración de la información de manera sistemática, facilitando la interpretación de los hallazgos. Por último, en la etapa de tratamiento de los resultados, inferencia e interpretación, los datos organizados se analizaron críticamente a la luz del marco teórico adoptado.

Resultados y discusión

Esta sección presenta y analiza los resultados obtenidos mediante las entrevistas semiestructuradas realizadas a 12 gestores hospitalarios de Santa Catarina, organizados en cuatro ejes temáticos: (1) barreras para la incorporación tecnológica; (2) impactos de las tecnologías emergentes en el entorno físico hospitalario; (3) sectores hospitalarios más impactados; y (4) perspectivas futuras. Los participantes estaban distribuidos en nueve municipios (Araranguá, Blumenau, Chapecó, Florianópolis, Ibirama, Joaçaba, Joinville, Rio do Sul y São José), lo que amplió la diversidad del conjunto empírico y permitió captar diferentes realidades institucionales y territoriales del estado. Este alcance geográfico contribuyó a enriquecer el análisis al incorporar percepciones provenientes de diferentes contextos y, de este modo, ofrecer un panorama más plural y representativo del escenario investigado.

En cuanto al perfil de los participantes, se observó que el 58,3% se desempeña en instituciones públicas y el 41,7% en instituciones privadas, lo que permitió contemplar diferentes modelos de gestión hospitalaria. La formación profesional de los gestores fue diversa, con un predominio de profesionales de enfermería, lo que refleja la fuerte inserción de esta categoría en la gestión de los servicios de salud. El tiempo de experiencia profesional presentó variaciones entre los participantes, lo que contribuyó a la incorporación de diferentes niveles de vivencia y madurez en el

análisis de las cuestiones investigadas. En la Figura 1 se presenta una infografía con la distribución geográfica y los datos sociodemográficos de la muestra, destacando sus principales características.

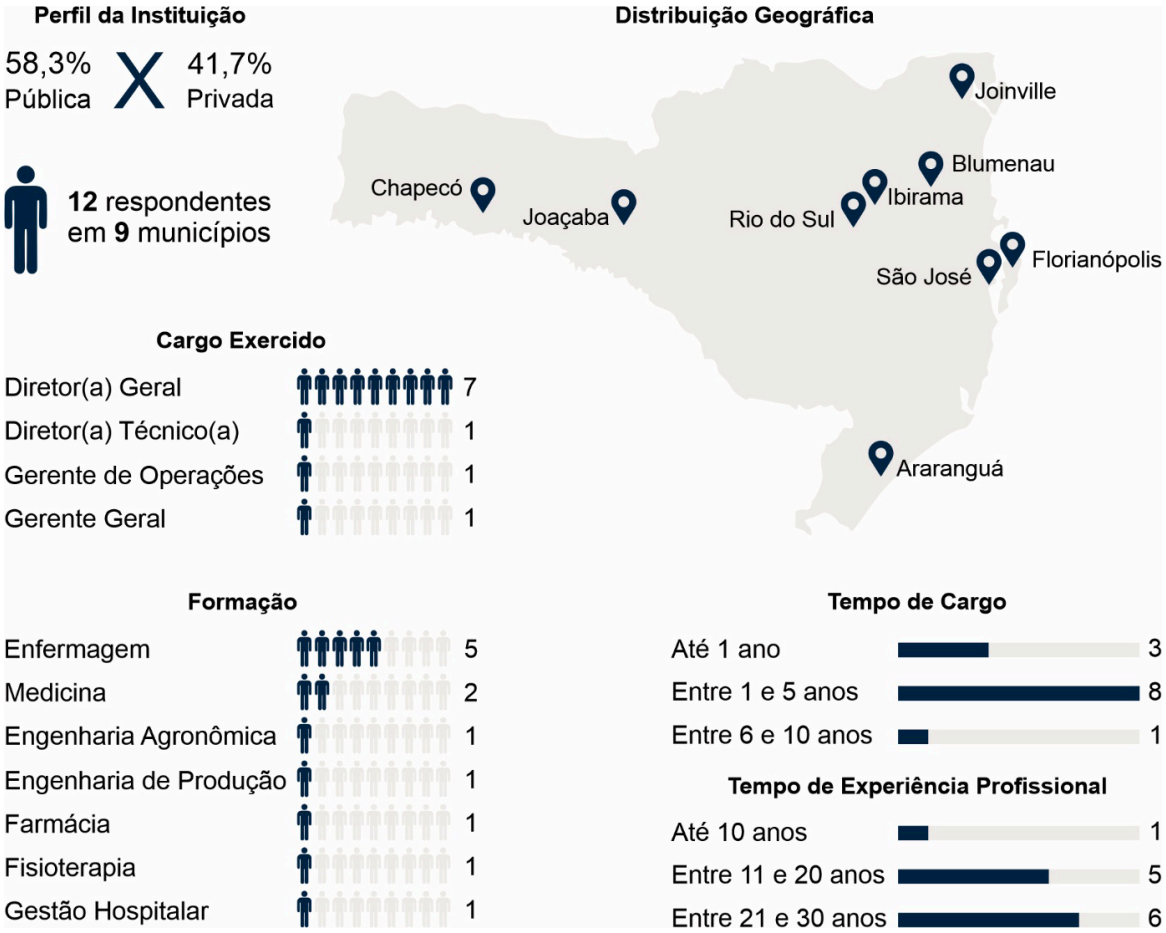


Figura 1 . Infografía sociodemográfica de los participantes. Fuente: Autores, 2025.

Barreras para la incorporación tecnológica

En primer lugar, se consultó a los participantes sobre las principales barreras que enfrenta el hospital para la incorporación de tecnologías emergentes en materia de infraestructura física. Se evidenció una convergencia en las respuestas, pero también matices importantes, sintetizados en el Cuadro 2.

Barrera	Descripción	Encuestado
Infraestructura obsoleta y falta de mantenimiento preventivo	Las edificaciones hospitalarias antiguas, muchas de ellas sin reformas significativas desde hace décadas, dificultan la adaptación a las nuevas tecnologías. La falta de mantenimiento preventivo agrava los problemas estructurales, lo que da lugar a intervenciones esencialmente correctivas y costosas	E1, E2, E4, E7, E9, E10, E11
Espacio físico limitado	El crecimiento de la demanda hospitalaria superó la capacidad física de las edificaciones, limitando la instalación de nuevos equipos y tecnologías.	E4, E7
Dificultad con los patrones regulatorios	El crecimiento de los hospitales dio lugar a estructuras que no cumplen con las normativas actuales, lo que exige reformas para su adecuación.	E8
Problemas en la infraestructura de TI	Los hospitales no fueron diseñados para soportar redes modernas, lo cual compromete la implementación de tecnologías.	E6, E10, E11
Alto costo de incorporación	Las inversiones necesarias para la incorporación son elevadas, y muchos hospitales no disponen de presupuesto suficiente para dichas mejoras.	E5, E6, E8, E9, E12
Falta de profesionales con visión sistémica de los procesos hospitalarios	La falta de profesionales calificados para planificar y gestionar la implantación de nuevas tecnologías dificulta la modernización de los hospitales. Esta situación se ve agravada por la rotación de los contratos temporales, que interrumpe la curva de aprendizaje.	E3, E4

Cuadro 2 . Barreras para la incorporación de tecnologías emergentes en los hospitales. Fuente: Autores, 2025.

Como se ha evidenciado, la adopción de tecnologías emergentes en los hospitales estudiados enfrenta desafíos estructurales, regulatorios y financieros. La infraestructura antigua representa uno de los mayores obstáculos, ya que las edificaciones proyectadas hace décadas no contemplaban las necesidades actuales de modernización tecnológica,

lo cual se evidenció en 7 de los 12 hospitales. La amplitud de las edades de las edificaciones en la muestra es, de por sí, reveladora: los relatos varían desde estructuras de 30 años, como la de E7, hasta los 45 años, mencionada por E4, pasando por una edificación centenaria de 115 años, citada por E6, hasta llegar al caso de E9, que describe un hospital con 164 años de existencia. Estos casos apuntan a contextos muy distintos de desafíos arquitectónicos, los cuales no pueden ser abordados de forma homogénea por la planificación de la salud. Además, la limitación del espacio físico agrava la situación. E4, por ejemplo, menciona que, debido a la falta de áreas disponibles para la expansión, la solución ideal sería la construcción de nuevas unidades.

Sin embargo, se observa que, en la práctica, la estrategia más recurrente de la gestión pública de la salud ha sido la realización de reformas y ampliaciones en establecimientos existentes para absorber la creciente demanda de atención, en lugar de la construcción de nuevos hospitales. Esta opción, aunque necesaria en determinados contextos, a menudo compromete la calidad arquitectónica original, genera sobrecarga en los espacios y no resuelve de manera estructural las demandas de modernización de la infraestructura física. Dicho proceso contrasta, además, con la tendencia global de descentralización de la salud, en la cual se prioriza la planificación de establecimientos más pequeños y cercanos a la comunidad a atender (Mahmood *et al*., 2024; Nunes; Ferreira, 2022).

Otro factor limitante es la necesidad de adecuación regulatoria. Normas de la Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) y de las autoridades sanitarias estatales y municipales exigen adaptaciones específicas en las estructuras hospitalarias para garantizar la seguridad y la calidad de los servicios prestados. E8 señala que, en el caso de su hospital, inaugurado en 1979, el crecimiento a lo largo de las décadas se produjo de forma poco planificada, sin tener debidamente en cuenta los requisitos normativos. En la actualidad, sin embargo, la institución cuenta con una arquitecta contratada para planificar nuevas ampliaciones y servicios que ya cumplan con las normas de la vigilancia sanitaria, lo que pone de manifiesto tanto la complejidad del proceso de modernización como la necesidad de una planificación técnica más rigurosa.

La infraestructura de tecnologías de la información (TI) es otra barrera significativa. Muchos hospitales no cuentan con el cableado adecuado ni con la capacidad para soportar redes de alto rendimiento, lo que inviabiliza la implementación de sistemas de monitoreo remoto, historias clínicas electrónicas y automatización de procesos. Sin embargo, también existen ejemplos positivos, como menciona E6, que recientemente superó esta limitación e implementó la verificación a pie de cama para

la administración de medicamentos, demostrando que la modernización es viable con inversiones dirigidas. El caso más grave identificado en la investigación, no obstante, es el de E11, que relata la pérdida completa de los registros de la historia clínica electrónica acumulados entre 2018 y 2021, debido a un apagón ocurrido en 2021. El colapso se atribuyó al uso continuo de un centro de datos instalado en 2008, que debería haber sido reemplazado cada cinco años. Al momento de la investigación, el equipo aún no había sido sustituido, lo que ilustra cómo la fragilidad de la infraestructura de TI puede tener consecuencias irreversibles para la continuidad de la atención y para la seguridad del paciente.

El alto costo de adquisición e incorporación de nuevas tecnologías constituye una barrera transversal a todos los retos anteriores. Los hospitales que desean incorporar equipos de última generación, como robots quirúrgicos o sistemas inteligentes de gestión hospitalaria, a menudo se topan con la falta de recursos financieros, lo cual es aún más evidente en los hospitales públicos (E5, E8, E12). El E8 destaca explícitamente que, en su centro, la principal barrera es financiera, y no física: "la mayor dificultad es, de hecho, financiera... la implantación de estas tecnologías acaba viéndose limitada mucho más por la cuestión de la financiación que por una limitación de la infraestructura física en sí". Esta postura es relevante, ya que revela que, incluso cuando la infraestructura física es favorable (E8 describe un hospital horizontal con buena capacidad instalada), la ausencia de previsión presupuestaria para la inversión constituye el principal obstáculo. Este escenario refuerza la necesidad de políticas públicas e incentivos para facilitar la modernización tecnológica en el ámbito de la salud.

Finalmente, la falta de profesionales con una visión sistémica de los procesos hospitalarios compromete la eficacia de la implementación de nuevas tecnologías. La gestión hospitalaria moderna exige un enfoque integrado que combine el conocimiento técnico con la planificación estratégica para optimizar las inversiones en innovación. E3 destaca esta brecha, resaltando la necesidad de capacitación de los profesionales para liderar procesos de transformación digital en salud. Del mismo modo, E4 señaló la dificultad de mantener profesionales capacitados debido a la rotación de contratos, lo que compromete la curva de aprendizaje necesaria para el uso eficiente de las tecnologías. Estos hallazgos están alineados con Dal Mas *et al*. (2023), que identifican la resistencia organizacional y la falta de competencias digitales como barreras centrales para la transformación digital en el sector de la salud, así como con Fogaça (2025), quien destaca la alta rotación y el ausentismo de los profesionales de la salud, además de la importancia de la retención de talento. En este sentido, la retención se perfila como una estrategia fundamental

para garantizar la continuidad de los procesos, consolidar el aprendizaje institucional y favorecer la incorporación sostenible de las tecnologías en los servicios sanitarios.

Impactos de las tecnologías emergentes en el entorno físico hospitalario

A continuación, se preguntó a los entrevistados sobre cómo las tecnologías emergentes han impactado en el entorno físico del hospital. A partir de las respuestas recopiladas, fue posible identificar patrones comunes entre los hospitales.

Varios hospitales mencionaron la necesidad de realizar adaptaciones estructurales para incorporar las nuevas tecnologías. El E6, por ejemplo, destacó que el plan director actual ya prevé adecuaciones para albergar tecnologías de vanguardia, mientras que el E7 resaltó la necesidad de un redimensionamiento físico para equipos como los de resonancia magnética y *búnkeres* de radioterapia.

En términos de integración tecnológica, los hospitales enfrentan desafíos para actualizar sus instalaciones. E9 mencionó dificultades en la implementación de redes *wifi* debido a la infraestructura antigua, lo que exige inversiones muy elevadas. E10 también destacó que, ante la falta de preparación del edificio para albergar cableado estructurado, fue necesario instalar sistemas externos y simplificados, con cables expuestos en diversos sectores. Esta solución, aunque funcional, compromete la higiene y puede impactar en la seguridad del paciente, aumentando el riesgo de infecciones asociadas a la atención de la salud, además de evidenciar las limitaciones de las edificaciones que no fueron diseñadas para las demandas tecnológicas actuales. Por otro lado, E8 destacó que la arquitectura horizontal de su hospital favorece la incorporación de nuevas tecnologías, lo que facilita los ajustes en la infraestructura eléctrica y de red.

La adquisición de equipos modernos ha tenido un impacto directo en los procesos hospitalarios. E2 mencionó la implementación de un arco en C de R$ 500 000 y la introducción de ecógrafos portátiles que permiten realizar exámenes a la cabecera del paciente. La evolución de las tecnologías de diagnóstico por imagen se destacó como una de las áreas de mayor crecimiento, lo que corrobora los hallazgos de Topol (2019) sobre la centralidad de la imagenología en el proceso de digitalización hospitalaria.

La modernización también ha llevado a un rediseño de los procesos hospitalarios, como menciona E3. El uso de sistemas digitales para la

verificación de medicamentos fue un factor diferencial, según E9, ya que involucra recursos como la prescripción electrónica, la historia clínica electrónica del paciente y la verificación a pie de cama. E6 describe una implementación equivalente en la que el profesional realiza la lectura del código de barras de la pulsera del paciente antes de administrar cualquier medicamento, automatizando tanto la comprobación como el movimiento de inventario. Estas herramientas permiten automatizar prescripciones, reducir los errores de administración, optimizar los inventarios de medicamentos y aumentar la seguridad asistencial del paciente.

Algunos participantes señalaron ciertas limitaciones en el acceso a tecnologías emergentes; por ejemplo, el participante E5 mencionó que su institución no dispone de estos recursos. Asimismo, el participante E10 destacó que la lentitud de los procesos de licitación pública representa un obstáculo para la implementación de innovaciones, lo que evidencia desafíos administrativos que pueden afectar la modernización, independientemente del tamaño o del modelo de gestión del hospital.

Servicios hospitalarios más afectados

Para comprender con mayor profundidad los impactos de la incorporación de tecnologías emergentes, se consultó a los participantes sobre qué sectores hospitalarios consideran más afectados, así como sobre la influencia de este proceso en la planificación arquitectónica hospitalaria. El Cuadro 3 presenta una síntesis de los sectores más recurrentes y sus principales consideraciones.

Sector	Influencia en la planificación arquitectónica	Encuestado
Quirófano	Necesidad de adecuación de los quirófanos para nuevos equipos de alta tecnología (robótica, inteligencia artificial, entre otros). La heterogeneidad de tamaños y diseños de los quirófanos existentes es un obstáculo concreto.	E2, E6, E7, E10
Central de Esterilización	Necesidad de adecuación de las salas para nuevos equipos de alta tecnología y flujos más eficientes en la esterilización.	E1
Diagnóstico por Imagen	Necesidad de salas amplias e infraestructura para soportar equipos avanzados, como aparatos de resonancia magnética, tomografía computarizada, sistemas de monitoreo continuo y conectividad digital para la historia clínica electrónica, la telemedicina y la integración de dispositivos inteligentes.	E2, E7, E9
Farmacia	Necesidad de sistemas automatizados para el control de inventarios y de espacios adaptables a tecnologías de rastreo, como etiquetas RFID, códigos de barras y sensores de localización de equipos y materiales hospitalarios.	E4, E12
Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)	Exigencia de una infraestructura moderna para soportar las tecnologías de monitoreo y asistencia digital al paciente.	E4, E10
Servicio de Urgencias y Emergencias	Adaptación de los flujos de atención e integración con sistemas de triaje digital.	E8
Administración	Necesidad de espacios para centros de monitoreo y modernización de la infraestructura para respaldar la digitalización de los procesos.	E5, E11
Hospitalización	Necesidad de habitaciones más inteligentes y automatizadas para mejorar la experiencia del paciente.	E6
Oncología y tratamientos especializados	Los sectores dedicados al tratamiento oncológico requieren infraestructura especializada, que incluye salas de radioterapia con *búnkeres* de protección radiológica, equipos de PET-TC para la estadificación del cáncer y, en perspectiva, unidades para la realización de la terapia CAR-T, una modalidad innovadora de inmunoterapia que consiste en la modificación genética de linfocitos T para el tratamiento de tumores específicos, la cual es aún incipiente en Brasil.	E7, E9, E12

Cuadro 3 . Sectores hospitalarios más impactados por las tecnologías emergentes y la influencia en la planificación arquitectónica Fuente: Autores, 2025.

Los resultados del análisis revelan que la adopción de tecnologías emergentes tiene un impacto significativo en diversos servicios hospitalarios, destacando el quirófano (centro quirúrgico), imagenología y diagnóstico, la unidad de cuidados intensivos (UCI), la farmacia y el servicio de urgencias. La modernización de estos espacios exige una infraestructura adecuada para dar soporte a equipos avanzados, tales como la robótica quirúrgica, el monitoreo mediante inteligencia artificial y los sistemas de trazabilidad digital de insumos. Asimismo, la digitalización de la gestión hospitalaria y la implementación de la telemedicina requieren la creación de espacios específicos para centrales de monitoreo y la optimización de los flujos operativos. Dos hallazgos merecen especial atención: (a) la emergencia del sector oncológico como un área de creciente presión tecnológica y de infraestructura – E7 describe

una "demanda oncológica abrumadora" derivada de los cambios en el perfil epidemiológico regional, lo que impulsa la necesidad urgente de búnkeres de radioterapia y equipos de alta complejidad; y (b) el surgimiento de tecnologías de vanguardia aún incipientes en Brasil, como la terapia CAR-T, mencionada por E12 como un proyecto futuro de la institución, lo que indica que la frontera de incorporación tecnológica en los hospitales estudiados va más allá de las tecnologías convencionales de la Salud 4.0 discutidas en la literatura.

En la planificación arquitectónica, estos avances exigen un enfoque más flexible y adaptable, garantizando que los espacios hospitalarios puedan evolucionar junto con las nuevas demandas tecnológicas. La necesidad de ampliar salas, reconfigurar los flujos internos e integrar sistemas inteligentes son aspectos fundamentales para la eficiencia y la calidad de la atención. Así, las transformaciones tecnológicas no solo impactan en la eficiencia clínica, sino que también remodelan la organización espacial de los hospitales. Este hallazgo respalda el argumento de Al-Jaroodi *et al*. (2022) de que el Plan Director Hospitalario debe incorporar una visión a largo plazo sobre las futuras demandas tecnológicas.

Perspectivas futuras

Finalmente, también se consultó a los entrevistados sobre las perspectivas futuras. Los participantes evaluaron el impacto que tendrán las tecnologías emergentes en la planificación arquitectónica hospitalaria a corto, mediano y largo plazo. Las respuestas convergieron en un conjunto de tendencias y factores condicionantes interrelacionados, pero también revelaron un marcado contraste entre las instituciones con una planificación estratégica estructurada y aquellas que operan de manera predominantemente reactiva; una diferencia que no es meramente de capacidad financiera, sino también de gobernanza organizacional.

En términos generales, las tecnologías emergentes se perciben como transformadoras de las operaciones hospitalarias, con el potencial de acelerar los diagnósticos, optimizar los flujos asistenciales y aumentar la seguridad de la atención. E3, por ejemplo, destacó que los principales cambios deberían ocurrir en los sectores de diagnóstico por imagen, apuntando a equipos más precisos y a la posibilidad de conectividad a través de dispositivos móviles que agilicen la emisión de informes y la devolución de resultados. Sin embargo, E4 evidenció una limitación concreta para la efectividad de esta transformación digital: la falta de integración entre los sistemas de salud municipales y estatales. De este modo, a pesar del monitoreo de datos internos, muchas instituciones aún no tienen acceso a la información de los pacientes atendidos en unidades de atención médica de urgencias o centros de atención primaria de salud, lo que reduce la continuidad de la atención y el valor agregado por la digitalización. E4 añade que los sistemas vigentes suelen estar fragmentados y ser de navegación compleja, lo que evidencia que la transformación digital hospitalaria no se limita a la existencia de sistemas digitales, sino que también exige que estos sistemas estén integrados, sean intuitivos e interoperables con las demás redes de salud.

Paralelamente, los entrevistados identificaron que la modernización no implica solamente la incorporación de tecnologías, sino también cambios físicos en la infraestructura hospitalaria. Diversas instituciones informaron sobre la necesidad de reformas o ampliaciones para dar cabida a las nuevas tecnologías, desde la adecuación de las áreas de diagnóstico por imagen hasta la creación de unidades especializadas. E2 mencionó que su plan director prevé ampliaciones, tales como la modernización del servicio de urgencias y la creación de una nueva unidad de cuidados intensivos neonatales (UCIN), lo que ejemplifica planes documentados que, sin embargo, tropiezan con las limitaciones de la estructura física existente. E7 subrayó la necesidad de mantenimiento y modernización de la edificación y planifica la construcción de un nuevo edificio a lo largo de la próxima década, lo que evidencia que, para algunos hospitales, la solución a mediano plazo implica nuevas construcciones, mientras que otros aún dependen de reformas internas. El caso más ambicioso identificado en la investigación es el de E9, que describe la construcción de una torre de 10 pisos, diseñada con un enfoque en tecnologías de punta (robótica, transporte neumático y monitoreo en tiempo real). Esta iniciativa representa una estrategia a largo plazo que se destaca por el volumen de planificación y el grado de ambición tecnológica, lo cual contrasta con la realidad de la mayoría de las instituciones de la muestra.

Es importante destacar que la estandarización de los entornos surge como una condición facilitadora para la incorporación de tecnologías de punta. Como señaló E6, quien observó que la existencia de nueve quirófanos con tamaños y diseños distintos dificulta la adopción de equipos, como la cirugía robótica, e impide la optimización de flujos y costos operativos.

E6 proyecta que la estandarización de los entornos quirúrgicos, además de viabilizar la cirugía robótica en múltiples salas, traerá una "reducción de costos absurda" por la ganancia de escala en los procesos, argumento que articula directamente la arquitectura, la eficiencia operativa y la sostenibilidad económica de la incorporación tecnológica.

La digitalización, aunque en curso, se manifiesta con diversos grados de madurez entre los hospitales estudiados. Algunos ya cuentan con sistemas de monitoreo avanzado e iniciativas organizadas para la gobernanza de la innovación. Otros, sin embargo, enfrentan dificultades para integrar plataformas heterogéneas y garantizar la interoperabilidad. E11 llamó la atención sobre el hecho de que la velocidad de la evolución tecnológica fue muy superior a la capacidad de algunos hospitales para seguir el ritmo de tales cambios, lo que dio lugar a procesos reactivos en lugar de proactivos, situación que refuerza la necesidad de políticas institucionales claras para orientar la adopción de nuevas tecnologías. E10 respalda este diagnóstico al afirmar que "las tecnologías llegaron de manera muy rápida y no las acompañamos a la misma velocidad", y agrega que la ausencia de una política institucional clara de incorporación de tecnología hace que las adquisiciones se realicen por demanda y no por planificación.

El contraste entre las formas de gestión de la innovación es uno de los hallazgos más relevantes del estudio. Mientras que E8 describe la creación de una Comisión de Innovación estructurada para evaluar y planificar la incorporación de nuevas tecnologías, y E12 informa de la contratación de una empresa externa para llevar a cabo la planificación estratégica en tres horizontes temporales (corto, medio y largo plazo), E11 describe una realidad opuesta: "funcionamos apagando incendios a diario", sin poder elaborar una planificación a medio o largo plazo, ya que los recursos financieros son insuficientes incluso para cubrir las necesidades operativas básicas. Esta asimetría entre instituciones revela que la madurez en la gobernanza de la innovación no viene determinada únicamente por el tamaño o el perfil jurídico del hospital, sino, sobre todo, por la estabilidad y la suficiencia de la financiación recibida.

Un aspecto recurrente en las declaraciones fue la centralidad del financiamiento y de la gobernanza en la viabilidad de las transformaciones previstas. La mayoría de los hospitales señaló dificultades financieras que limitan tanto la modernización de la infraestructura como la implementación de sistemas digitales integrados. Los hospitales públicos, en particular, informaron de una dependencia de transferencias de recursos y contratos de gestión cuyos montos no siempre cubren las demandas operativas y de inversión; el E10 ejemplificó esta condición al afirmar que la unidad "trabaja constantemente en números rojos". Por otra parte, E5 declaró no contar con preparación alguna para implementar tecnologías emergentes, lo que refuerza que la falta de planificación financiera y estratégica constituye un obstáculo concreto para el avance.

Estos testimonios indican que, más allá de las decisiones de diseño, la incorporación de innovaciones requiere políticas públicas más robustas, mecanismos de financiamiento diversificados y alianzas público-privadas que puedan viabilizar intervenciones estructurales y garantizar la continuidad de las inversiones en tecnología.

Las estrategias adoptadas por algunas instituciones señalan vías para mitigar los obstáculos identificados: además de la ya mencionada Comisión de Innovación, señalada por E8, prácticas como la estandarización de los entornos quirúrgicos (E6), el plan director que contempla ampliaciones estratégicas (E2) y la adaptación de los servicios a las expectativas de las nuevas generaciones de pacientes (E9) demuestran que las medidas organizativas y de planificación pueden favorecer transiciones más ordenadas. E9 señala, en este sentido, una tendencia aún poco explorada en la literatura nacional: la necesidad de adaptar el producto hospitalario al perfil tecnológico de las generaciones más jóvenes de pacientes, quienes llegan al sistema de salud con expectativas de experiencia digital que los hospitales hoy no están preparados para satisfacer, tanto en términos de interfaz como de procesos asistenciales mediados por la tecnología.

Por último, la Figura 2 sintetiza, en capas concéntricas, la relación de interdependencia entre las tecnologías emergentes (capa interna), los requisitos físicos y procesales necesarios para su incorporación (capa intermedia) y los condicionantes externos que viabilizan o limitan este proceso (capa externa).

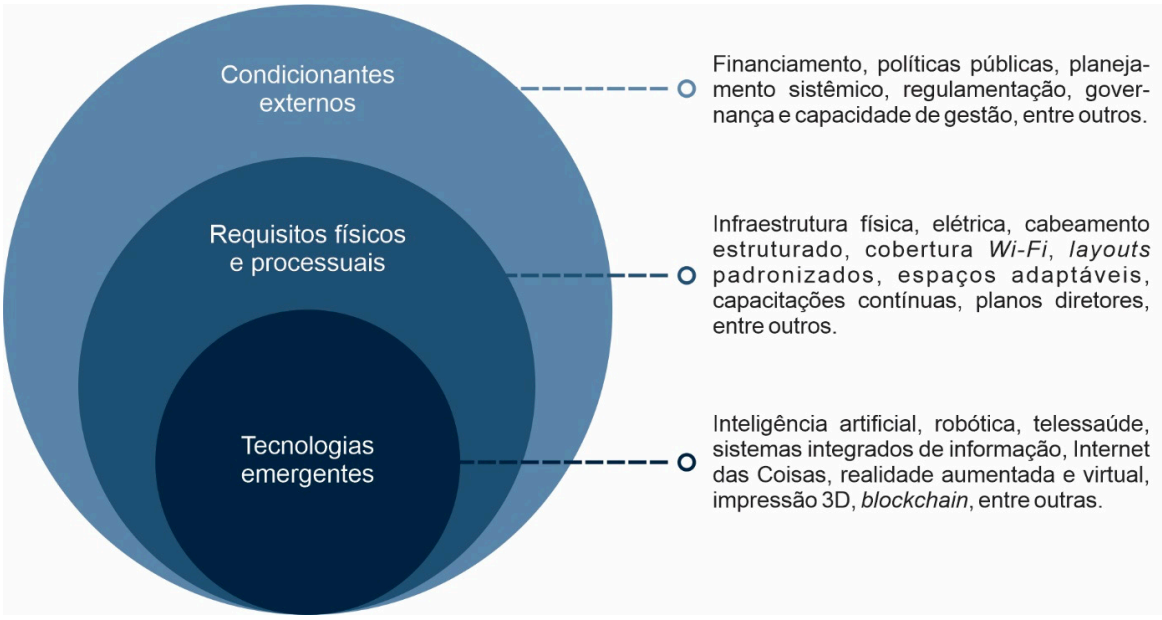


Figura 2 . Diagrama conceptual. Fuente: Autores (2025).

El diagrama refleja la evidencia central del estudio: los avances en tecnologías emergentes solamente se materializan cuando están respaldados por una infraestructura adecuada (salas estandarizadas, cableado, redes, áreas de imagenología), por procesos

institucionales (planes directores, comisiones de innovación, estandarización) y por determinantes macro vinculados a la gestión y la planificación de la red de salud (financiamiento, políticas públicas y gobernanza).

Los hallazgos también permiten afirmar que la incorporación tecnológica hospitalaria, cuando se analiza desde la perspectiva de los gestores, es un fenómeno multicapa: no se reduce a la disponibilidad del equipo o del sistema, sino que involucra la adecuación física del espacio (dimensiones, materiales de construcción, instalaciones eléctricas y de red), la readecuación de los procesos operativos, la capacitación y retención de profesionales, la sostenibilidad financiera del modelo de gestión y, en última instancia, la existencia de una política pública que oriente y financie este conjunto de transformaciones de forma coordinada y continua.

El diagrama pretende no solo resumir los hallazgos, sino también destacar que la transición hacia un modelo hospitalario más tecnológico exige acciones coordinadas en múltiples niveles y depende simultáneamente de inversiones, planificación arquitectónica consciente, gobernanza institucional y políticas públicas articuladas.

Consideraciones finales

Este estudio examinó la incorporación de tecnologías emergentes en el contexto de la Salud 4.0 en los hospitales del estado de Santa Catarina, centrándose en la relación entre estas innovaciones y la infraestructura física hospitalaria. A partir del análisis de los datos recopilados, se concluye que la incorporación de tecnologías emergentes en los hospitales enfrenta desafíos multifacéticos, que incluyen una infraestructura inadecuada, limitaciones financieras y la necesidad de políticas públicas más integrales que garanticen la calidad de la atención de salud y orienten la planificación estratégica de la red hospitalaria. La superación de estas barreras requiere reformas estructurales, capacitación y formación continua de los gestores, además de políticas de fomento de la modernización y la incorporación de tecnología en el ámbito hospitalario.

Los hallazgos de este estudio muestran que la incorporación tecnológica en la red hospitalaria estatal es heterogénea. Una proporción reducida de instituciones ya ha implementado tecnologías avanzadas y planifica incorporaciones más ambiciosas. Sin embargo, la mayoría de las instituciones enfrenta limitaciones estructurales y financieras

significativas, lo que restringe la adopción generalizada de tecnologías de punta. Además, los testimonios de los gestores revelan una distinción perceptible entre sectores: los hospitales

públicos tienden a reportar una mayor dependencia de las transferencias de fondos, obstáculos en los procesos de adquisición y restricciones presupuestarias; las instituciones privadas, aunque también enfrentan desafíos, frecuentemente poseen una mayor capacidad de inversión y agilidad para incorporar innovaciones. Sin embargo, esta diferenciación no es absoluta. Existe una variación interna en ambos sectores.

Los hospitales, tanto públicos como privados, que ya han invertido en la modernización de su infraestructura de TI demuestran que es posible superar estas dificultades, siempre que exista un direccionamiento adecuado de recursos y esfuerzos. De esta manera, la adopción de tecnologías emergentes puede contribuir significativamente a la eficiencia y la calidad de los servicios de salud en el Brasil.

Ante este escenario, resulta evidente que la transformación hospitalaria no es solo una cuestión de modernización tecnológica, sino de reestructuración profunda de los procesos hospitalarios, la gestión financiera y la cultura organizacional. Como evidencian los testimonios de los gestores, la falta de un financiamiento adecuado no solo restringe la adquisición de equipos, sino que produce efectos sistémicos sobre la capacidad de planificación, la motivación de los equipos de gestión y la seguridad del paciente. Esta cadena de consecuencias refuerza que la modernización tecnológica hospitalaria no puede tratarse como una política sectorial aislada, sino que debe integrarse en agendas más amplias de financiamiento, regulación y gobernanza del sistema de salud. La construcción de un entorno hospitalario más tecnológico exige un esfuerzo conjunto de gestores, profesionales de la salud y formuladores de políticas públicas, garantizando que las innovaciones beneficien, de hecho, la calidad de la atención y la experiencia del paciente.

Si bien el estudio se limita al estado de Santa Catarina, los desafíos identificados, **infraestructura obsoleta, restricciones financieras, vacíos regulatorios y escasez de profesionales capacitados**, son compartidos por otras regiones brasileñas con un perfil socioeconómico similar, lo que otorga una mayor relevancia a los hallazgos. Las investigaciones futuras podrían ampliar el alcance geográfico, incluir análisis comparativos entre estados y adoptar un enfoque mixto que combine métodos cualitativos y cuantitativos. Esta estrategia permitiría, por un lado, profundizar en la comprensión contextual de las experiencias y percepciones de los actores involucrados y, por el otro, medir con mayor precisión los indicadores de madurez digital, lo que aportaría una mayor robustez analítica y ampliaría el potencial de generalización de los resultados.

Referencias

AHSAN, M. M.; SIDDIQUE, Z. Industry 4.0 in health care: a systematic review. **arXiv**, 2022. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.06999. Acesso em: 30 abr. 2026.

AL-JAROODI, J. *et al*. Healthcare 4.0 – managing a holistic transformation. In: IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON 2022), 2022. **Proceedings [...]**. IEEE, 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/SysCon53536.2022.9773863. Acesso em: 30 abr. 2026.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BAUSE, M. *et al*. Design for Health 4.0: exploration of a new area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN (ICED19), 22., 2019. **Proceedings [...]**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. p. 887–896. DOI: https://doi.org/10.1017/dsi.2019.93. Acesso em: 30 abr. 2026.

BODDY, C. R. Sample size for qualitative research. **Qualitative Market Research: An International Journal**, v. 19, n. 4, p. 426–432, 2016. DOI: https://doi.org/10.1108/QMR-06-2016-0053. Acesso em: 30 abr. 2026.

CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. An introduction to Healthcare 4.0. In: CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. Healthcare 4.0: next generation processes with the latest technologies. Cham: Palgrave Pivot, 2019. cap. 1. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8114-0_1. Acesso em: 30 abr. 2026.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2009.

DAL MAS, F. *et al*. The challenges of digital transformation in healthcare: an interdisciplinary literature review, framework, and future research agenda. **Technovation**, v. 123, p. 102716, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102716. Acesso em: 30 abr. 2026.

DELOITTE Centre for Health Solutions. **Digital transformation**: shaping the future of European healthcare. 2020. Disponível em: https://www.deloitte.com/dk/en/Industries/government-public/research/shaping-the-future-of-european-healthcare.html. Acesso em: 30 abr. 2026.

FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina. **Governo de Santa Catarina firma acordo inédito de R$ 40 milhões para transformar a saúde pública com tecnologia e inovação**. 6 jun. 2025. Disponível em: https://fapesc.sc.gov.br/governo-de-santa-catarina-firma-acordo-inedito-de-r-40-milhoes-para-transformar-a-saude-publica-com-tecnologia-e-inovacao/. Acesso em: 30 abr. 2026.

FOGAÇA, I. R. Ambientes de trabalho para profissionais da saúde: ergonomia, bem-estar e retenção de talentos. In: POMPERMAIER, J. P. L.; NUNES, T. F. B. (org.). **Temas emergentes em arquitetura e engenharias no contexto hospitalar**. Santa Maria: Arco Editores, 2025. DOI: https://doi.org/10.48209/978-65-5417-541-2. Acesso em: 30 abr. 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

GUEST, G.; BUNCE, A.; JOHNSON, L. How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. **Field Methods**, v. 18, n. 1, p. 59–82, 2006. DOI: https://doi.org/10.1177/1525822X05279903. Acesso em: 30 abr. 2026.

GUPTA, A.; SINGH, A. Healthcare 4.0: recent advancements and futuristic research directions. **Wireless Personal Communications**, v. 129, p. 933–952, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s11277-022-10164-8. Acesso em: 30 abr. 2026.

MACHRY, H. S. **O impacto dos avanços da tecnologia nas transformações arquitetônicas dos edifícios hospitalares**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. DOI: https://doi.org/10.11606/D.16.2010.tde-15062010-130613. Acesso em: 30 abr. 2026.

MAHMOOD, S. *et al*. Decentralization of the health system – experiences from Pakistan, Portugal and Brazil. **Health Research Policy and Systems**, v. 22, p. 61, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s12961-024-01145-3. Acesso em: 30 abr. 2026.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, I. C. P.; FERREIRA, J. J. M. Digital transformation in the area of health: systematic review of 45 years of evolution. **Health and Technology**, v. 10, p. 575–586, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12553-019-00402-8. Acesso em: 30 abr. 2026.

NASCIMENTO, I. J. B. *et al*. Barriers and facilitators to utilizing digital health technologies by healthcare professionals. **npj Digital Medicine**, v. 6, p. 161, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41746-023-00899-4. Acesso em: 30 abr. 2026.

NUNES, A. M.; FERREIRA, D. C. A critical analysis of decentralizing the Portuguese public healthcare provision services. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 20, p. 13390, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph192013390. Acesso em: 30 abr. 2026.

POMPERMAIER, J. P. L. **Arquitetura e Saúde 4.0: tecnologias emergentes nas edificações hospitalares do Brasil**. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254480. Acesso em: 30 abr. 2026.

POMPERMAIER, J. P. L.; VERGARA, L. G. L.; CAVALCANTI, P. B. Processo de transformação da saúde e dos hospitais: um olhar para as revoluções industriais e os modelos de saúde. **Revista Ibero-Americana de Humanidades**, Ciências e Educação, v. 10, n. 10, p. 1099–1118, 2024. DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v10i10.15956. Acesso em: 30 abr. 2026.

RAIMO, N. *et al*. The drivers of the digital transformation in the healthcare industry: an empirical analysis in Italian hospitals. **Technovation**, v. 121, p. 102558, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102558. Acesso em: 30 abr. 2026.

SES-SC – Secretaria de Estado da Saúde de Santa Catarina. **Com investimento superior a R$ 2,8 milhões, Governo SC inicia modernização do parque tecnológico da rede hospitalar**. 6 jul. 2025. Disponível em: https://www.saude.sc.gov.br/index.php/pt/component/content/article/com-investimento-superior-a-r-2-8-milhoes-governo-sc-inicia-modernizacao-do-parque-tecnologico-da-rede-hospitalar?catid=84&Itemid=101. Acesso em: 30 abr. 2026.

TOPOL, E. J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. **Nature Medicine**, v. 25, n. 1, p. 44–56, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7. Acesso em: 30 abr. 2026.

TORTORELLA, G. L. *et al*. Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1702226. Acesso em: 30 abr. 2026.

Consideraciones éticas

La investigación fue sometida al Comité de Ética en Investigación con Seres Humanos (CEPSH) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC) (CAAE 81424924.0.0000.0121) y fue aprobada mediante el dictamen n.º 7.157.381.

Los participantes firmaron el Término de Consentimiento Libre e Informado (TCLE), por el que aceptaron participar de manera voluntaria, anónima y confidencial.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior – Brasil (CAPES), mediante el Código de Financiamiento 001.

Autores

João Paulo Lucchetta Pompermaier Doctorando en el Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo (PósARQ) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC). Máster en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC). Cursando un posgrado en Innovación, Tecnologías Emergentes e Inmersivas para la Salud Digital (UFG). Especialista en Neuroarquitectura (UNISUL), en Docencia en la Educación Superior (UNICSUL) y en Diseño de Interiores. Graduado en Arquitectura y Urbanismo por la Faculdade Empresarial de Chapecó (FAEM/UCEFF). Miembro del grupo de investigación GMETTA – Grupo Multidisciplinar de Ergonomía del Trabajo y Tecnologías Aplicadas (UFSC/CNPq) y del Grupo de Estudios en Arquitectura e Ingeniería Hospitalaria (GEA-hosp/UFBA).

Correo electrónico: joaopaulopompermaier@gmail.com

Lizandra Garcia Lupi Vergara Arquitecta, urbanista e ingeniera de Seguridad en el Trabajo. Posee un doctorado y una maestría en el área de Ergonomía por el Programa de Posgrado en Ingeniería de Producción (PPGEP) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC, Brasil), así como una estancia posdoctoral en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign (EE. UU.). Es profesora titular del Departamento de Ingeniería de Producción de la UFSC, donde imparte docencia en la carrera de grado (DEPS) y en los programas de posgrado en Ingeniería de Producción (PPGEP) y Arquitectura y Urbanismo (PósARQ). Desempeña el cargo de supervisora del Laboratorio de Ergonomía (LABERGO) y del Laboratorio de Tecnología Asistiva y Ergonomía (LABTAE). Es líder del grupo de investigación GMETTA – Grupo Multidisciplinario de Ergonomía del Trabajo y Tecnologías Aplicadas (UFSC/CNPq).

Correo electrónico: l.vergara@ufsc.br

Patrícia Biasi Cavalcanti Doctora en Arquitectura por el Programa de Posgrado en Arquitectura (PROARQ/FAU) de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), con una estancia doctoral (doctorado sándwich) en la California Polytechnic State University (California, EE. UU.). Es licenciada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC) y posee una maestría en Arquitectura, específicamente en el área

de Tecnología y Habitabilidad, por la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS). Es profesora adjunta del Departamento de Diseño y Expresión Gráfica de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC).

Correo electrónico: patibiasi@yahoo.com

Artículo

Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo: contexto y proyecto

Autores
Sérgio Luiz Salles Souza
Ângelo Bucci

Curaduría de imágenes y diagramas: **Gabriela Pedini**

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.06

Resumen

El artículo presenta un estudio de caso sobre la intersección entre la arquitectura de alta complejidad, el diálogo y la resiliencia urbana en el proyecto del Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo (HUSBC), donde un establecimiento de salud de 20.600 m² funciona como infraestructura crítica en un terreno con severas restricciones hidrológicas y alta densidad urbana. La metodología se basa en el análisis del proceso de co-diseño participativo y en la validación técnica de estrategias bioclimáticas pasivas. La adopción del concepto de "hospital-dique" (o *hospital defensivo*), junto con la elevación de los sistemas vitales, garantiza la continuidad operativa en escenarios de estrés ambiental. El rigor técnico y estructural, combinado con el Diseño Basado en la Evidencia (Evidence-Based Design, EBD), sitúa al HUSBC no solo como un edificio destinado a la atención clínica, sino también como un dispositivo de adaptación urbana y de promoción de la dignidad social.

Palabras clave:

arquitectura hospitalaria; resiliencia urbana; diseño basado en la evidencia; infraestructura crítica; salud pública.

1. Introducción – El desafío de la alta complejidad en territorios vulnerables

Uno de los grandes desafíos de la arquitectura para la salud pública contemporánea en Brasil es conciliar programas de alta densidad tecnológica con contextos urbanos, frecuentemente marcados por la carencia de infraestructura y la vulnerabilidad ambiental. El Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo (HUSBC) se sitúa en el epicentro de esta discusión. Diseñar un hospital de urgencias y emergencias – un establecimiento que, por definición, no admite interrupciones – en un terreno estrecho (185 m x 40 m), con un historial de inundaciones recurrentes y un nivel freático poco profundo, exige que el proyecto trascienda la función médica para convertirse en una "infraestructura de resiliencia".

Este artículo tiene como objetivo demostrar cómo la elección del partido arquitectónico fue fundamental para resolver los conflictos entre las necesidades del programa funcional y las restricciones del emplazamiento. De acuerdo con el *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, la resiliencia urbana debe constituir el pilar de las intervenciones públicas en áreas de riesgo. En el HUSBC, esta directriz se materializó en un concepto arquitectónico que puede denominarse "hospital-dique", en el que el propio edificio actúa como una barrera técnica y logística.

Según la definición de Roger Ulrich (1984), en sus estudios pioneros sobre el impacto del entorno construido en la recuperación de los pacientes, la arquitectura puede contribuir a reducir el estrés de los pacientes y acelerar los procesos clínicos de recuperación. A diferencia de una memoria descriptiva tradicional, este análisis se fundamenta en el **Diseño Basado en Evidencia** (Evidence-Based Design, EBD). En el contexto del HUSBC, el EBD constituye, por tanto, una estrategia de gestión.

> La integración de la luz natural y la conexión visual con el exterior no son solo elementos de confort, sino componentes activos en la regulación del ritmo circadiano y en la reducción del delirio en entornos críticos. (Adaptado de la Memoria de Arquitectura - ARQ-PE-0020.)

El autor propone una inmersión técnica sobre cuatro ejes fundamentales: la metodología de diseño participativo; las soluciones de flujos pautadas por protocolos de clasificación de riesgo, como el Protocolo de Manchester; el desempeño bioclimático validado por simulaciones (Informe Mitsidi); y la tectónica del hormigón pretensado con un intercolumnio de diez metros y losas sin vigas que garantizan la flexibilidad futura. Este análisis evidencia cómo la arquitectura pública de excelencia está alineada con la resiliencia operativa y la humanización de la atención en el Sistema Único de Salud (SUS).

2. Metodología – La praxis do co-diseño y la toma de decisiones basada en la evidencia

La complejidad programática de un establecimiento de urgencias y emergencias exige una metodología que trascienda el "tablero de dibujo" aislado y se establezca como un proceso de diálogo. En el desarrollo del HUSBC, se adoptó el co-diseño (diseño participativo), no solo como una herramienta de escucha, sino como un mecanismo de validación técnica rigurosa. Tal como se documenta en la *Memoria del Proyecto Ejecutivo* (PE-0010), el proceso se construyó en ciclos semanales de colaboración multidisciplinaria.

El enfoque encontró respaldo en la teoría de Sanders y Stappers (2008), quienes definen la cocreación como un cambio de paradigma en el que el usuario, en este caso el personal clínico y técnico, se convierte en el experto de su propia experiencia, mientras que el arquitecto actúa como facilitador de esta sinergia espacial. La práctica del "proyecto como investigación" permite que el diseño anticipe las deficiencias operativas y optimice el flujo de trabajo. En sus reflexiones sobre los métodos de participación, Henry Sanoff (2000) señala que la inclusión de las partes interesadas en las fases iniciales del proyecto reduce la resistencia institucional y aumenta la eficacia funcional del edificio público.

En el HUSBC, esta dinámica fue fundamental para la definición de la columna vertebral técnica y de la logística de suministros. Cada especialidad (intensivistas,

traumatología, neurología, pediatría) contribuyó con flujogramas de atención que se tradujeron en diseños espaciales, garantizando que el diseño no fuera solo una respuesta formal, sino un "algoritmo de atención". El proceso metodológico siguió cuatro etapas rigurosas:

1. Inmersión y diagnóstico – Análisis de las demandas de la red local de salud.

2. Síntesis y prototipado de flujos – Creación de simulaciones espaciales basadas en el Protocolo de Manchester.

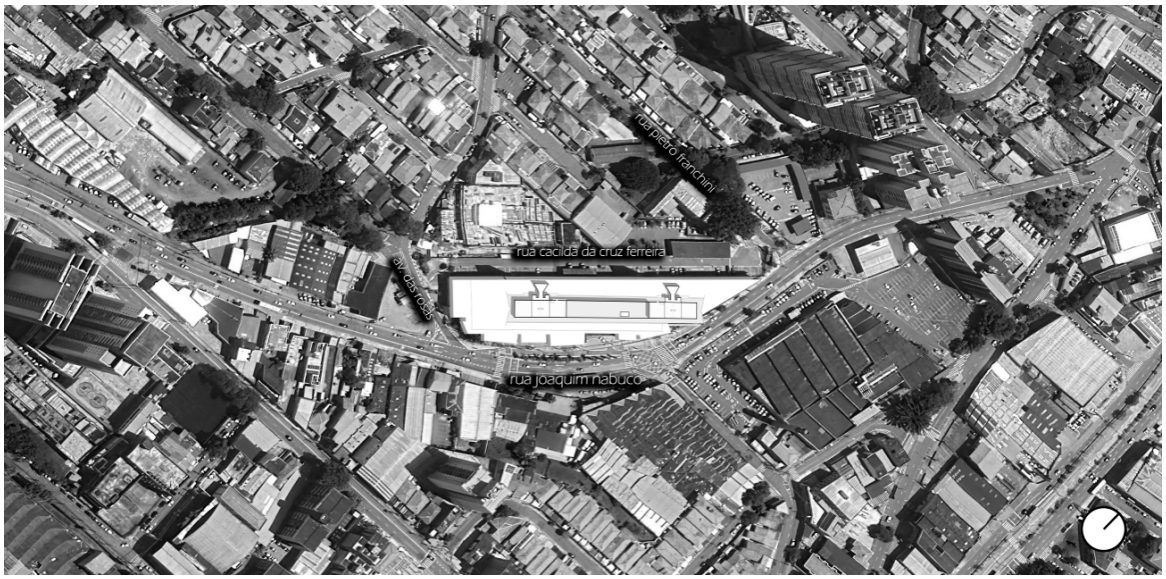
3. Interacción técnica – Reuniones sistemáticas de compatibilización multidisciplinaria (estructura e instalaciones de edificios).

4. Validación final – Homologación de modelos a escala por la Secretaría de Salud.



3. El emplazamiento: el "hospital-dique" como manifestación de la urbanidad infraestructural.

El mayor desafío del proyecto fue la implantación del HUSBC en un lote de 185 metros por 40 metros, en un suelo hidromórfico y de baja pendiente. La respuesta arquitectónica – el concepto de "hospital-dique" – no es una mera solución de ingeniería, sino una afirmación teórica sobre la arquitectura como infraestructura urbana.



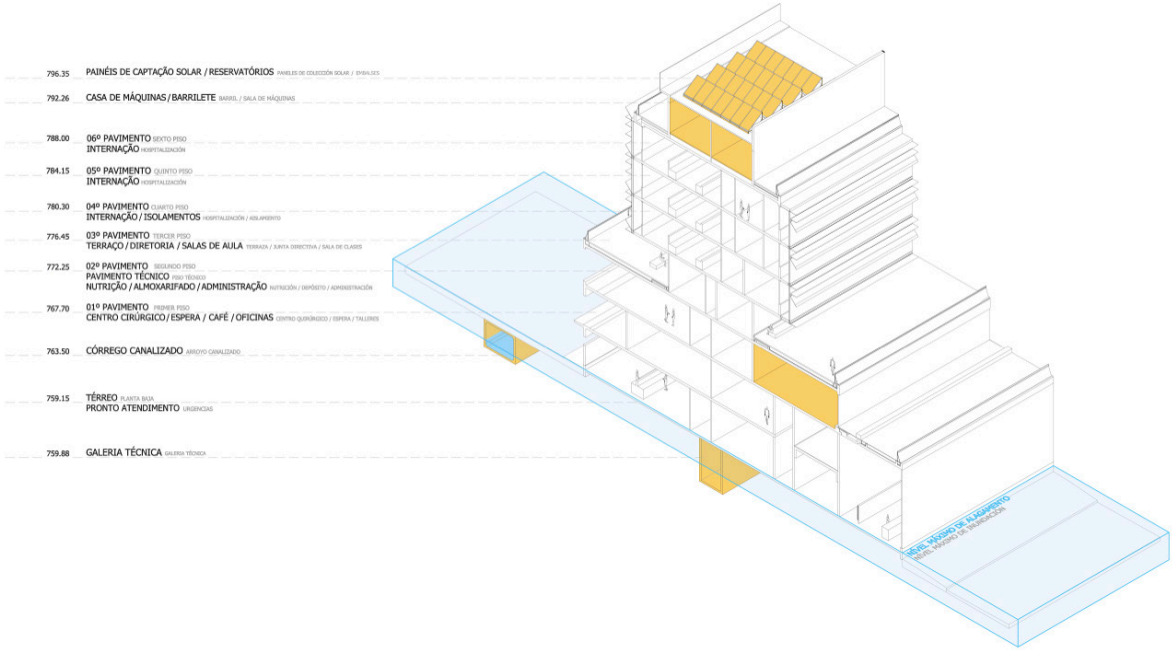
Este enfoque dialoga con el concepto de *infrastructural urbanism* (urbanismo de infraestructuras) propuesto por Stan Allen (1999), en el cual el edificio no se concibe como un objeto aislado, sino como un sistema que organiza el territorio y genera flujos ambientales. El HUSBC actúa como un dispositivo de ajuste urbano que, en lugar de negar la vulnerabilidad del terreno, la utiliza para definir su partido tectónico. En consonancia con el *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, el proyecto elevó la cota de la planta baja por encima de la cota histórica de inundación, transformando el basamento – que define el nivel de acceso – en una barrera protectora activa.





La decisión de ubicar las centrales de servicios (enfriadoras/chillers, generadores y gases) en plantas técnicas suspendidas (segunda planta técnica) subvierte la tipología hospitalaria tradicional, que históricamente entierra su "corazón técnico" en sótanos vulnerables. Aquí, la arquitectura asume una resiliencia crítica, según lo discutido por Kenneth Frampton, en la que la forma responde al lugar por medio de una "carpintería" estructural clara y funcional. Como destaca la Memoria Descriptiva (ARQ-PE-0020):

> La elevación de la maquinaria a la parte superior del edificio garantiza que, en caso de colapso del sistema de drenaje urbano, el hospital mantenga su autonomía energética y funcione como un refugio de infraestructura resiliente para la ciudad.

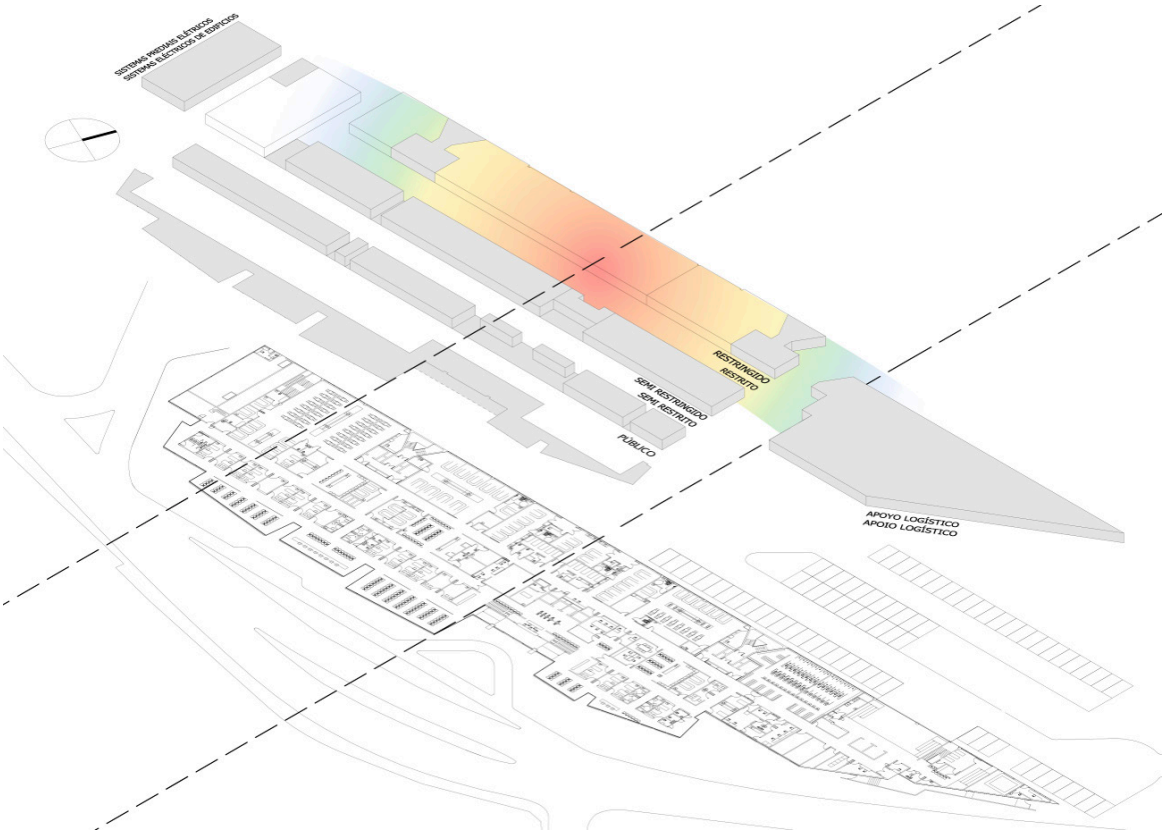


Esta resiliencia se materializa a través de la estructura de losas planas de concreto pretensado que, al no tener vigas, otorga al hospital una plena libertad en el entretecho (pleno). Esta flexibilidad es lo que permite al edificio hacer frente a lo que Keller Easterling (2014) define como el "espacio de infraestructura": un sistema en constante evolución que debe albergar actualizaciones tecnológicas sin comprometer la continuidad del servicio público esencial.



4. La arquitectura como algoritmo de triaje – El Protocolo de Manchester

La organización espacial del HUSBC no es meramente funcionalista, sino la traducción física del Protocolo de Manchester, un sistema de triaje que clasifica el riesgo clínico en colores (rojo, naranja, amarillo, verde y azul). En el proyecto, la arquitectura asume el papel de gestora de flujos, minimizando cruces y optimizando el tiempo de respuesta, factor crítico en una unidad de urgencias.



A diferencia del modelo hospitalario de "'pasillo infinito", el partido arquitectónico adoptado organiza los flujos a través de una sectorización clara en el basamento. El flujo de emergencia (rojo y naranja)[1] cuenta con acceso directo y segregado de la recepción general, lo que permite que el paciente crítico llegue a la sala de estabilización sin interferencias.[2] Esta lógica, ampliamente discutida en la literatura contemporánea de gestión hospitalaria y denominada internacionalmente Fast Track, se materializa mediante una columna vertebral de circulación técnica que conecta verticalmente las plantas de diagnóstico y cirugía.

La eficacia de este sistema radica en la claridad de las barreras físicas y visuales. Conforme al Manual de Confort de los Espacios (o *Manual de Confort Ambiental*), la señalización y la iluminación actúan como dispositivos de orientación (mapa cognitivo o *wayfinding*), lo que reduce

1 Para profundizar: MALKIN, Jain. Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Populations.

2 HERD Journal (Health Environments Research & Design): Buscar artículos con el término "Emergency Department Throughput" e "Triage Spatial Configuration".

la ansiedad del usuario y aumenta la precisión del personal médico. La arquitectura, por lo tanto, no solo alberga el protocolo, sino que lo ejecuta cuando el paciente se deja guiar por la ruta asistencial de manera intuitiva.

5. La unidad de hospitalización – El modelo 4 en 2 y la dignidad de la escala

Uno de los puntos clave de atención en el diseño arquitectónico del HUSBC radica en la tipología de las salas de hospitalización, el denominado modelo **4 en 2**. Mientras que el estándar convencional del SUS suele adoptar salas comunes con seis o más camas - lo que compromete la privacidad y la prevención y control de infecciones -, el documento de términos de referencia del HUSBC, atento a esta problemática, exigía un límite de cuatro camas por habitación. La solución arquitectónica propuesta subdividió el espacio de cada habitación en dos ambientes mediante la disposición central del núcleo sanitario.

Esta solución se vincula directamente con la tradición del modernismo humanista. Es posible trazar un paralelo con el Sanatorio de Paimio, de Alvar Aalto (1933), cuyo diseño partía de la unidad celular del paciente para definir la forma del edificio. En el HUSBC, la reducción de la escala de la sala de hospitalización busca minimizar lo que la literatura sobre Diseño Basado en la Evidencia (EBD) identifica como “estrés ambiental”. Al fragmentar la percepción visual de la habitación, se reduce el ruido y se incrementa la sensación de control del paciente sobre su entorno.

La precisión técnica de esta unidad se ve reforzada por la eliminación del falso techo, lo que permite que cada cama cuente con una infraestructura independiente de gases medicinales y electricidad, ubicada siempre en los muros. Esto posibilita un entorno sin cielo raso, con una altura libre más generosa y de fácil mantenimiento. El diseño de la sala de hospitalización también prioriza la transparencia y la luz natural a lo largo de toda la fachada, elementos que, según Roger Ulrich (1984), son determinantes para reducir el tiempo de estancia hospitalaria. El proyecto recupera la pureza funcional de Jan Duiker en el Sanatorio Zonnestraal (1928), donde la luz y el aire no son meros complementos, sino materiales de construcción fundamentales para la salud.

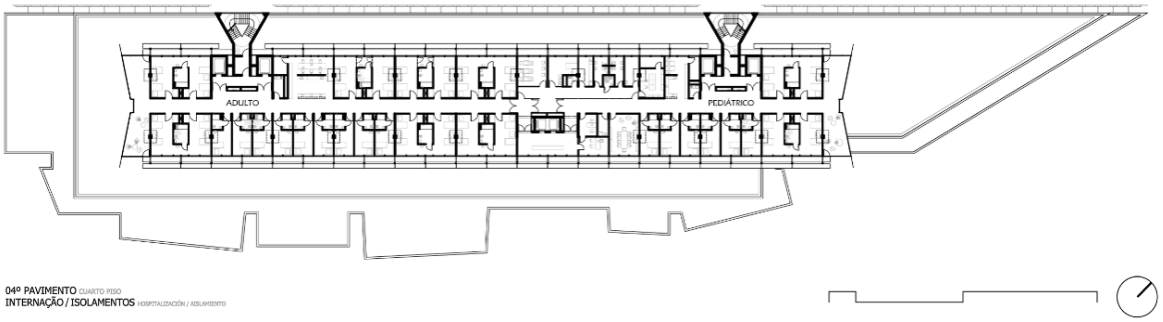
> La propuesta de ventanas bajas y la garantía de vistas al exterior transforman la sala de hospitalización en un espacio de reconexión con el mundo exterior, esencial para el mantenimiento del ritmo circadiano y la estabilidad psíquica del paciente en estado de urgencia. (Adaptado de la Memoria de Arquitectura - ARQ-PE-0020).

Además del beneficio clínico, el modelo - 4 en 2 - ofrece una ventaja de flexibilidad operativa: en escenarios de aislamiento por patologías

específicas, el hospital puede bloquear únicamente dos camas en lugar de un ala entera, optimizando así la tasa de ocupación del establecimiento público.



Aunque los sectores de adultos y pediátrico tienen sus áreas de acceso para el público estrictamente separadas desde el acceso en la planta baja, la barrera que los separa en las tres plantas de hospitalización puede abrirse a fin de integrar todo el pasillo de habitaciones en una misma unidad. La estrategia de esta propuesta consiste en aprovechar la demanda estacional característica del hospital pediátrico para liberar camas destinadas al hospital de adultos, tanto para responder a la demanda como para viabilizar el mantenimiento ordinario de las salas de hospitalización.

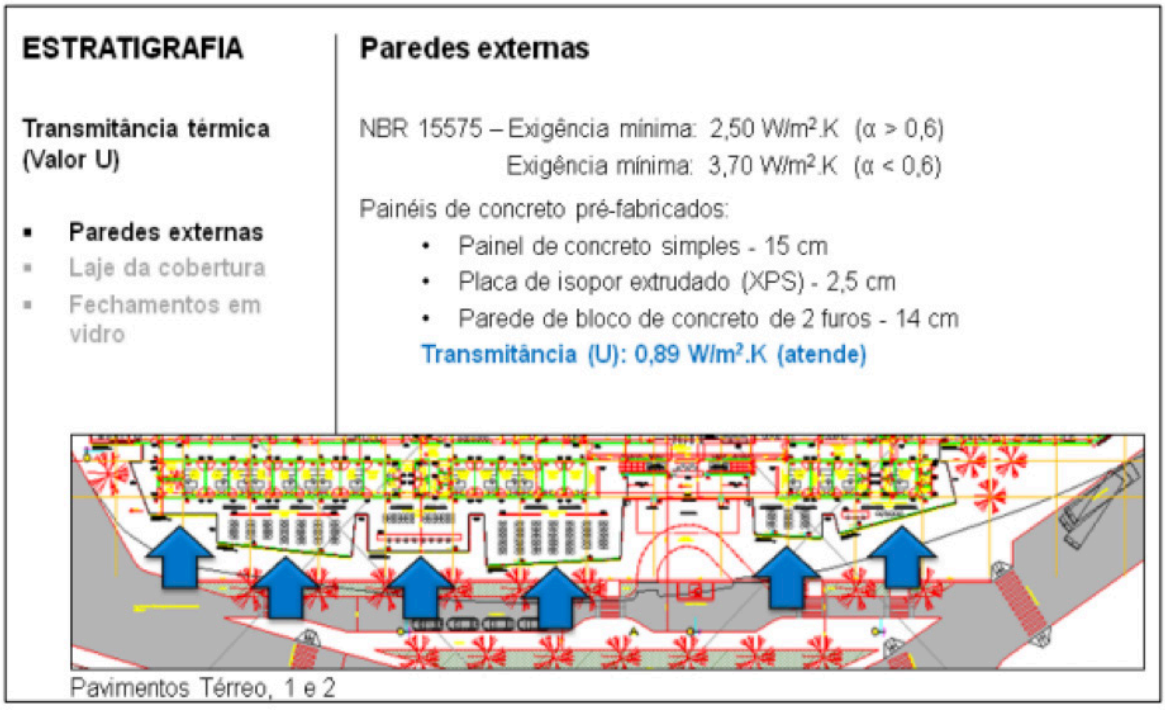


04º PAVIMENTO CUARTO PISO
INTERNAÇÃO / ISOLAMENTOS HOSPITALIZACIÓN / AISLAMIENTO

6. Desempeño bioclimático: la ciencia detrás del confort pasivo

Uno de los pilares de la sostenibilidad operativa del HUSBC es su capacidad para proporcionar confort térmico mediante estrategias pasivas, es decir, con una dependencia mínima de los sistemas mecánicos de climatización, especialmente en las áreas de hospitalización, lo que se traduce en un bajo consumo de energía. De acuerdo con las directrices del *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de São Bernardo do Campo*, la reducción del consumo energético en los edificios públicos constituye un indicador de la eficiencia de la gestión. En el HUSBC, este objetivo se alcanzó mediante un análisis riguroso de la envolvente del edificio.

El informe elaborado por la empresa Mitsidi (2017), que sirvió de base para el proyecto ejecutivo, incluyó simulaciones termoenergéticas que validaron la eficacia del sistema de parasoles (*brises-soleil*) en las fachadas con mayor incidencia solar (este y oeste). Estos parasoles se dimensionaron para impedir la radiación solar directa sobre las fachadas acristaladas, permitir el paso de la luz natural, bloquear el ingreso de calor y garantizar que la carga térmica interna se mantuviera dentro de las zonas de confort establecidas por la norma NBR 15575.



ESTRATIGRAFIA

Fator Solar (FS)
Transmitância térmica (Valor U)

- Paredes externas
- Laje da cobertura
- **Fechamentos em vidro**

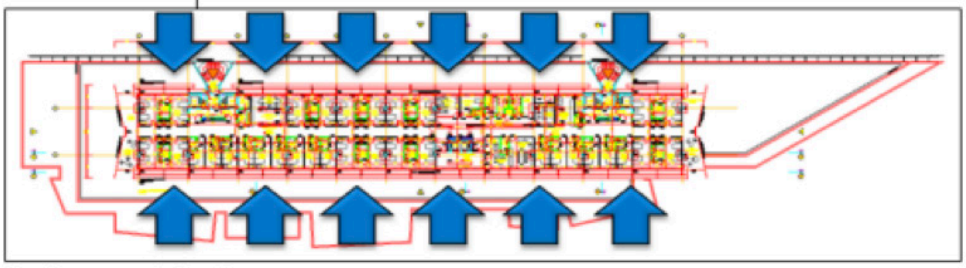
Fechamentos em vidro

NBR 15575 – Não há exigência mínima para vidros

Vidro laminado simples:

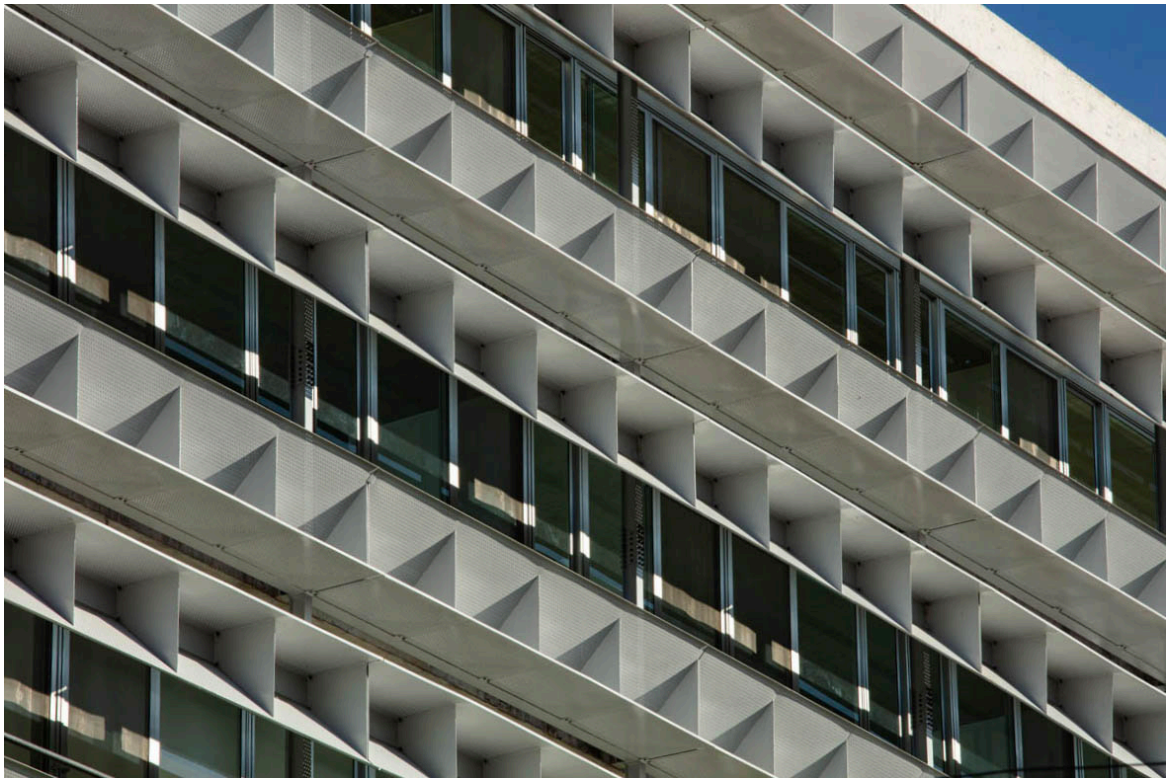
- Laminado (4mm / 4mm)

Fator Solar (FS): 82,0%
Transmitância térmica: 5,63 W/m².K
Sombreamento com brise horizontal

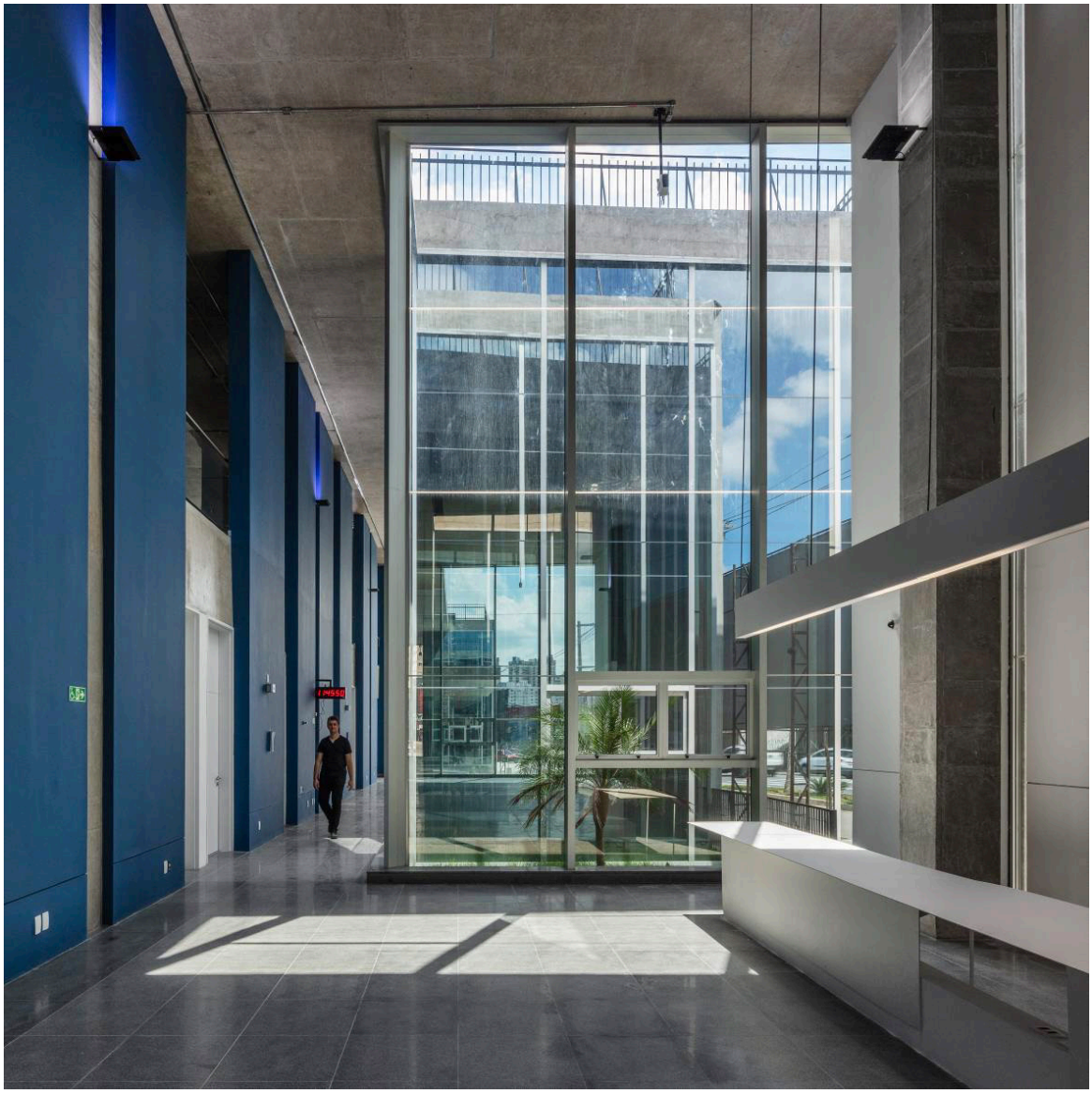


Pavimentos 4, 5 e 6





La estrategia bioclimática se basa en el concepto de ventilación natural inducida y en el uso de la inercia térmica de la estructura de hormigón. Como señala Victor Olgyay (1963) en su teoría del diseño bioclimático, el edificio debe actuar como un filtro entre el clima exterior y las necesidades metabólicas internas. En el contexto hospitalario, esta "filtración" adquiere un nivel de complejidad adicional: garantizar la renovación del aire para la prevención y el control de infecciones. El uso de ventanas practicables y el doble puntal con aberturas cenitales, estratégicamente ubicadas en las áreas de recepción y de estar en la planta baja, permiten que el hospital "respire", reduciendo la proliferación de patógenos y, simultáneamente, prescindiendo del uso de aire acondicionado en áreas de baja criticidad, lo que genera un ahorro significativo en costos de mantenimiento y energía.

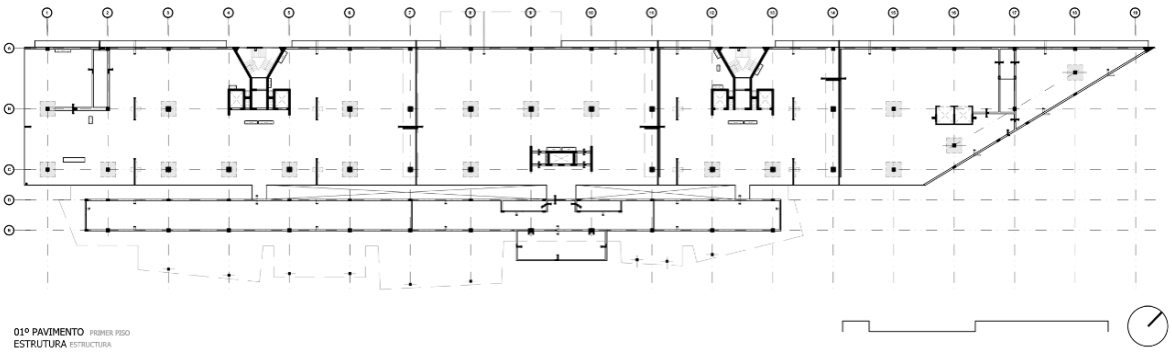


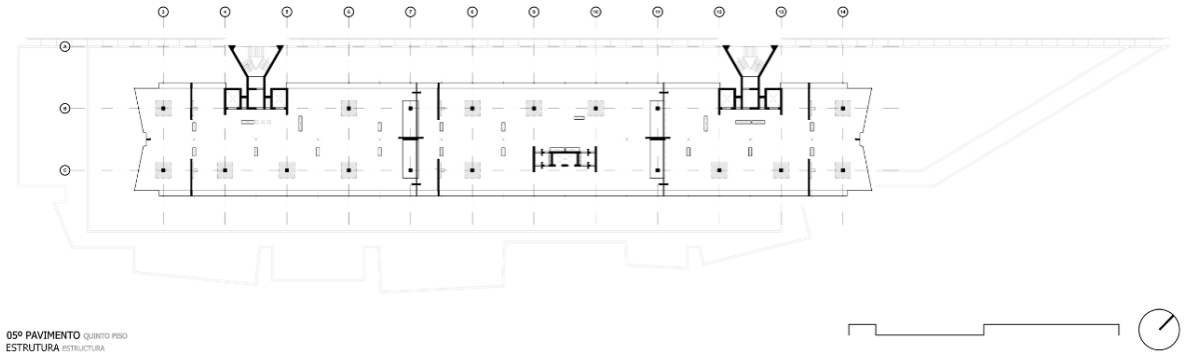
7. Tectónica y longevidad – El hormigón pretensado como ética constructiva

La materialidad del HUSBC se define por la reducción de la paleta, mediante el uso extensivo de hormigón armado y pretensado para la estructura que, por regla general, se mantiene visto para evitar la superposición innecesaria de trabajos que a menudo se realizan por puro hábito (diseño sin crítica). Esta elección responde a una decisión pragmática orientada a la velocidad de ejecución, al bajo mantenimiento y a la durabilidad, o simplemente a la tectónica, como fue teorizado por Kenneth Frampton (1995). En un edificio público, el bajo mantenimiento es un imperativo ético.



El sistema estructural de hormigón pretensado permitió la ejecución de grandes luces y, en consecuencia, la creación de una plena libertad en el entretecho, sin la interferencia de vigas. El intercolumnio de diez metros, considerando la profundidad y el tipo de cimentación, también constituye una decisión económica. Esta solución técnica, detallada en la Memoria ARQ-PE-0020, garantiza la flexibilidad sistémica del hospital. Al concentrar las instalaciones en un vacío técnico generoso (pleno), entre la losa y el falso techo, el diseño permite que las futuras actualizaciones tecnológicas de la infraestructura médica se realicen sin necesidad de intervenciones destructivas en la estructura principal.





La piel del edificio, compuesta por paneles prefabricados y carpinterías de aluminio, responde a la necesidad de estanqueidad y aislamiento acústico en un entorno urbano ruidoso. La columna vertebral técnica - el eje vertical que concentra los ductos de instalaciones (*shafts*) y la circulación de servicios públicos - fue diseñada para ser accesible externamente en puntos estratégicos, facilitando el mantenimiento preventivo sin interferir en las áreas estériles o de atención médica.

> La claridad técnica del montaje del edificio, en el que la estructura, la infraestructura y los cerramientos se conciben como sistemas independientes, confiere al HUSBC una inteligencia constructiva que prolonga su vida útil y minimiza la obsolescencia funcional. (Adaptado de la Memoria del Proyecto Ejecutivo).

Esta integración arquitectónica, que conjuga el rigor de la ingeniería con la sensibilidad del diseño hospitalario, da lugar a un edificio que no solo cumple eficazmente su función, sino que también establece un diálogo con la ciudad mediante su solidez y transparencia, reforzando el papel de la arquitectura pública como un bien cultural perdurable.






50

8. Evaluación posocupación (EPO) – La resiliencia en la operación real

La transición del proyecto al edificio construido es el momento en el que las hipótesis de diseño se ponen a prueba. En el caso del HUSBC, la evaluación post-ocupación (EPO) se revela como un instrumento fundamental de gestión. Según Wolfgang Preiser (1995), la EPO no debe ser vista únicamente como un diagnóstico de fallas, sino como un proceso cíclico que alimenta el conocimiento para futuras intervenciones. En el HUSBC, la operación iniciada en 2020 permitió observar cómo la infraestructura crítica respondió a demandas extremas.

La sectorización vertical y la claridad de los flujos de suministros (columna vertebral técnica) reducen drásticamente el tiempo de transporte interno de materiales y residuos. La eficiencia logística, prevista en la *Memoria del Proyecto ARQ-PE-0020*, se materializó en una operación más eficiente y segura. La separación estricta entre el flujo sucio (residuos y materiales contaminados) y el flujo limpio (insumos y pacientes) - facilitada por el diseño arquitectónico - demostró ser un factor diferenciador clave en la gestión de riesgos biológicos.

El sistema de escaleras de seguridad abiertas y ventiladas naturalmente atiende simultáneamente las demandas de seguridad y la agilidad del desplazamiento vertical, brindando a los colaboradores la vista de la ciudad desde diversos niveles de observación.



9. La pandemia de COVID-19 como la prueba de estrés definitiva

Inaugurado en mayo de 2020, el HUSBC fue convertido de forma inmediata en un centro de referencia para la atención de pacientes con COVID-19. Este contexto de crisis constituyó una prueba de máxima exigencia para la solución arquitectónica adoptada. La flexibilidad de la unidad de hospitalización con configuración 4-en-2 demostró un desempeño superior al de los modelos tradicionales de salas de hospitalización colectivas. La posibilidad de subdividir las habitaciones de cuatro camas

en unidades independientes de dos camas permitió aislar grupos de pacientes con diferentes niveles de gravedad y distintos perfiles infecciosos, sin comprometer la capacidad operativa total del área de hospitalización.

La resiliencia de la infraestructura, mencionada anteriormente bajo el concepto de hospital-dique (o *hospital defensivo*), fue validada por la autonomía de los sistemas. La ubicación de los pisos técnicos suspendidos garantizó que los equipos de mantenimiento pudieran intervenir en los sistemas de gases medicinales y de climatización sin acceder a las áreas rojas contaminadas. Esta capacidad de mantenimiento desde el exterior redujo el riesgo de contaminación cruzada entre el personal de apoyo y los equipos asistenciales.

> La capacidad del edificio para adaptarse a una patología desconocida y de alta transmisibilidad, sin requerir reformas estructurales de emergencia, demuestra que la flexibilidad de diseño es, en última instancia, una estrategia de salud pública. (Informe de la Dirección Clínica, 2021).

10. Humanización y percepción del usuario – El impacto del diseño basado en la evidencia (EBD)

Además de la eficiencia técnica, la APO (Evaluación Post-Ocupación) buscó medir la percepción de bienestar de los usuarios (pacientes y personal). Con base en el Diseño Basado en la Evidencia (EDB), el proyecto priorizó la luz natural y la conexión visual con la línea del horizonte y la trama urbana.



Los informes cualitativos de los pacientes indican una reducción de la percepción de confinamiento, un fenómeno frecuente en los hospitales de urgencias con iluminación exclusivamente artificial. La estrategia de incorporar ventanas de antepecho bajo en las salas de hospitalización, que permite la visión del horizonte incluso a los pacientes encamados, respalda las tesis de Roger Ulrich sobre la disminución de los niveles de cortisol y la mejora del estado de ánimo.

Para el personal de enfermería y médico, la ergonomía de los puestos de trabajo - ubicados de manera que garantizan la visibilidad directa hacia las camas, pero con un aislamiento acústico adecuado - dio como resultado una disminución de la fatiga laboral. La arquitectura, por lo tanto, dejó

de ser un escenario pasivo para convertirse en un agente activo en la recuperación del paciente y en la salud mental de los trabajadores. Conforme al *Manual de Confort Ambiental*, la integración de colores sobrios, ventilación natural controlada y acústica eficiente ha transformado al HUSBC en un paradigma de que "el edificio público puede y debe ofrecer la misma calidad ambiental que los centros de excelencia privados".

11. Análisis comparativo – Del hospital de pabellones al hospital de torre y basamento

La evolución de las tipologías hospitalarias refleja el cambio en las concepciones de higiene, medicina y urbanismo. Para comprender la relevancia científica del HUSBC, es necesario situarlo en el debate entre el modelo de pabellones, el monobloque vertical y la solución híbrida de basamento y torre.

Históricamente, el modelo de pabellones (como el Hospital Lariboisière en París)[3] priorizaba la ventilación cruzada y el aislamiento de patologías, pero resultó ineficiente en términos de flujos y logística en terrenos urbanos escasos. Con el advenimiento de los sistemas de climatización y ascensores, la arquitectura hospitalaria migró hacia el monobloque, una caja compacta de alta densidad. Sin embargo, el monobloque frecuentemente padece de una ceguera tecnológica: el corazón del edificio se vuelve inaccesible y las áreas técnicas terminan comprimidas en sótanos, lo que compromete el mantenimiento y la adaptabilidad del sistema – una falla crítica que el HUSBC busca corregir.

El HUSBC opta por la tipología de torre y basamento, con una planta técnica de transición. Esta solución permite la disociación de dos ritmos temporales distintos dentro del edificio:

1. **Basamento (*podium*)**: de carácter logístico y diagnóstico, que exige grandes superficies horizontales y conexiones directas con la trama urbana.

2. **Bloque de hospitalización (*tower*)** – que requiere repetición, silencio y contacto con el exterior (luz y vistas).

La superioridad de esta elección para el HUSBC radica en la introducción de la planta técnica intermedia. Mientras que los hospitales urbanos densos suelen verse afectados por el conflicto de infraestructuras (vigas que obstruyen los conductos, ductos de instalaciones (*shafts*) insuficientes), el HUSBC genera una tregua espacial. Como argumenta Stephen Verderber (2010) en *Innovations in Hospital Architecture*, la longevidad de un hospital está vinculada a su "capacidad de actualización sistémica sin trauma". Al elevar la torre sobre un piso técnico, el HUSBC

3 Para profundizar: BOUDON, Françoise. "Système de la brique et de la pierre : l'hôpital Lariboisière". In: Revue de l'Art, n. 29, 1975. Un artículo técnico detallado sobre la construcción y el simbolismo de los materiales (ladrillo y piedra) en el proyecto de Gauthier.

permite que toda la complejidad de las redes (gases medicinales, electricidad, climatización/HVAC) se gestione de manera horizontal e independiente; una solución significativamente más resiliente que el apilamiento rígido del monobloque tradicional.

12. La dialéctica de la vía rápida (fast-track) – Eficiencia asistencial frente a calidad espacial

Otro punto de inflexión en el debate técnico es la implementación del sistema de vía rápida (*fast-track*) en la atención de urgencias[4]. Si el Protocolo de Manchester[5] organiza el flujo por colores y gravedad; el *fast-track* (vía rápida) es el algoritmo de aceleración para casos de baja complejidad pero con alta rotación.

Científicamente, la literatura sobre gestión hospitalaria demuestra que el cuello de botella en los servicios de urgencias no radica únicamente en la escasez de camas, sino en la gestión deficiente de los flujos de salida[6]. La arquitectura del HUSBC da respuesta a esto mediante la creación de circuitos de circulación independientes que operan en paralelo. En el HUSBC, el diseño no es simplemente un contenedor; constituye un "dispositivo de flujo".

En comparación con proyectos contemporáneos internacionales, como los hospitales de Herzog & de Meuron (Rehab Basel) o las clínicas de Alvar Aalto, el HUSBC mantiene el rigor funcionalista europeo, aunque adaptado a la realidad de la salud pública brasileña. Mientras que Aalto utilizaba la forma para "curar" al individuo por medio de la fenomenología del espacio, el HUSBC utiliza la estructura para "curar" la gestión pública mediante la eficiencia logística.

> "El hospital urbano moderno debe operar como una 'fábrica de salud' en su base, pero como un 'espacio de humanidad' en su nivel superior. El éxito del HUSBC radica en no permitir que la lógica industrial del diagnóstico contamine la dignidad del espacio de reposo". (Extraído del marco teórico del proyecto participativo).

Esta dualidad refuerza la tesis de que la arquitectura hospitalaria de alta complejidad debe entenderse como un sistema sociotécnico. La elección del hormigón pretensado, analizada anteriormente, no responde únicamente a criterios estructurales; constituye el elemento que hace posible esta dialéctica entre la base logística y la torre de hospitalización, al eliminar las limitaciones impuestas por una retícula excesivamente densa de pilares y permitir que los flujos asistenciales de urgencias se desarrollen con la fluidez espacial y funcional que requieren.

4 Para profundizar: ZILM, Frank. "The Future of Emergency Department Design". In: Journal of Ambulatory Care Management. GROUP2 ARCHITECTURE. "Lean Design in Healthcare: Emergency Department Case Studies".

5 Para profundizar: MACKWAY-JONES, Kevin; MARSDEN, Janet; WINDLE, Jill. Emergency Triage: Manchester Triage Group. BMJ Books.

6 BOSCH, Sheila J. *et al.* "The Effects of Healthcare Design on Patient Outcomes".

13. La ética de la materialidad: durabilidad y mantenibilidad

En el contexto de la salud pública, la selección de los materiales trasciende la dimensión visual para convertirse en una decisión de gestión de activos. En el HUSBC, la especificación siguió el trinomio durabilidad-mantenibilidad-inmunidad material. Dado que el hospital opera en un régimen de 24/7, la interrupción por reformas de mantenimiento correctivo genera perjuicios sociales y financieros incalculables.

La adopción del hormigón armado y pretensado visto como lenguaje y estructura refleja lo que Kenneth Frampton (1995)7 describe cómo la "ontología de la construcción". Al exponer la estructura, el proyecto elimina capas de revestimiento (como revoques e imprimaciones o pinturas) que representarían puntos vulnerables a patologías y requerirían repintados periódicos. El hormigón, tratado con barnices hidrófugos y protección superficial, ofrece una envolvente robusta e inmune a la agresividad del entorno urbano.

14. La envolvente de alto rendimiento – Parasoles, prefabricados y estanqueidad

La envolvente del HUSBC se diseñó como un sistema multicapa. Para los cerramientos exteriores del zócalo que da a la calle, se optó por paneles de hormigón prefabricado (concreto prefabricado), los cuales garantizan una mayor rapidez de montaje y un control de calidad superior al de la mampostería convencional. Estos paneles poseen un alto índice de aislamiento acústico, elemento esencial para el confort del paciente en un predio colindante con vías de alto tráfico.

Las carpinterías de aluminio con vidrio laminado de altas prestaciones fueron especificadas para cumplir los criterios de estanqueidad y de aislamiento térmico. El principal elemento técnico corresponde a los brise-soleil metálicos fijos, cuya geometría fue definida a partir de las simulaciones realizadas por la consultoría especializada en confort ambiental Mitsidi. La elección del aluminio con pintura electrostática para los elementos de protección solar se justifica por su resistencia a la corrosión y su ligereza estructural.

A diferencia de los sistemas de parasoles móviles, que con frecuencia presentan fallas mecánicas en los edificios públicos debido a la falta de mantenimiento, los parasoles fijos del HUSBC garantizan la eficacia del sombreado pasivo de manera permanente. Conforme al *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, esta solución pasiva reduce la carga térmica hasta en un 30%, lo que permite que el sistema de climatización opere en regímenes de menor potencia y, en consecuencia, prolongue la vida útil de los compresores y enfriadoras (chillers).

7 Vide: FRAMPTON, Kenneth. Estudos sobre a cultura tectônica: a poética da construção na arquitetura dos séculos XIX e XX. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

15. Materiales de interiores y conformidad con la RDC 50

Internamente, la especificación de materiales siguió rigurosamente la RDC 50 de la Anvisa, pero con un enfoque orientado a la humanización. En áreas críticas, como el centro quirúrgico y las UCI, se utilizó piso vinílico conductor y monolítico para evitar la acumulación de suciedad y facilitar la asepsia.

Para las áreas de circulación y recepción, el uso de piedras naturales (granito) y paneles melamínicos de alta densidad (en áreas controladas) busca romper con la frialdad clínica tradicional. La interfaz entre la arquitectura y la ingeniería se manifiesta en el diseño detallado de los cielorrasos modulares y desmontables, instalados exclusivamente en las áreas técnicas y de circulación. Esta elección permite el acceso inmediato al entretecho (pleno de instalaciones), lo que posibilita la instalación de nuevas redes de datos o gases medicinales sin necesidad de romper paredes ni generar polvo.

> La especificación técnica en el HUSBC no constituye un acto aislado, sino una articulación entre la normativa sanitaria y la eficiencia operativa. Cada junta, cada material y cada encuentro entre superficies fueron diseñados para resistir un uso intensivo y facilitar la limpieza y desinfección, que constituyen la primera línea de defensa para la prevención y el control de las infecciones asociadas a la atención de la salud (IAAS). (Extraído de la Memoria de Especificaciones - ARQ-PE-0030).

16. La interfaz con las instalaciones – La columna vertebral como objeto arquitectónico

La mayor interfaz entre arquitectura e ingeniería en el HUSBC es su columna vertebral técnica. Se trata de un eje vertical de ductos registrables que atraviesa el edificio. Mientras que, en los hospitales convencionales, las instalaciones se “ocultan” en espacios inaccesibles, en el HUSBC estas constituyen el corazón de la organización espacial.

Esta estrategia de diseño permite el mantenimiento predictivo. El personal técnico puede acceder a los tableros eléctricos, válvulas de gases y columnas montantes hidráulicas sin ingresar a las salas de hospitalización ni a las áreas restringidas. Esta evidencia técnica eleva al hospital al estatus de infraestructura flexible, garantizando que el edificio pueda evolucionar tecnológicamente a lo largo de las décadas.

17. El ritual del proyecto: de la escucha cualitativa a la formalización técnica

En el HUSBC, la metodología de co-diseño no consistió en una consulta pasiva, sino en una serie de talleres de simulación de flujos. Durante la fase de anteproyecto, las reuniones semanales no se enfocaron únicamente en "qué" quería el médico, sino en "cómo" el espacio podía mediar el error humano.

Un ejemplo práctico de esta iteración metodológica ocurrió en la definición de las salas de urgencias y de reanimación. Inicialmente previstas en una distribución convencional, las discusiones con el equipo de traumatología revelaron que la disposición de las camas debía permitir una visión de 360 grados desde la central de enfermería, pero con la posibilidad de un aislamiento rápido en caso de procedimientos invasivos. Esto dio lugar al diseño de islas de atención con columnas de techo suspendidas (estativos), liberando el suelo para la libre circulación de los carros de emergencias y de los equipos multidisciplinarios.

Esta metodología de transposición, en la que la demanda clínica se traduce en métricas espaciales, se fundamenta en los principios de E.T. Hall (1966) sobre la proxémica. La arquitectura del HUSBC manipula las distancias para garantizar que, en situaciones de estrés por urgencias, el espacio funcione a favor del profesional, reduciendo lo que la ergonomía denomina carga cognitiva. Cada decisión de diseño y distribución (*layout*) se sometió a pruebas de recorrido virtual en las que se cronometró el tiempo de traslado del paciente de trauma al quirófano, lo que dio lugar a la creación de ascensores exclusivos de código rojo.

18. Arquitectura en tiempos del Antropoceno – El hospital como nodo de resiliencia

Al vincular el HUSBC con el *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, se observa que el proyecto se anticipa a un debate crucial: la resiliencia de las edificaciones críticas frente a los fenómenos climáticos extremos. El concepto de hospital-dique adquiere aquí una dimensión política y ambiental. En el contexto del Antropoceno, en el que las inundaciones urbanas son cada vez más frecuentes y graves, el hospital no puede ser una víctima del territorio, sino que debe constituir su punto de anclaje.

La estrategia de elevar el núcleo técnico del hospital al segundo piso - protegiendo transformadores, generadores y centrales de gases medicinales -, además de establecer la cota de la planta baja en un nivel seguro, dialoga con el concepto de **arquitectura anfibia**. Mientras que la infraestructura urbana del entorno puede fallar debido al desbordamiento de canales o a la saturación del suelo (nivel freático superficial documentado en los informes de sondeo), el HUSBC permanece como una isla de funcionalidad.

Este enfoque se fundamenta en la teoría de la **resiliencia evolutiva** de C. S. Holling, adaptada a la arquitectura por investigadores contemporáneos. Un edificio resiliente no es aquel que se caracteriza por ser rígido e indestructible, sino el que posee redundancia y capacidad para mantener sus funciones vitales ante una perturbación. Al adoptar el hormigón pretensado y las grandes luces, el HUSBC permite que, en caso de que un ala se vea comprometida, otra pueda absorber su función sin que se produzca un colapso sistémico.

> La sostenibilidad en el HUSBC no se mide únicamente por sellos verdes, sino por su capacidad de no interrumpir la atención. En un escenario de cambio climático, la mayor virtud de un hospital es su resiliencia operacional. (Fundamento teórico basado en el Manual de Obras Sostenibles).

La integración de sistemas de drenaje propios, con cuencas de amortiguación y reutilización de aguas pluviales, permite que el hospital actúe como un dispositivo de compensación hídrica para el barrio. De este modo, el edificio devuelve a la ciudad una regulación que la urbanización densa e impermeable de São Bernardo do Campo había eliminado.El HUSBC, por lo tanto, deja de ser solo un edificio de salud para convertirse en una pieza de infraestructura azul[8] y verde[9], esencial para la supervivencia urbana en el siglo XXI.

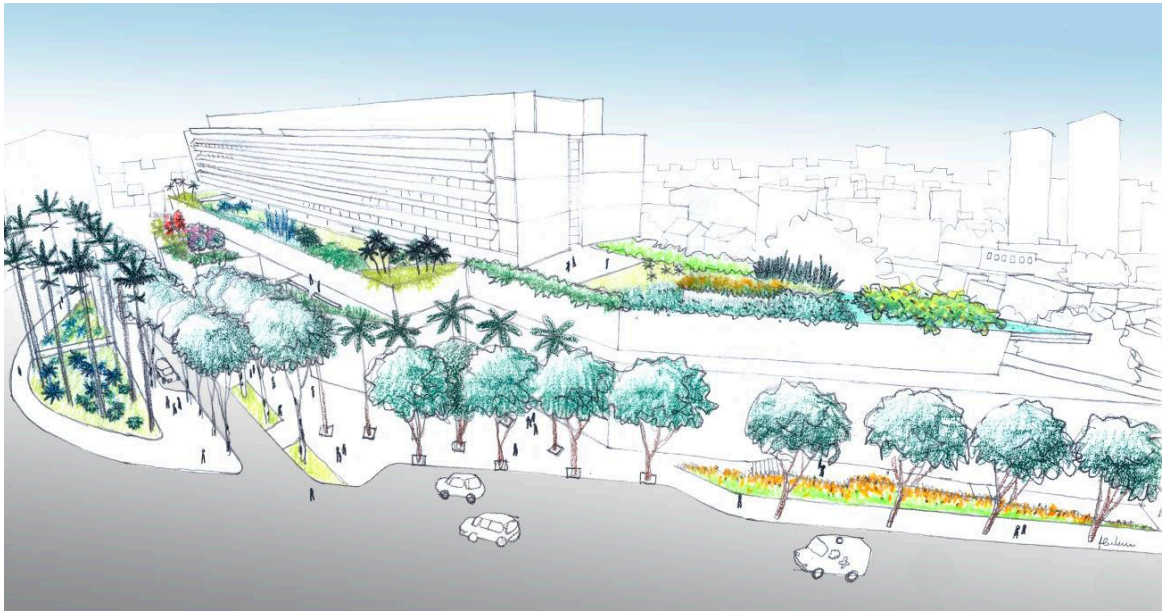
19. La escala humana en el equipamiento metropolitano – El hospital y la calle

La inserción de un edificio de 20.600 m² en un lote estrecho y densamente poblado exige una sensibilidad que trasciende el programa hospitalario. El HUSBC no se comporta como un *búnker* institucional; por el contrario, dentro de sus límites, busca establecer una nueva urbanidad para São Bernardo do Campo. Alineado con las directrices del *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, el proyecto cualifica el espacio público al tratar el retiro frontal no como un vacío residual, sino como una extensión de la acera, promoviendo lo que Jane Jacobs (1961) define como los "ojos de la calle".

A diferencia de la tipología de los hospitales amurallados, el HUSBC utiliza la transparencia del zócalo y el diseño del paisajismo para suavizar la transición entre el dominio público y el entorno de alta complejidad. La plaza de acceso, protegida por el voladizo de la estructura postensada, ofrece sombra y cobijo, funcionando como una sala de espera urbana que acoge no solo a los usuarios del hospital, sino también a los peatones que transitan por la zona. Esta estrategia de arquitectura de la acogida es fundamental para desestigmatizar el espacio de salud pública, transformándolo en un nodo de civilidad y cuidado.

8 Para aprofundamento: DREISEITL, Herbert. Waterscapes: Planning, Building and Designing with Water. Birkhauser, 2001.

9 BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Island Press, 2006.



20. El paradigma de la hospitalidad – El espacio como agente de sanación

El concepto de hospitalidad hospitalaria[10], ampliamente debatido en la literatura contemporánea sobre arquitectura para la salud, propone que el entorno debe actuar como un soporte psicológico para el paciente y para el acompañante. En el HUSBC, esta hospitalidad se materializa en la calidad del aire, la abundancia de luz natural y el control acústico.

Basado en el **Manual de Confort Ambiental**, el proyecto utiliza el color, las texturas y la iluminación como componentes del entorno terapéutico (*healing environment*). Como señala Roslyn Lindheim (1985), la pérdida de control y la desorientación constituyen las principales fuentes de estrés en los hospitales. En el HUSBC, la claridad de la circulación vertical y la conexión visual permanente con el exterior ayudan a los pacientes a orientarse en el tiempo y el espacio, preservando su vínculo con la realidad externa al proceso de enfermedad.

La hospitalidad se extiende al personal asistencial. Los ambientes de descanso para médicos y enfermeros fueron diseñados bajo las mismas premisas de confort bioclimático que las salas de hospitalización. Reconocer que la arquitectura debe cuidar de quienes cuidan es uno de los pilares de la sostenibilidad social del equipamiento. Un entorno que reduce la fatiga y el error humano es, por definición, un entorno más eficiente y económico para la gestión pública.

10 MALKIN, Jain. A Healing Architecture. New York: McGraw-Hill, 1992.

21. "Hospital-ciudad" – Redundancia y diversidad programática

El HUSBC opera como una microciudad. Además de las áreas clínicas, el edificio alberga una compleja red de servicios: desde la gestión de residuos y las centrales de esterilización hasta auditorios de enseñanza y áreas de convivencia. Esta diversidad programática exige una infraestructura que soporte el uso intensivo sin colapsar.

La solución de pisos técnicos registrables, ya descrita, permite que esta "microciudad" se adapte de manera continua. En el contexto de la salud pública, donde la demanda aumenta de forma constante y los recursos son limitados, la flexibilidad sistémica constituye la estrategia más eficiente para optimizar los recursos. El HUSBC demuestra que una arquitectura pública de excelencia no representa un lujo, sino una estrategia de gestión y optimización de los recursos públicos. Al invertir en una estructura robusta y flexible, el Estado evita la obsolescencia prematura del edificio y garantiza su capacidad para responder a las necesidades de múltiples generaciones, adaptándose a nuevas tecnologías médicas que, en la actualidad, aún no es posible prever.

22. Síntesis – La ética de la técnica en la arquitectura para la salud

Es evidente que el Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo (HUSBC) representa una ruptura con el modelo de asistencia hospitalaria puramente descriptivo y funcionalista. El proyecto plantea una reflexión para la arquitectura pública brasileña, en la cual la técnica – manifestada en la estructura postensada, el hormigón visto y los sistemas de barrera hidrológica – no es un fin en sí misma, sino un medio para viabilizar la atención y la dignidad humana.

En respuesta a los desafíos planteados por un terreno vulnerable y una demanda social urgente, el HUSBC demuestra que la arquitectura actúa como una infraestructura crítica. El diseño de hospital-dique y la elevación de los sistemas vitales hacia plantas técnicas suspendidas no son meras soluciones de ingeniería, sino manifestaciones de una responsabilidad ética con la continuidad del servicio público.

23. Contribuciones y consideraciones para el campo científico y proyectual

La experiencia del HUSBC durante la pandemia de COVID-19 constituyó la validación empírica definitiva de estos principios. La flexibilidad del modelo de hospitalización 4 en 2 y la independencia técnica de las plantas garantizaron que el hospital no fuera únicamente un edificio, sino un instrumento estratégico para la respuesta a la crisis sanitaria.

Las contribuciones potenciales de este artículo al debate contemporáneo sobre la arquitectura hospitalaria se sintetizan en tres pilares:

1. Validación del co-diseño – La demostración de que el proceso participativo con el personal clínico da como resultado flujos operativos más eficientes y espacios más humanizados.

2. Eficacia del Diseño Basado en Evidencia (EBD) – La demostración de que las estrategias bioclimáticas pasivas, validadas mediante simulaciones térmicas y lumínicas, garantizan el confort ambiental y la sostenibilidad operativa, sin depender de manera excesiva de sistemas mecánicos.

3. Resiliencia como atributo arquitectónico: la propuesta de una tipología hospitalaria urbana que anticipa los desafíos climáticos e hidrológicos, manteniendo su autonomía operativa en escenarios de estrés ambiental.

Estos tres pilares adquieren una relevancia aún mayor en un equipamiento público de gran escala y alta complejidad como este, ya que orientan y actualizan la agenda de la arquitectura en el contexto contemporáneo, especialmente frente a los desafíos de la sostenibilidad y del cambio climático. En consecuencia, constituyen también los fundamentos que sustentan lo que actualmente se reconoce como calidad arquitectónica. Pero el juicio que atribuye el peso específico a cada una de las especialidades que finalmente componen el hecho arquitectónico no se basa en ninguna de ellas. Es decir, ninguna de las especialidades, tampoco ninguno de los tres pilares, tiene, por principio, el protagonismo. Puesto que el juicio que establece la adecuada jerarquía entre ellos depende de cada caso y de todas las variables que lo definen. Este juicio ético, en efecto, corresponde a la propia definición de arquitectura.

La conclusión es que el HUSBC reafirma el papel del arquitecto como articulador de conocimientos complejos. En la intersección entre la medicina, la ingeniería, el urbanismo y las ciencias sociales, surge un edificio que no solo alberga la atención y la recuperación de la salud, sino que también contribuye a la regeneración del entorno urbano al ofrecer a la ciudad un referente de excelencia, resiliencia y calidad arquitectónica. El rigor académico adquirido en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de São Paulo (FAU-USP), unido a una práctica proyectual de vanguardia, deja como legado para este hospital la convicción de que la salud pública brasileña merece lo mejor que la arquitectura puede ofrecer.

Referencias

ALLEN, Stan. **Points + Lines: Diagrams and Projects for the City**. New York: Princeton Architectural Press, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 50**, de 21 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Brasília, DF, 2002.

EASTERLING, Keller. **Extrastatecraft: The Power of Infrastructure Space**. London: Verso, 2014.

FRAMPTON, Kenneth. **Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture.** Cambridge: MIT Press, 1995.

HALL, Edward T. **The Hidden Dimension**. Garden City: Doubleday, 1966.

HOLLING, Crawford S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 4, n. 1, p. 1-23, nov. 1973.

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House, 1961.

LINDHEIM, Roslyn. **New Design Parameters for Health Care Facilities**. New York: National Academy Press, 1985.

MITSIDI PROJETOS. **Relatório de Eficiência Energética e Desempenho Térmico: Hospital de Urgências de São Bernardo do Campo**. São Paulo: Mitsidi, 2017.

OLGYAY, Victor. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

PREISER, Wolfgang F. E. **Post-Occupancy Evaluation**. New York: Routledge, 1995.

SANDERS, Elizabeth B.-N.; STAPPERS, Pieter Jan. Co-creation and the new landscapes of design. **Co-design**, v. 4, n. 1, p. 5-18, mar. 2008.

SANOFF, Henry. **Community Participation Methods in Design and Planning**. New York: John Wiley & Sons, 2000.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Obras. **Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2017.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Saúde. **Manual de Conforto Ambiental Hospitalar**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2018.

ULRICH, Roger S. View through a window may influence recovery from surgery. **Science**, v. 224, n. 4647, p. 420-421, abr. 1984.

VERDERBER, Stephen. **Innovations in Hospital Architecture**. New York: Routledge, 2010.

ANEXO A – Ficha técnica

Hospital Público de Urgência

São Bernardo do Campo, SP, Brasil

Projeto I Proyecto: **2014 - 2015**

Construção I Construcción: **2015 – 2016**

Arquitetos I Arquitectos

SPBR Arquitetos

Angelo Bucci

Tatiana Ozzetti, Nilton Suenaga, Beatriz Marques, Victor Próspero

Lucas Roca, Martha Bucci, Beatriz Brandt

ARQLAB

[Consultoria em arquitetura hospitalar I Consultoría de arquitectura hospitalaria]

Sérgio Salles

Ivan Portero, Priscila Segala, Vinicius M. Oliveira, Fernanda V. Santos

SIC ARQUITETURA

[Apoio à produção de desenhos em Autocad I Apoyar la producción de dibujos en Autocad]

Fabio Kassai

Bruno Taiar de Carvalho, Ana Carolina Artuzi Aipp, George Ferreira, Renata Ribeiro Lopes, Mariana Ginesi

Consultores:

Estrutura I Estructura

Kurkdjian Fruchtengarten

Fundações I Cimientos

ENGEOS Engenharia e Geotecnia

Instalações prediais I Instalaciones del edificio

MHA Instalações

Paisagismo I Paisajismo

Raul Pereira Arquitetos Associados

Orçamento e custos I Presupuesto y Costos

Alberto Costa Neto

Engenharia de especificações I Ingeniería de especificaciones

Leonardo Katori

Luminotécnica I Iluminación

LUX Projetos - Ricardo Heder

Eficiência energética I Eficiencia Energética

MITSIDI - João Leal, Arthur Cursino, Edward Borgstein

Impermeabilização I Impermeabilización

PROASSP

Cozinhas industriais I Cocinas Industriales

NUCLEORA

Elevadores I Ascensores

ZAPP Consultoria

Incêndio I Protección contra incendios

Cel. Altino Gianesini

Cliente

Fundação do ABC/ Prefeitura da cidade de São Bernardo do Campo

Programa

Hospital Público de Urgência

Área do terreno

17.548,16 m²

Área construída total I Área total construida

21.831,81 m²

Sistema estrutural I Sistema Estructural

Concreto armado convencional e protendido I Hormigón Armado Convencional y Pretensado

Principais materiais I Materiales principales

Concreto, aço, vidro e alumínio I Hormigón, Acero, Vidrio y Aluminio

Modelo 3D I Modelos electrónicos

Ricardo Canton

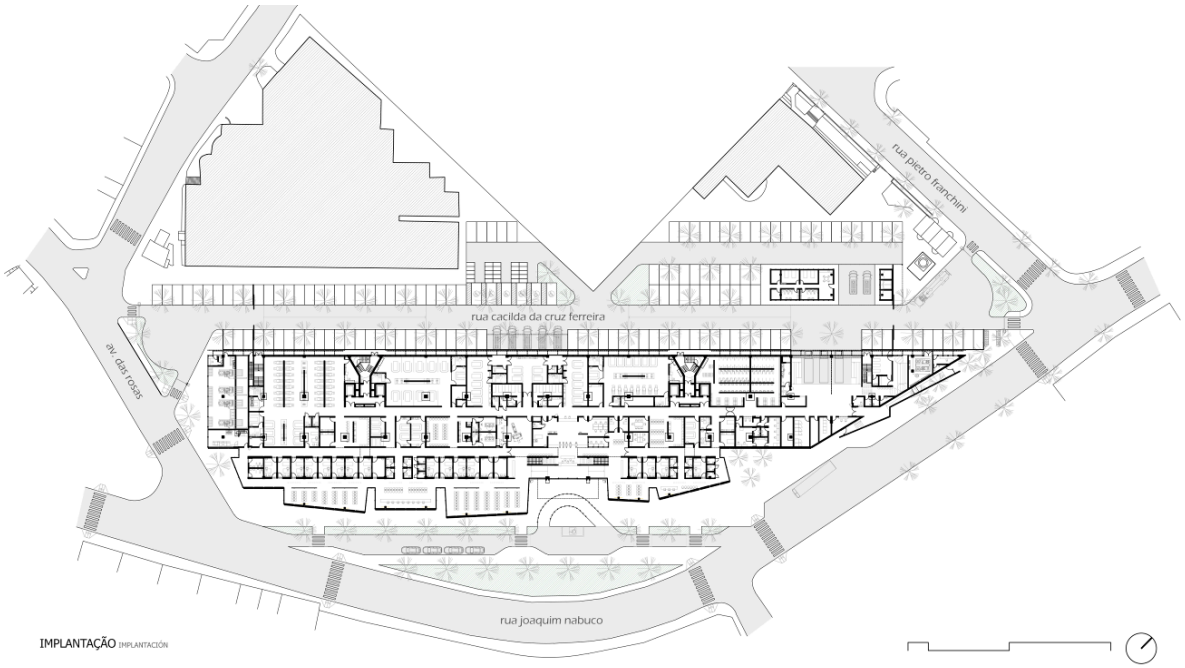
Maquete I Modelo

Triviño Maquetes

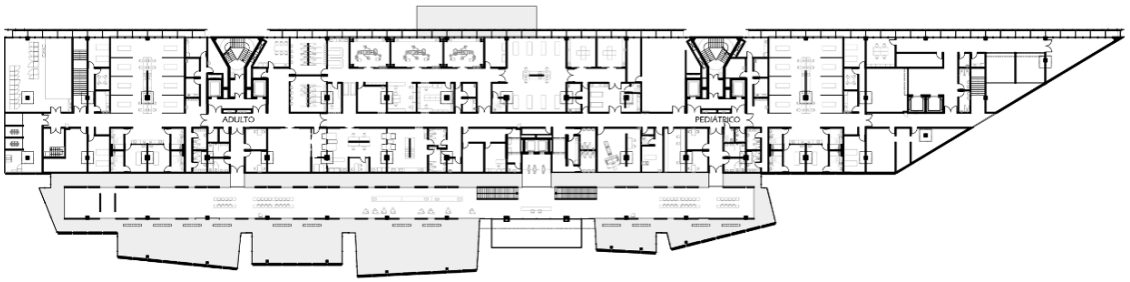
Fotos da obra e fotos da maquete I Fotos de la obra y fotos de la modelo

Nelson Kon

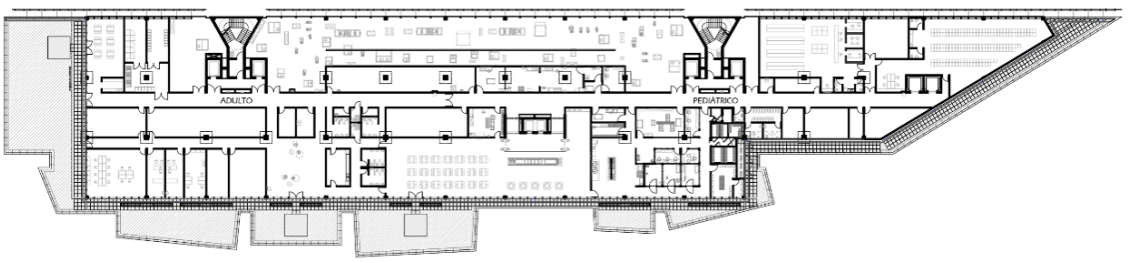
ANEXO B – Piezas gráficas



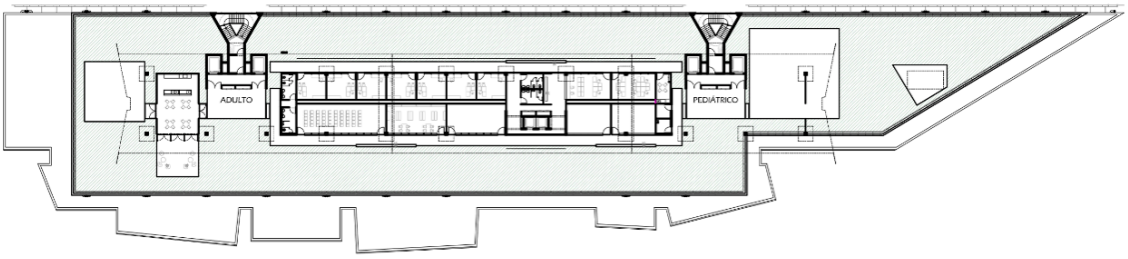
IMPLANTAÇÃO IMPLANTACIÓN



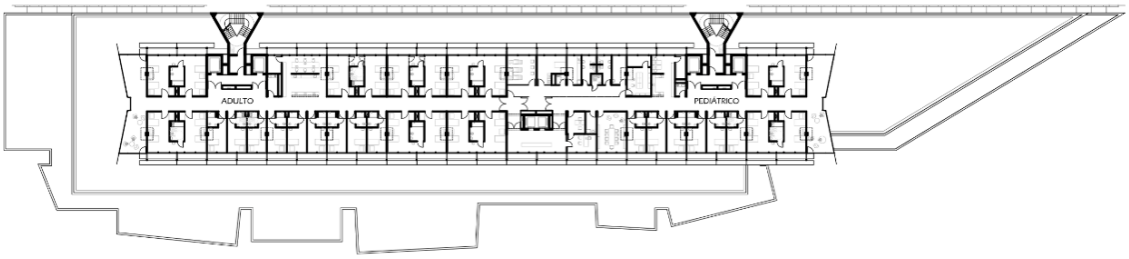
01º PAVIMENTO PRIMER PISO
CENTRO CIRÚRGICO / ESPERA / CAFÉ / OFICINAS CENTRO QUIRÚRGICO / ESPERA / TALLERES



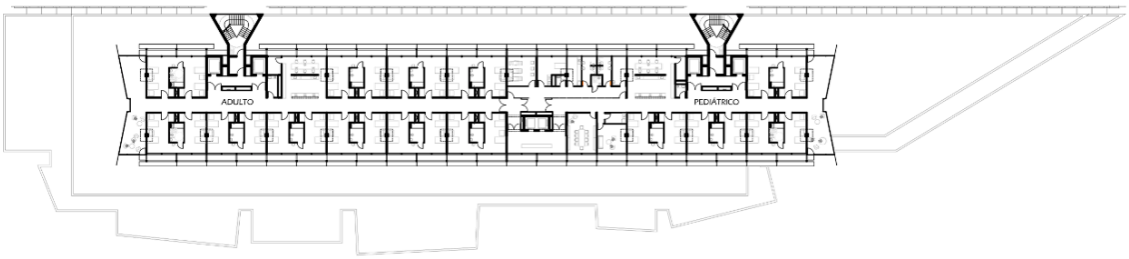
02º PAVIMENTO SEGUNDO PISO
PAVIMENTO TÉCNICO PISO TÉCNICO
NUTRIÇÃO / ALMOXARIFADO / ADMINISTRAÇÃO NUTRICIÓN / DEPÓSITO / ADMINISTRACIÓN



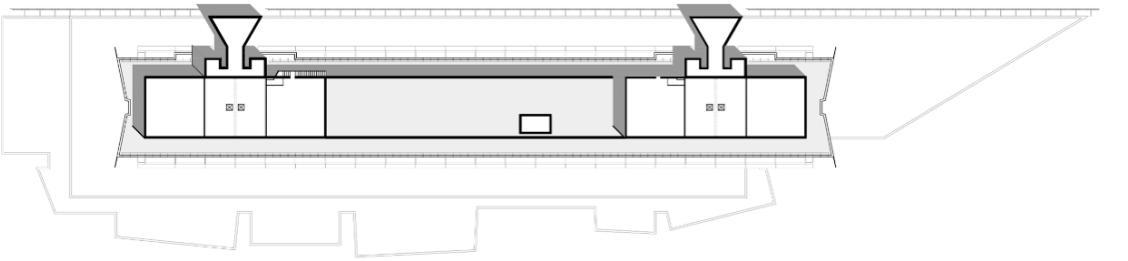
03º PAVIMENTO TERCER PISO
TERRAÇO / DIRETORIA / SALAS DE AULA TERRAZA / JUNTA DIRECTIVA / SALA DE CLASES



04º PAVIMENTO CUARTO PISO
INTERNAÇÃO / ISOLAMENTOS HOSPITALIZACIÓN / AISLAMIENTO



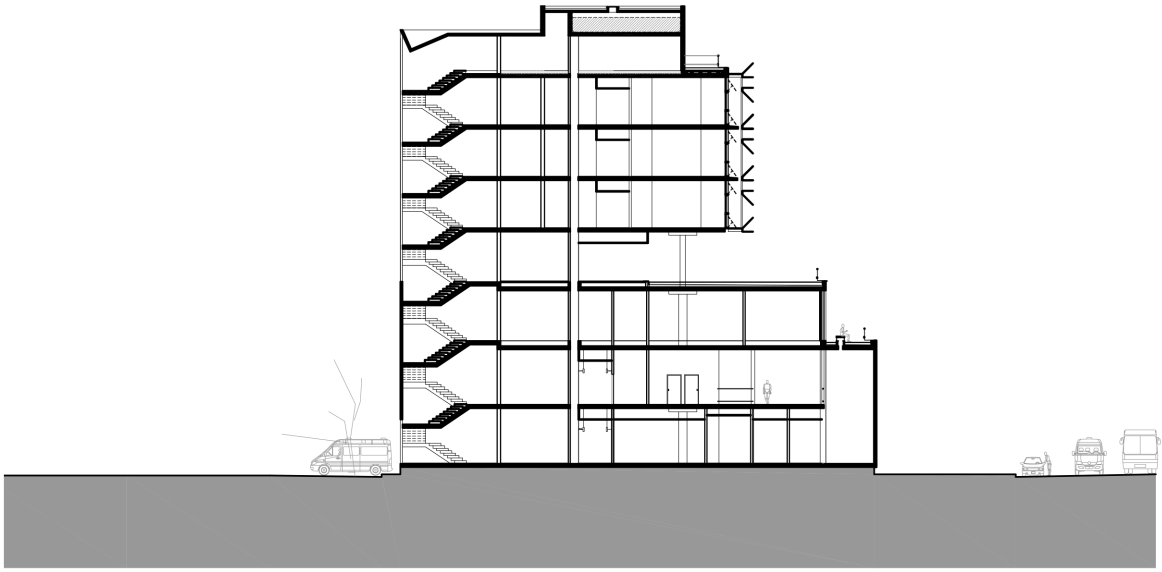
05º PAVIMENTO QUINTO PISO
06º PAVIMENTO SEXTO PISO
INTERNAÇÃO HOSPITALIZACIÓN



COBERTURA COBERTURA



CORTE LONGITUDINAL SECCIÓN LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL SECCIÓN TRANSVERSAL

Autores

Angelo Bucci Fundador y director del estudio SPBR Arquitetos desde 2003. Es profesor de la FAUUSP, en São Paulo, Brasil, y Professor of the Practice del MIT, en Massachusetts, Estados Unidos. También ha impartido clases en Argentina, Chile, Ecuador, Italia y Suiza. En 2011 fue nombrado miembro honorario del Instituto Americano de Arquitectos.

Sérgio Luiz Salles Souza especialista en arquitectura hospitalaria, con más de 30 años de experiencia práctica y enfocado en proyectos de alta complejidad para centros de salud. Su experiencia incluye la coordinación de proyectos como el Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo, donde aplicó principios de diseño basado en evidencia (Evidence-Based Design, EBD) para optimizar los flujos asistenciales y reducir el riesgo de infecciones hospitalarias.

IPH

INSTITUTO DE
PESQUISAS
HOSPITALARES
ARQUITETO
JARBAS KARMAN