UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

Faculdade de Engenharia e Ciências – FEG – Guaratinguetá/SP

KARINE BORGES DE OLIVEIRA

DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE EM HOSPITAIS COM O APOIO DAS TECNOLOGIAS HEALTHCARE 4.0

Guaratinguetá/SP

2025

KARINE BORGES DE OLIVEIRA

DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE EM HOSPITAIS COM O APOIO DAS TECNOLOGIAS HEALTHCARE 4.0

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Campus de Guaratinguetá, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Projetos, gestão e otimização

Orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira

Guaratinguetá

2025

Oliveira, Karine Borges de
O48d Diretrizes para o desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais com o apoio das tecnologias Healthcare 4.0 / Karine Borges de Oliveira - Guaratinguetá, 2025.
182 f : il.
Bibliografia: f. 154-176

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Otávio José de Oliveira

1. Sustentabilidade. 2. Tecnologia médica. 3. Hospitais - Administração. I. Título.

CDU 658:614.2(043)

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESSA PESQUISA

A pesquisa apresenta um impacto ao evidenciar como a adoção equilibrada de tecnologias H4.0 pode gerar impactos positivos nas dimensões econômica, ambiental e social da sustentabilidade hospitalar. Este estudo amplia o horizonte de soluções possíveis para sistemas de saúde mais sustentáveis, contribuindo de forma efetiva para o avanço da gestão hospitalar no século XXI.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The research demonstrates its impact by showing how the balanced adoption of H4.0 technologies can generate positive effects on the economic, environmental, and social dimensions of hospital sustainability. This study broadens the range of possible solutions for more sustainable healthcare systems, effectively contributing to the advancement of hospital management in the 21st century.

KARINE BORGES DE OLIVEIRA

Diretrizes para o Desenvolvimento e Gestão da Sustentabilidade em Hospitais por meio das Tecnologias Healthcare 4.0.

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Data da defesa: 20/08/2025

Banca Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
OTAVIO JOSE DE OLIVEIRA
Data: 20/08/2025 12:41:34-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. OTAVIO JOSE DE OLIVEIRA
Orientador - UNESP

gov.br Documento assinado digitalmente
MARCIO CARDOSO MACHADO
Data: 20/08/2025 15:10:55-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. MARCIO CARDOSO MACHADO
UNIP

gov.br Documento assinado digitalmente
MESSIAS BORGES SILVA
Data: 21/08/2025 11:17:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
UNESP

gov.br Documento assinado digitalmente
YASMIN SILVA MARTINS XAVIER
Data: 21/08/2025 11:38:42-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. YASMIN SILVA MARTINS XAVIER
UNESP

gov.br Documento assinado digitalmente
CAMILA FABRICIO POLTRONIERI
Data: 21/08/2025 12:00:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª Drª CAMILA FABRICIO POLTRONIERI
EEL/USP

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado saúde e sabedoria para perseverar aos inúmeros desafios. Por ter sido meu refúgio nas incertezas, minha luz nos momentos de escuridão e minha fortaleza nos dias mais desafiadores. Sem Sua presença constante em minha vida, este caminho não teria sido possível.

Aos meus pais Jonas (in memoriam) e Aparecida que me ensinaram valores e princípios para minha formação pessoal e não mediram esforços para contribuir para minha formação profissional.

Ao meu marido Eduardo, o maior incentivador para o caminho acadêmico, e que trouxe serenidade e apoio nos momentos que mais precisei. Seu companheirismo e amor incondicional foram fundamentais para que eu seguisse firme, mesmo diante das maiores dificuldades. Obrigada por estar ao meu lado em cada etapa.

Aos meus filhos Gabriel e Isabela, que entenderam minha ausência nas horas e horas de pesquisa, mas que, ao fim de cada dia, lá estavam eles para me dar um abraço. Dedico a vocês e espero que esse trabalho os inspire a seguirem sempre em busca do conhecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Otávio José de Oliveira que tanto me ensinou e nunca esteve ausente. Sua orientação atenta, comprometida e experiente foi essencial para o amadurecimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico.

Aos professores integrantes desta banca de defesa de doutorado, por contribuir com relevantes contribuições no refinamento desta pesquisa.

Aos professores e servidores da Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, em especial àqueles do Departamento de Produção, Seção de Pós-Graduação e Biblioteca.

Às organizações hospitalares e seus diretores, gestores e funcionários, por contribuírem com suas experiências para informações detalhadas inseridas neste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas”.

(Claude Lévi-Strauss)

RESUMO

A contribuição dos hospitais para o desenvolvimento sustentável global deixou de ser uma opção, tornou-se uma exigência urgente e inadiável. Além da responsabilidade inerente de salvar vidas, essas instituições enfrentam pressões crescentes da sociedade, de órgãos governamentais, agências ambientais, concorrentes, clientes e até de seus próprios colaboradores para adotar práticas sustentáveis em sua gestão. No entanto, para que possam desempenhar esse papel de forma efetiva, é preciso superar uma série de desafios estruturais, operacionais e culturais. As tecnologias Healthcare 4.0 (H4.0) são soluções promissoras para auxiliar os hospitais nessa missão, mas implantá-las e utilizá-las nesse ambiente geralmente escasso em recursos apresenta obstáculos e restrições. Portanto, este trabalho tem como objetivo principal propor diretrizes para desenvolvimento e gestão da Sustentabilidade em Hospitais (SH) com o apoio das tecnologias H4.0. Para isto, essa tese de doutorado foi estruturada da seguinte forma: introdução; artigo 1: Tornando os hospitais sustentáveis: rumo a serviços mais verdes, mais justos e mais prósperos; artigo 2: Rumo ao Healthcare 4.0: Indústria 4.0 inovando a gestão hospitalar; artigo 3: Promovendo a sustentabilidade por meio das tecnologias Healthcare 4.0; artigo 4: Transformação Sustentável nos Hospitais com o apoio do Healthcare 4.0: Proposta Baseada em Evidências Teórico-Empíricas; e Conclusão. A contribuição teórica dessa tese de doutorado consiste em integrar e aprofundar conceitos pouco articulados sobre gestão da SH, oferecendo uma base teórica inédita que impulsiona o debate acadêmico e futuras pesquisas. Contribui de forma aplicada para que hospitais públicos e privados cumpram os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, promovendo avanços em saúde e bem-estar (ODS 3), eficiência energética (ODS 7), inovação digital (ODS 9), consumo responsável (ODS 12) e mitigação das mudanças climáticas (ODS 13).

Palavras-chave: sustentabilidade hospitalar; healthcare 4.0, desenvolvimento sustentável; gestão.

ABSTRACT

The contribution of hospitals to global sustainable development is no longer an option; it has become an urgent and pressing requirement. In addition to their inherent responsibility to save lives, these institutions face growing pressure from society, government agencies, environmental agencies, competitors, customers, and even their own employees to adopt sustainable practices in their management. However, in order to effectively fulfill this role, they must overcome a series of structural, operational, and cultural challenges. Healthcare 4.0 (H4.0) technologies are promising solutions to assist hospitals in this mission, but implementing and using them in this generally resource-scarce environment presents obstacles and constraints. Therefore, the main objective of this study is to propose guidelines for the development and management of Sustainability in Hospitals (SH) with the support of H4.0 technologies. To this end, this doctoral thesis was structured as follows: introduction; article 1: Making hospitals sustainable: towards greener, fairer, and more prosperous services; article 2: Toward Healthcare 4.0: Industry 4.0 innovating hospital management; article 3: Driving sustainability through Healthcare 4.0 technologies; article 4: Sustainable Transformation in Hospitals with the support of Healthcare 4.0: Proposal Based on Theoretical-Empirical Evidence; and Conclusion. The theoretical contribution of this doctoral thesis consists of integrating and deepening poorly articulated concepts about SH management, offering an unprecedented theoretical basis that drives academic debate and future research. It contributes in an applied way to public and private hospitals fulfilling the UN Sustainable Development Goals (SDGs), promoting advances in health and well-being (SDG 3), energy efficiency (SDG 7), digital innovation (SDG 9), responsible consumption (SDG 12), and climate change mitigation (SDG 13).

Keywords: hospital sustainability; healthcare 4.0; sustainable development; management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resultados das buscas de pesquisa 25
Figura 2 - Estrutura e fluxo da tese 28
Figura 3 - Fluxo metodológico 35
Figura 4 - Drivers para o desenvolvimento da sustentabilidade 42
Figura 5 - Drivers para melhorar a gestão hospitalar via H4.0 73
Figura 6 - Fluxo metodológico 93
Figura 7 - Matriz de cruzamento para identificação de sinergias e dissonâncias 96
Figura 8 - Diretrizes teóricas para desenvolvimento e gestão da SH com base nas sinergias e dissonâncias entre os princípios da SH e H4.0 104
Figura 9 - Fluxo metodológico da pesquisa 122
Figura 10 - Diretrizes para o desenvolvimento da sustentabilidade no ambiente hospitalar com o apoio das tecnologias H4.0 138

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grupos de tecnologias digitais na saúde 121
Quadro 2 - Critérios para julgar a qualidade do projeto dos estudos de casos 123
Quadro 3 - Características dos hospitais analisados 125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos impulsionadores da sustentabilidade 39

Tabela 2 - Tecnologias Healthcare 4.0 60

Tabela 3 - Estrutura metodológica 63

Tabela 4 - Elementos impulsionadores da gestão hospitalar via H4.0 66

Tabela 5 - Princípios SH 90

Tabela 6 - Princípios H4.0 92

Tabela 7 - Critérios de inclusão da primeira busca 93

Tabela 8 - Critérios de inclusão da segunda busca 94

Tabela 9 - Sinergias 96

Tabela 10 - Dissonâncias 100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Ambiental
ATS	Avaliação de Tecnologias em Saúde
CC	*Cloud Computing*
CEP	Comitê de Ética de Pesquisa
D	Dissonância
DL	*Deep Learning*
EC	Econômica
EDC	*Edge Computing*
EMR	*Eletronic Medical Record*
EHR	*Electronic Health Record*
FC	*Fog Computing*
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG *Protocol*	*Greenhouse Gas Protocol*
H4.0	*Healthcare 4.0*
HBDT	Hospitais com Baixa Desenvoltura Tecnológica
HDTA	Hospitais com Desenvoltura Tecnológica Avançada
HIS	*Hospital Information System*
HMDT	Hospitais com Média Desenvoltura Tecnológica
I4.0	Indústria 4.0
I5.0	Indústria 5.0
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das Coisas
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*
ISO	*International Organization for Standardization*
IT	Inovações tecnológicas

KPI	*Key Performance Indicator*
M-health	*Mobile Health*
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDA	*Personal Digital Assistant*
PDCA	Planejar, Executar, Checar, Agir
PEP	Prontuário Eletrônico do Paciente
PIB	Produto Interno Bruto
PPP	Parceria Público-Privada
PRISMA	*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*
RA	Realidade Aumentada
RFD	*Radio-Frequency Identification*
ROI	Retorno sobre o investimento
RSC	Responsabilidade Social Corporativa
RV	Realidade Virtual
S	Sinergia
SH	Sustentabilidade Hospitalar
SO	Social
TBL	*Triple Bottom Line*
TD	Tecnologias Digitais
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UBSs	Unidades Básicas de Saúde
UTI	Unidade de Terapia Intensiva

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	18
1.1	OBJETIVOS	22
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	22
1.3	JUSTIFICATIVA	22
1.4	ESTRUTURA DA TESE E FLUXO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	26
2	**TORNANDO OS HOSPITAIS SUSTENTÁVEIS: RUMO A SERVIÇOS MAIS VERDES, MAIS JUSTOS E MAIS PRÓSPEROS**	29
2.1	INTRODUÇÃO	29
2.2	REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.3	MÉTODO DE PESQUISA	35
2.3.1	**Definição das bases estruturais do trabalho**	35
2.3.2	**Critérios de seleção dos documentos**	36
2.3.3	**Referencial teórico**	37
2.3.4	**Codificação e análise de documentos**	37
2.3.5	**Apresentação e discussão dos drivers**	37
2.3.6	**Conclusão**	37
2.4	IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS IMPULSIONADORES DA SH	37
2.5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DRIVERS DA SH	42
2.5.1	**Economia circular**	43
2.5.2	**Edifícios sustentáveis**	45
2.5.3	**Gestão do conhecimento e cultura**	47
2.5.4	**Gestão organizacional**	49
2.5.5	**Inovações tecnológicas**	51

2.6 CONCLUSÃO 53

3 RUMO AO HEALTHCARE 4.0: INDÚSTRIA 4.0 INOVANDO A GESTÃO HOSPITALAR 55

3.1 INTRODUÇÃO 55

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO 57

3.3 MÉTODO DE PESQUISA 63

3.4 IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS IMPULSIONADORES DA GESTÃO HOSPITALAR VIA H4.0 65

3.5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DRIVES PARA IMPULSIONAR A GESTÃO HOSPITALAR VIA H4.0 72

3.5.1 Gestão de processos 73

3.5.2 Gestão de dados 75

3.5.3 Gestão de recursos 78

3.5.4 Gestão do paciente 80

3.5.5 Assistência e desenvolvimento dos profissionais de saúde 83

3.6 CONCLUSÃO 84

4 PROMOVENDO A SUSTENTABILIDADE POR MEIO DAS TECNOLOGIAS HEALTHCARE 4.0 86

4.1 INTRODUÇÃO 86

4.2 SUSTENTABILIDADE NO AMBIENTE HOSPITALAR 89

4.2.1 Healthcare 4.0 91

4.3 MÉTODO DE PESQUISA 92

4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS SINERGIAS E DISSONÂNCIAS ENTRE HEALTHCARE 4.0 E SUSTENTABILIDADE HOSPITALAR 95

4.5 DIRETRIZES TEÓRICAS PARA DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DA SH COM BASE NAS SINERGIAS E DISSONÂNCIAS ENTRE OS PRINCÍPIOS DA SH 103

4.5.1 Diretrizes para desenvolvimento e gestão da dimensão ambiental da SH com suporte do H4.0 em hospitais 105

4.5.2 Diretrizes para desenvolvimento e gestão da dimensão social da SH com suporte do H4.0 em hospitais 107

4.5.3 Diretrizes para desenvolvimento e gestão da dimensão econômica da SH com suporte do H4.0 em hospitais 109

4.5.4 Diretrizes transversais para desenvolvimento e gestão da SH com suporte do H4.0 em hospitais 112

4.6 CONCLUSÃO 114

5 TRANSFORMAÇÃO SUSTENTÁVEL NOS HOSPITAIS COM O APOIO DO HEALTHCARE 4.0: PROPOSTA BASEADA EM EVIDÊNCIAS TEÓRICO-EMPÍRICAS 116

5.1 INTRODUÇÃO 116

5.2 SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIAS DIGITAIS NO AMBIENTE HOSPITALAR 120

5.3 MÉTODO DE PESQUISA 122

5.4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE CRUZADA DOS ESTUDOS DE CASOS..... 124

5.4.1 Sustentabilidade ambiental 125

5.4.1.1 Redução de deslocamentos 126

5.4.1.2 Gestão eficiente de insumos, equipamentos e recursos hospitalares 127

5.4.1.3 Monitoramento e controle de recursos naturais 127

5.4.1.4 Gestão e reaproveitamento de resíduos com foco em economia circular 128

5.4.1.5 Controle das emissões de gases de efeito estufa 129

5.4.1.6 Digitalização de processos e redução do uso do papel 130

5.4.2 Sustentabilidade social 130

5.4.2.1 Equidade e democratização no atendimento 130

5.4.2.2 Melhora da qualidade dos atendimentos e segurança do paciente 131

5.4.2.3 Capacitação e assistência aos profissionais 132

5.4.3 Sustentabilidade econômica 133

5.4.3.1 Eficiência operacional 133

5.4.3.2 Faturamento, receitas e controle financeiro 134

5.4.3.3 Auxílio à tomada de decisão estratégica e gerencial 135

5.5 DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DA SUSTENTABILIDADE NO AMBIENTE HOSPITALAR COM O APOIO DAS TECNOLOGIAS H4.0 136

5.5.1 Planejar 138

5.5.2 Desenvolver/executar 141

5.5.3 Checar 144

5.5.4 Agir 146

5.6 CONCLUSÃO 148

6 CONCLUSÃO GERAL DA TESE 150

REFERÊNCIAS 154

APÊNDICE A - Os 30 artigos mais citados em sustentabilidade em hospitais de 2016 a 2021 177

APÊNDICE B - Os 30 artigos mais citados em healthcare 4.0 de 2017 a 2022 179

APÊNDICE C - Projeto para pesquisa dos estudos de casos 181

APÊNDICE D - Tecnologias digitais e impactos nas dimensões da sustentabilidade nos estudos de casos..... 182

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional intenso do século XX, com consequente aumento do volume de produção e consumo oriundos do avanço das revoluções industriais e da globalização, vêm transformando as condições de vida no planeta e tem sido marcado por desequilíbrios refletidos em desafios relacionados às esferas ambientais, econômicas e sociais (BRACCINI; MARGHERITA, 2018).

Desafios relacionados à esfera ambiental apontam preocupações crescentes sobre os impactos na saúde humana e no planeta (EKINS; ZENGHELIS, 2021). As alterações climáticas e o aquecimento do planeta ameaçam reverter os avanços da saúde conquistados em muitas partes do mundo. As ondas de calor, as tempestades, os tornados, as secas e as inundações estão ocorrendo de formas cada vez mais frequentes e severas, matando milhares de pessoas. As emissões de gases de efeito estufa vem aumentando e, se este cenário continuar assim, levará a alterações climáticas com efeitos irreversíveis, comprometendo o abastecimento de água em muitas partes do mundo, desencadeando migrações em massa e crises de saúde pública incontroláveis (WEIMANN; PATEL, 2017).

Desafios relacionados à esfera econômica são impulsionados pela produtividade e lucro, os quais são ainda o foco principal das organizações. Com isso, há uma intensa exploração de recursos não renováveis e grande parte das empresas não conseguem equilibrar suas expectativas econômicas às responsabilidades ambientais e sociais. O grande desafio do mercado é alinhar os requisitos legais, margens de lucro, e manter as empresas competitivas. A produção focada apenas no lucro e na intensa exploração dos recursos não renováveis somada a demanda da sociedade por um volume altíssimo de produtos está resultando na insustentabilidade de muitos sistemas de produção (BONILLA et al., 2018).

Desafios relacionados à esfera social são acarretados pelo aumento crescente das questões ambientais e econômicas, uma vez que grupos vulneráveis podem enfrentar maiores dificuldades em lidar com os impactos adversos desses problemas como distribuição desigual da riqueza, distribuição injusta de renda, falta de acesso à educação, segurança, moradia, saneamento básico e saúde, enquanto os mais privilegiados podem ter mais acesso a recursos e medidas de adaptação, agravando, assim, as desigualdades sociais (GRYBAUSKAS *et al.*, 2022).

Este cenário afeta todos os tipos de organizações, incluindo as instituições de saúde que também estão sendo pressionadas a agregar os preceitos do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade em suas estratégias de negócio como uma abordagem importante para a

combinação dos resultados financeiros, ambientais e sociais (HAN *et al.*, 2024). As organizações de saúde sustentáveis devem fornecer os seus serviços essenciais e de apoio não apenas de acordo com critérios de promoção da saúde, mas também de acordo com critérios de eficiência ambiental, econômica e social e podem, assim, melhorar a sua viabilidade futura e contribuir para o desenvolvimento sustentável (LOPES et al., 2019a).

Em 2015 foi proposta a Agenda 2030, que é um documento que objetiva orientar as nações para o desenvolvimento sustentável pensando na geração atual e nas futuras. Esta agenda foi adotada por todos os estados membros das Nações Unidas e fornece um plano compartilhado de paz e prosperidade para as pessoas e o planeta. Eles reconhecem que o fim da pobreza e de outras privações deve acompanhar as estratégias que melhoram a saúde e a educação, reduzem a desigualdade e estimulam o crescimento econômico enquanto combatem as mudanças climáticas (ONU, 2019).

No contexto empresarial, o desenvolvimento sustentável pode ser posto em prática a partir da sustentabilidade corporativa. Ela é uma abordagem de negócios operacionalizada a partir da TBL (*Triple Bottom Line*), ou seja, considera as três dimensões da sustentabilidade (ambiental, social e econômica) em suas estratégias e operações (MACHADO *et al.*, 2020).

Diante deste panorama complexo frente aos desafios ambientais, econômicos e sociais, emerge a Indústria 4.0 (I4.0). Ela pode ser definida como uma era da indústria caracterizada por uma rede inteligente interconectada por pessoas, máquinas e sistemas de informação a fim de gerenciar e controlar dinamicamente sistemas complexos (EJSMONT *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que há um estágio adiante da I4.0, chamado indústria 5.0 (I5.0), caracterizado por ir além da produção de bens e serviços com fins lucrativos, ou seja, seu foco está nas necessidades e no bem-estar das pessoas e do planeta. A I5.0 é composta por três pilares: ser humano no centro, resiliência e sustentabilidade. Suas premissas estão na interação colaborativa entre humanos e máquinas; na orientação do mercado para organizações preparadas para lidar com diferentes circunstâncias, permitindo a elas se anteciparem, reagirem e aprenderem em situações de crise; e na contribuição para um mundo mais sustentável, estimulando as organizações a aumentarem suas contribuições positivas para as comunidades e o para o planeta como um todo (NAHAVANDI, 2019). Contudo, há muitas questões para se consolidar em relação a I4.0 e muitas empresas que ainda estão se adequando a ela, pois mudanças exigem esforços gradativos que requerem tempo, investimentos financeiros e adaptabilidade ao mercado (BAG; PRETORIUS, 2022). Por isso este trabalho será importante para servir de base para estudos posteriores sobre I5.0.

Munsamy e Telukdarie (2018) sinalizam que a I4.0 pode auxiliar as organizações a equacionarem as questões de sustentabilidade se nela forem inseridas as necessidades de desenvolvimento social, econômico e ambiental. É necessário avaliar o atual cenário, olhar para o futuro e traçar estratégias que visem o alinhamento dos benefícios tecnológicos da I4.0 às aspirações do desenvolvimento sustentável (BONILLA *et al.*, 2018). O alinhamento entre os preceitos da I4.0 e da sustentabilidade propicia uma convergência entre a evolução da atividade empresarial e a produção sustentável (BRACCINI; MARGHERITA, 2018).

Na dimensão ambiental da sustentabilidade, as tecnologias da I4.0 podem contribuir com o uso racional dos recursos não renováveis, mitigando o impacto sobre o meio ambiente. Um exemplo é a geração de menos resíduos, já que a automação, robótica e inteligência artificial aumentam a precisão e reduzem a chance de erros nos processos (BÁNYAI *et al.*, 2019).

Na dimensão econômica, destaca-se que a I4.0 gera maior conectividade em toda a cadeia de valor de fabricação, otimização dos prazos de entrega, qualidade aprimorada, aumento da produtividade, receitas e margem de lucro, maior capacidade de inovação e controle de produção, e redução do custo e do tempo de colocação de produtos no mercado (GRYBAUSKAS *et al.*, 2022).

Na dimensão social, as tecnologias da I4.0 podem contribuir para melhorar a segurança e gerar mais conforto no ambiente de trabalho para os funcionários tanto fisicamente como mentalmente. Por exemplo, menor exigência de esforço físico, auxílio no processo de tomada de decisões, e aumento de recursos educacionais para qualificação e treinamento são alguns dos benefícios que delas podem advir (EJSMONT *et al.*, 2020).

A evolução tecnológica industrial vem avançando para diversos outros segmentos (BONILLA *et al.*, 2018). O setor da saúde tem iniciado, ainda que de forma tímida, a incorporação de tecnologias da Indústria 4.0 em seus serviços, movimento que apresenta grande potencial de expansão. Esse processo deu origem a um novo conceito, o Healthcare 4.0 (H4.0), entendido como uma abordagem voltada aos cuidados em saúde (ACETO, 2020). Em alguns estudos, também se encontra a denominação Medical 4.0 como sinônimo de H4.0. O termo Healthcare abrange um amplo espectro de instituições, incluindo hospitais, clínicas, consultórios médicos e odontológicos, laboratórios e postos de atendimento clínico.

H4.0 pode ser definido como a aplicação das tecnologias da I4.0 nos serviços de saúde visando fornecer atendimentos com valor agregado e econômico aos pacientes. H4.0 tem o potencial de melhorar a qualidade, produtividade, e aumentar a eficácia e eficiência do setor de saúde (AL-JAROODI *et al.*, 2020). Especificamente em hospitais, o H4.0 está revolucionando

a forma como são realizados os atendimentos a pacientes e como os gestores hospitalares gerenciam seus processos (SILVEIRA *et al.*, 2019).

Em relação aos atendimentos aos pacientes, as tecnologias do H4.0 podem ser aplicadas para um escopo amplo de doenças, auxiliando no diagnóstico e fornecendo uma estimativa sobre sua condição futura. Com base nesses diagnósticos e na sua análise aprofundada, os médicos podem prescrever melhores tratamentos e aumentar as chances de vida de muitos pacientes (ZEB *et al.*, 2024) . Além disso, H4.0 possibilita atendimentos clínicos fornecidos virtualmente fora dos hospitais por meio da telemedicina (CHUTE; FRENCH, 2019).

Os impactos positivos do H4.0 na gestão dos hospitais também são diversos e trazem perspectivas de criação de valor e produção de serviços de excelência. A utilização de tecnologias como inteligência artificial, internet das coisas, *big data*, *cloud computing*, telemedicina, e *robotics* melhoram a eficiência e eficácia da gestão hospitalar em vários aspectos, dentre eles a gestão da sustentabilidade (ROWAN, 2024).

Um importante caminho para que os hospitais sejam resilientes, ou seja, tenham capacidade adaptativa para lidar com um ambiente em mudança, é o desenvolvimento da sustentabilidade corporativa (TESSEMA *et al.*, 2025), que no caso deste trabalho será focada na Sustentabilidade Hospitalar (SH). A utilização das tecnologias H4.0 maximizam os resultados da SH, mas também apresenta desafios que precisam ser superados. Essa maximização e esses desafios são representados por sinergias e dissonâncias entre SH e H4.0. Assim, com base na identificação dessas sinergias e dissonâncias será possível compreender como a teoria e a prática poderão melhorar a SH dos hospitais e assim torná-los mais resilientes.

Sendo assim, como se verá com mais detalhes no item justificativa, existem *gaps* de pesquisa que apontam a necessidade de estudos para avançar em direção às três dimensões da sustentabilidade no setor da saúde (MACHADO *et al.*, 2020). Além disso, outros trabalhos sinalizam a importância da realização de estudos empíricos que avaliem como estão sendo aplicadas as tecnologias da I4.0 em instituições de saúde (SILVEIRA *et al.*, 2019). Dessa forma, a questão de pesquisa que está norteando este trabalho é: de que forma o *Healthcare* 4.0 pode ajudar a desenvolver e gerir as três dimensões da sustentabilidade em hospitais?

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é propor diretrizes para desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais com o apoio das tecnologias H4.0. Para atingir este objetivo, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Propor *drivers*/princípios para a gestão e desenvolvimento da sustentabilidade hospitalar;
- Propor *drivers*/princípios para a gestão hospitalar via *Healthcare* 4.0;
- Identificar as sinergias e dissonâncias entre sustentabilidade hospitalar e *Healthcare* 4.0;
- identificar, à luz da teoria científica e com base em múltiplos estudos de caso, as boas práticas e as dificuldades associadas ao desenvolvimento e à gestão da sustentabilidade hospitalar, bem como as tecnologias H4.0 utilizadas pelos hospitais e seus respectivos impactos na gestão da sustentabilidade.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

De forma a aumentar o grau de contribuição científica e aplicada deste trabalho, delimitou-se (condições de contorno) seu objeto de estudo (Sustentabilidade hospitalar e Healthcare 4.0); o tipo de empresa a ser estudada (instituições de saúde, neste caso hospitais, que estejam desenvolvendo algumas iniciativas de sustentabilidade e que estejam utilizando tecnologias H4.0); e a área geográfica das instituições a serem estudadas (Brasil).

1.3 JUSTIFICATIVA

O mundo está passando por evoluções tecnológicas e paralelo a isto enfrentando sérios desafios ambientais com diversos impactos negativos para o planeta. Diante deste cenário, já há um movimento fundamentado no desenvolvimento sustentável, que envolve a academia, empresas e sociedade na busca de soluções ambientais, sociais e econômicas. Isso pode ser verificado por meio de muitas discussões, estudos científicos e acordos internacionais que estão buscando meios para superar esses desafios (UNGC, 2019).

A I4.0 e a sustentabilidade são duas das tendências de mercado mais influentes no cenário corporativo atual. Cada uma destas tendências está gerando uma série de pesquisas sobre como cada uma está mudando as práticas de gestão, os negócios e a sociedade (BEIER *et al.*, 2018). Kamble et al., (2018) realizaram um estudo bibliométrico analisando 85 artigos

publicados entre 2012 e 2017 para investigar o estado da arte sobre I4.0 e suas perspectivas futuras. Eles constataram que apenas 18% destes documentos abordavam a relação da I4.0 com a sustentabilidade, o que sinaliza oportunidade de pesquisas para aprofundar esta relação, investigando todo o potencial e também as barreiras entre esses temas.

Machado et al. (2020) realizaram um estudo bibliométrico para identificar as fronteiras do conhecimento sobre a I4.0 e a manufatura sustentável focada no TBL. Foram analisados artigos publicados entre 2008 e 2018, onde sete gaps foram identificados para futuras pesquisas. Dentre eles, destacam-se a necessidade de pesquisas para compreender como implantar, integrar e gerenciar um sistema de manufatura sustentável que permita que as tecnologias da I4.0 tenham um impacto positivo nas três dimensões da sustentabilidade. Estes autores ainda concluem que futuras pesquisas devem ser realizadas para identificar relações entre a sustentabilidade e a I4.0 em outras áreas além da indústria, como é o caso do setor de saúde, o que ajuda a justificar a realização deste estudo.

Na área da saúde, os hospitais estão entre os maiores poluidores, causando impactos ambientais com consequências negativas nas demais dimensões da sustentabilidade (LOPES et al., 2019b). Uma pesquisa nesta área, como a deste trabalho, pode colaborar na geração e divulgação de soluções que podem ser utilizadas para melhoria de processos e para conscientização de profissionais que atuam na gestão hospitalar.

Além disso, os custos dos serviços de saúde no Brasil em 2019 foram de R$ 679 bilhões, o que equivale a 9,6% do seu Produto Interno Bruto (PIB), sendo que nos cinco anos anteriores a esse, foi em média foi de 9,2%. Baseados em dados de 2022, calcula-se que as despesas com saúde no país tenham alcançado um montante entre R$ 912 bilhões e R$ 951 bilhões, representando um aumento real de aproximadamente 10% em relação a 2019 (ABRAMED, 2022). O presente estudo permitirá identificar como a gestão da sustentabilidade hospitalar auxiliada pela utilização das tecnologias H4.0 pode contribuir para a redução de custos em instituições de saúde.

Outro fator preocupante é a questão do envelhecimento demográfico mundial. De acordo com um relatório do Fórum Econômico Mundial, em 2050 o mundo abrigará 10 bilhões de pessoas, sendo que 2 bilhões delas terão 60 anos ou mais, incluindo 434 milhões com mais de 80 anos. Em 2100, o número aumentará para mais de três bilhões de indivíduos com mais de 60 anos (WEHDE, 2019). No Brasil, a proporção de pessoas com mais de 65 anos pode atingir 33% da população até 2060, com impactos diretos em setores como previdência, educação e saúde (ABRAMED, 2022). O envelhecimento da população, que passou a ter maior expectativa de vida, causa o aumento da demanda dos serviços de saúde no Brasil e demais

países (IBGE, 2019). Esta realidade ajuda a justificar o desenvolvimento de pesquisas como essa para guiar instituições de saúde no alcance da sustentabilidade diante das estatísticas do aumento da demanda.

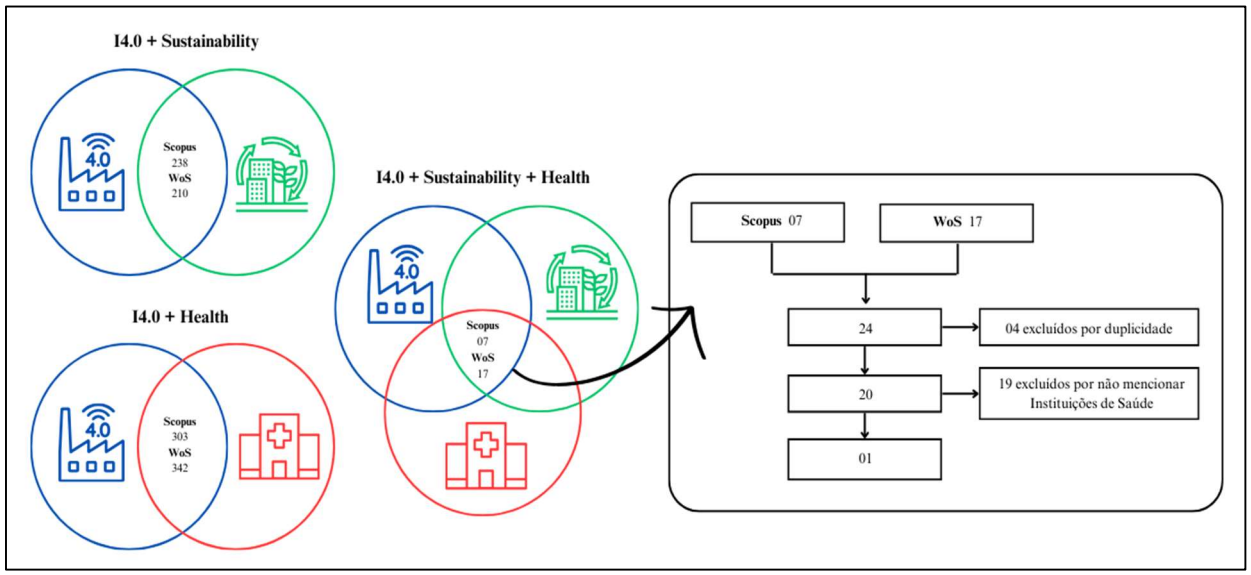
Soma-se a isso o fato de as instituições de saúde estarem passando pela necessidade de melhoria de processos administrativos e dos atendimentos ao paciente. O H4.0 tem o potencial de contribuir com o atendimento a essas e muitas outras necessidades, gerando benefícios consideráveis e, portanto, atraindo a atenção dos profissionais de diversas categorias e do mercado da saúde. Entretanto, o H4.0 é um campo novo, iniciado a partir do ano de 2016, período esse que pode ser considerado um marco para o início de discussões mais amplas sobre esse tema (KUMARI *et al.*, 2018), logo existe uma importante oportunidade para realizar pesquisas como essa visando avançar com a teoria incipiente. No Brasil, segundo a GEHOSP (2023), dos 7.200 hospitais brasileiros, apenas aproximadamente 400 estão aplicando tecnologias do H4.0, porém ainda de forma incipiente, para acelerar a jornada de transformação digital. Sendo assim, justifica-se a investigação do uso dessas tecnologias por meio de estudos de casos em hospitais para investigar os cases de sucesso e seus desafios como forma de contribuição aplicada desta pesquisa.

Os estudos já realizados sobre H4.0 abordam objetivos diversificados como criação de modelos, avaliação da implantação, interação das tecnologias, dentre outros, mas no geral, eles também abordam os benefícios que as tecnologias podem oferecer para o aumento da expectativa de vida da população (AJMERA; JAIN, 2019). Por outro lado, estudos sobre sustentabilidade também criam oportunidades para melhorar a saúde humana e contribuir para a sobrevivência do planeta. Nesse sentido, o alinhamento da sustentabilidade com o H4.0 vem sendo, ainda que timidamente, abordado na literatura científica como uma forma eficaz para desenvolver a sustentabilidade nas organizações hospitalares e dessa forma, também contribui para melhorar a saúde humana (STOCK; SELIGER, 2016). Entretanto, a interseção desses temas (H4.0 e SH) ainda é um território que precisa ser explorado de forma transversal em pesquisas científicas (TORTORELLA *et al.*, 2022). Um estudo como essa pesquisa de doutorado é relevante para aprofundar o conhecimento sobre a relação destes temas e dessa forma contribuir para geração de proposições que intervenham diretamente para a melhoria da gestão de instituições de saúde.

A relevância científica do tema desta pesquisa foi confirmada a partir de um estudo exploratório realizado no ano de 2020, por meio de uma busca de documentos em duas bases de dados, *Scopus* e *Web of Science*, nos campos de engenharias e ciências da saúde conforme a Figura 1.

Foram utilizadas três *querys* para realizar a pesquisa nessas bases de dados, onde na primeira utilizou-se as palavras-chave "*Industry* 4.0 AND *sustainability*", obtendo-se um número significativo de documentos, 238 na *Scopus* e 210 na *Web of Science*. Na segunda utilizou-se as palavras-chave "*industry* 4.0 AND *health**", na qual obteve-se também um número significativo de documentos, 303 na *Scopus* e 342 na *Web of Science*. É importante ressaltar que, partir dessa segunda *query* de pesquisa "*Industry* 4.0 AND *sustainability*", realizou-se uma revisão da literatura de 40 documentos mais citados publicados entre 2017 e 2019 para identificar os *gaps* de pesquisa. Portanto, esta pesquisa permitirá explorar e contribuir para o preenchimento dos seguintes *gaps* relacionados a estes temas: a) identificar relações entre a sustentabilidade e a I4.0 em outras áreas além da indústria (MACHADO *et al.*, 2020) e b) realizar estudos empíricos para avaliar como está sendo desenvolvido a I4.0 no setor da saúde (SILVEIRA *et al.*, 2019).

Figura 1- Resultados das buscas de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao realizar a terceira *query* pesquisando estes temas acrescido de palavras-chave relacionados à área da saúde, utilizou-se as seguintes expressões de busca "(*industry* 4.0) AND (*sustainability* OR *triple bottom line*) AND (*health* OR *healthcare* OR *health care* OR *health* 4.0 OR *healthcare* 4.0 OR *health care* 4.0)" na qual foram encontrados apenas 24 documentos.

A partir desses 24 documentos utilizou-se a ferramenta de pesquisa PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para refinar os resultados de

pesquisa. Em seguida, 4 documentos foram excluídos por duplicidade e foi instituído como critério de inclusão apenas documentos que abordavam healthcare no contexto de instituições de saúde, restando, portanto, 20 documentos. Ao lê-los, 19 foram excluídos porque não se enquadraram nesse critério. Ao final desta análise, restou apenas um documento abrangendo o tema "indústria 4.0 e sustentabilidade em instituições de saúde". No entanto, ao analisá-lo, percebeu-se que sua abordagem se referia apenas à sustentabilidade ambiental.

Este trabalho abordará de forma integrada as três dimensões da sustentabilidade, ambiental, social e econômica, o que confere caráter inédito à pesquisa. A identificação desses gaps na literatura e da ausência de trabalhos que abordem essas três dimensões de maneira conjunta no contexto hospitalar evidenciou a necessidade e a relevância do desenvolvimento desta investigação.

1.4 ESTRUTURA DA TESE E FLUXO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Esta Seção apresenta a estrutura e fluxo da tese, a fim de proporcionar ao leitor uma compreensão geral das etapas desenvolvidas. Na Seção 1, Introdução, são apresentados os temas SH e H4.0, os *gaps* que serão preenchidos, a questão de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos, a delimitação deste estudo, e as justificativas para realização deste trabalho.

Na Seção 2 é apresentado o artigo "Tornando os hospitais sustentáveis: rumo a serviços mais verdes, mais justos e mais prósperos" (*Making hospitals sustainable: towards greener, fairer and more prosperous services*), cujo objetivo é propor *drivers* para a gestão e desenvolvimento da sustentabilidade hospitalar. Nele foi utilizado os métodos de Revisão da Literatura e Análise de Conteúdo e foram propostos os seguintes drivers: Economia circular; Edifícios sustentáveis; Gestão do conhecimento e da cultura; Gestão organizacional; e Inovações tecnológicas. Esses drivers orientam os hospitais públicos e privados a desenvolver ações nos três pilares da TBL, visando aumentar seu compromisso com o bem-estar da sociedade, preservação do planeta e ainda sim melhorar sua competividade.

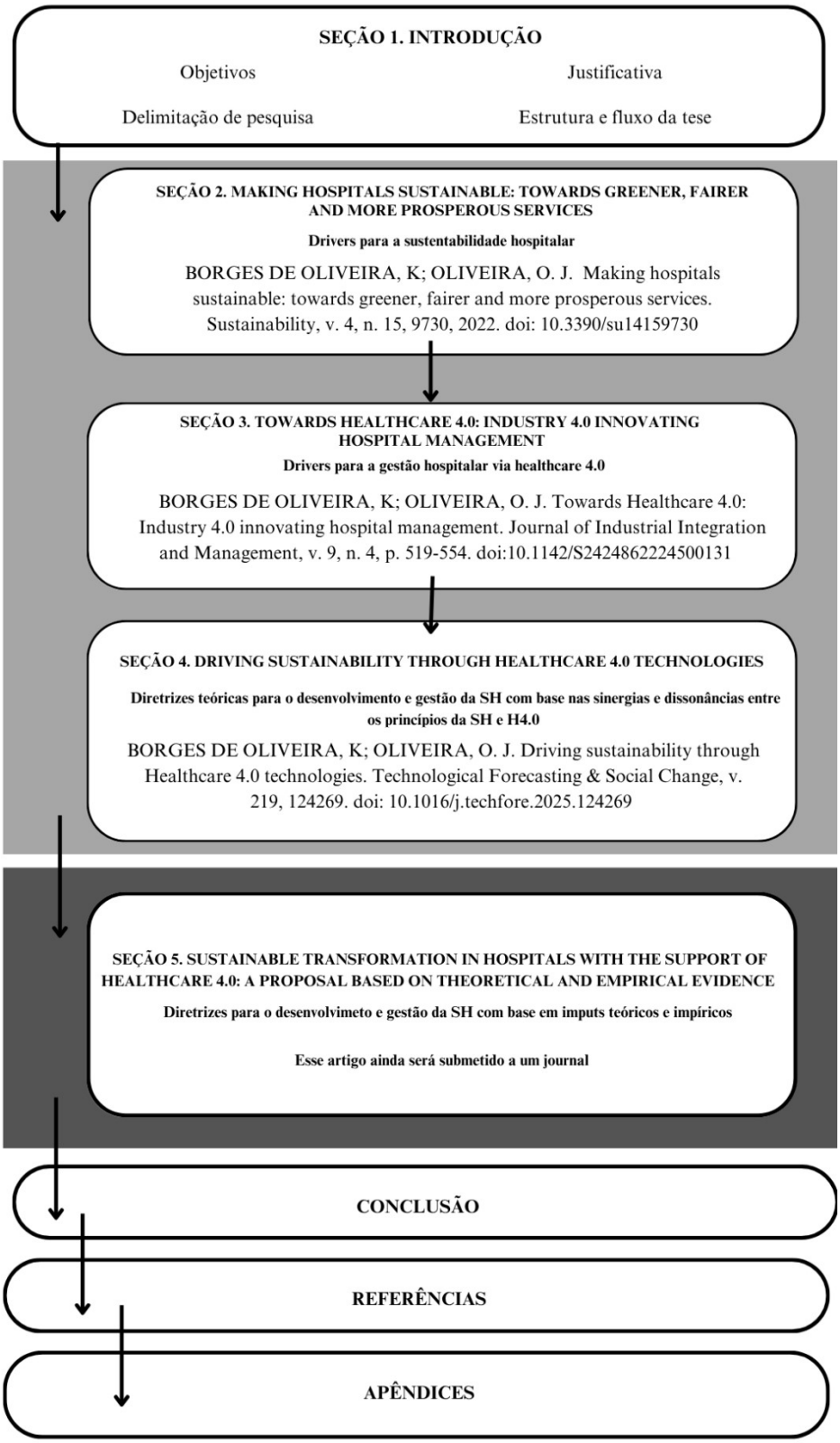
Na Seção 3 é apresentado o artigo "Rumo ao Healthcare 4.0: indústria 4.0 inovando a gestão hospitalar" (*Toward Healthcare 4.0: Industry 4.0 innovating hospital management*), cujo objetivo é propor *drivers* para a gestão hospitalar via H4.0. Nele foi utilizado o método de pesquisa Análise de Conteúdo Indutiva e foram propostos os seguintes drivers: Gestão de processos, Gestão de dados, Gestão de recursos, Gestão do paciente, e Assistência e desenvolvimento dos profissionais de saúde. Esses drivers representam a articulação entre as

principais demandas do ambiente hospitalar e as tecnologias H4.0 que podem respondê-los de maneira integrada e eficaz.

Na Seção 4 é apresentado o artigo "Promovendo a sustentabilidade por meio das tecnologias healthcare 4.0" (*Driving sustainability through Healthcare 4.0 technologies*), cujo objetivo é propor um conjunto de diretrizes para o desenvolvimento da SH por meio das tecnologias H4.0, proporcionando soluções viáveis que orientem os hospitais nesse percurso. Esse artigo utilizou os métodos de Revisão da Literatura e *Grounded Theory*, por meio dos quais foram identificadas sinergias e dissonâncias entre os princípios da SH e H4.0. A proposta busca justamente fortalecer as sinergias e reduzir as dissonâncias, contribuindo para uma tomada de decisão mais assertiva em relação à sustentabilidade com base no uso estratégico das tecnologias H4.0.

A Seção 5 apresenta o artigo "Transformação sustentável nos hospitais com o apoio do healthcare 4.0: proposta baseada em evidências teórico-empíricas" (S*ustainable Transformation in Hospitals with the support of Healthcare 4.0: A Proposal Based on Theoretical and Empirical Evidence*), cujo objetivo é propor diretrizes, elaboradas com base em evidências teóricas e empíricas, para o desenvolvimento da SH com o apoio das tecnologias H4.0. Nesse artigo foram realizados quatro estudos de casos com a finalidade de identificar quais as tecnologias H4.0 são utilizadas e como elas contribuem para a gestão da sustentabilidade, representando, assim, os resultados finais da pesquisa. Por fim, são apresentas as conclusões, suas contribuições teóricas e aplicadas, sugestões para pesquisas futuras, lista de referências e apêndices. A Figura 2 ilustra a estrutura e o fluxo dessa tese.

Figura 2- Estrutura e fluxo da tese



Fonte: Elaborado pelo autor

2 TORNANDO OS HOSPITAIS SUSTENTÁVEIS: RUMO A SERVIÇOS MAIS VERDES, MAIS JUSTOS E MAIS PRÓSPEROS

(Making hospitals sustainable: towards greener, fairer and more prosperous services)

Este artigo segue as normas de formatação do periódico Sustainability

Resumo

A crescente demanda por serviços hospitalares e a pressão para incorporar estratégias sustentáveis na gestão hospitalar levaram os hospitais a repensarem seu modelo de negócios e a buscar novas maneiras de administrar suas operações. A sustentabilidade corporativa é uma forma importante de tornar os hospitais mais sustentáveis e competitivos. Por isso, este trabalho propõe um framework contendo os drivers para a gestão da Sustentabilidade em Hospitais (SH) desenvolvida através dos métodos de revisão da literatura científica e análise de conteúdo. Como resultado, este estudo propõe cinco drivers: economia circular; edifícios sustentáveis; gestão do conhecimento e da cultura; gestão organizacional; e inovações tecnológicas. Este framework contribui de forma aplicada/gerencial para ajudar os gestores de hospitais públicos e privados no desenvolvimento e gestão da sustentabilidade, tornando seus negócios mais justos, mais ecológicos e mais prósperos, e no cumprimento de seus compromissos com o bem-estar de seus funcionários e da sociedade, dando base para um movimento em direção às premissas da Agenda 2030 da ONU. Este estudo também contribui teoricamente/cientificamente para o amadurecimento acadêmico do tema, acrescentando novos elementos e insights ao estado da arte em SH. Recomenda-se que futuros estudos acrescentem novos elementos aos drivers ou mesmo proponham novos drivers para o contínuo avanço científico deste tema.

Palavras-Chave

Sustentabilidade em Hospitais, Serviços Sustentáveis, Desenvolvimento Sustentável, Gestão hospitalar

2.1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional intenso tem contribuído para o aumento do consumo de bens e serviços, que somado a políticas públicas ineficientes, estão transformando negativamente as condições de vida no planeta, o que ocasiona impactos nas esferas ambientais, econômicas, sociais, e no equilíbrio entre elas (Bonilla et al., 2018). A alta demanda implica no incremento da atividade produtiva, que aumenta a emissão de gases de efeito estufa e culmina no aquecimento do planeta, ocasionando consequências ambientais severas. Esse aquecimento gera alterações climáticas que ameaçam reverter os avanços na saúde conquistados pela sociedade. As ondas de calor estão crescendo em intensidade e número, agravando doenças crônicas e levando a morte milhares de pessoas. As tempestades, as

inundações, os tornados, e as secas estão ocorrendo de forma cada vez mais intensa, comprometendo o abastecimento de água em muitas partes do mundo, desencadeando migrações em massa e crises de saúde pública (Weimann; Patel, 2017). Se compromissos não foram assumidos por governos e organizações e ações efetivas contra o aquecimento global não foram realizadas, estes efeitos se tornarão irreversíveis (Alqattan et al., 2018). Em relação à esfera econômica, a intensa produção de bens e serviços para atender as demandas crescentes de consumo tem gerado aumento exponencial e insustentável da exploração de recursos, o que está levando a sua escassez e/ou esgotamento, ocasionando a estagnação e crise econômica em muitos países (Field et al., 2021). Consequentemente, a esfera social também é diretamente afetada por estas questões, pois elas implicam em aumento de desigualdade, e dificuldade de acesso à educação, segurança, moradia, saúde e saneamento básico (Boström, 2012).

Devido a esse cenário, organizações estão sendo pressionadas pela sociedade, governos, agências ambientais, concorrentes, clientes e até seus próprios funcionários a incorporarem estratégias sustentáveis na gestão de suas empresas (Mousa; Othman, 2020). Por isto, a sustentabilidade tem se tornado um elemento importante para o sucesso dos negócios, pois ela contribui significativamente para que as organizações melhorem seu desempenho operacional, ambiental e social e aumentem sua competitividade. Portanto, a sustentabilidade possibilita equilibrar os objetivos organizacionais com a preservação do ser humano e do planeta (Khan et al., 2018).

Em 2015 a Organização das Nações Unidas propôs a Agenda 2030, que é um documento que orienta as nações para o desenvolvimento sustentável e apresenta um plano compartilhado de paz e prosperidade para as pessoas e o planeta. Essa agenda parte da premissa que o fim da pobreza e de outras privações devem ser contempladas em estratégias que melhorem a saúde e a educação, reduzem a desigualdade e estimulem o crescimento econômico ao mesmo tempo que combatem as mudanças climáticas (ONU, 2019). Ela estabelece 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são um apelo urgente e um compromisso à ação dos países membros em uma parceria global para estabelecerem e cumprirem estratégias, processos e práticas para alcançar e aprimorar o desenvolvimento sustentável (Feil et al., 2017). No relatório Brundtland, o desenvolvimento sustentável é definido como um conjunto de ações que atendem as necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das gerações futuras (WCED, 1987).

No contexto empresarial, o desenvolvimento sustentável se dá partir da Sustentabilidade Corporativa (SC), que é aplicada ao campo dos negócios por meio da gestão e processos

organizacionais (Nunhes et al., 2020). A SC é uma abordagem operacionalizada a partir da TBL, ou seja, considera as três dimensões da sustentabilidade (ambiental, econômica e social) (Machado et al., 2020). Ela surgiu como uma alternativa às abordagens tradicionais de curto prazo e com apenas fins lucrativos. Neste sentido, as organizações devem desenvolver suas operações pensando também nas dimensões ambiental e social, o que contribuirá para sua longevidade e bem-estar do ser humano e do planeta (Lozano et al., 2015).

O movimento em direção à sustentabilidade também tem se dado de forma intensa no setor de serviços (Field et al., 2021), dentre eles o hospitalar (Saviano et al., 2018). Os hospitais estão cada vez mais agregando os preceitos da SC e do desenvolvimento sustentável em suas estratégias de negócios e processos operacionais (Stević et al., 2020). Por suas operações ocorrerem, em geral, 24 horas por dia de forma ininterrupta, eles estão entre as organizações que mais consomem recursos naturais, produzem resíduos, produzem gases poluentes, e necessitam de mão-de-obra intensa para a prestação de seus serviços (Rodríguez et al., 2021), o que é agravado por terem que lidar com imprevistos como, por exemplo, a demanda proveniente da pandemia Covid-19 (Williams; Radnor, 2022). Sendo assim, muitos hospitais começaram a considerar a SC como uma abordagem importante para fornecer os seus serviços não apenas de acordo com critérios econômicos e de promoção da saúde, mas também visando a eficiência ambiental e a responsabilidade social, o que contribui para o desenvolvimento sustentável (Chiarini; Vagnoni, 2016).

A SC no contexto da saúde tem sido discutida na comunidade acadêmica e alguns trabalhos que tratam do seu desenvolvimento e gestão são importantes inputs para este artigo. Por exemplo, Cavicchi e Vagnoni (2017)analisaram o papel do capital humano na gestão da sustentabilidade em hospitais e constataram que abordagens departamentais, em que cada setor desenvolve projetos isoladamente, dificulta o desenvolvimento do capital humano e impacta negativamente a SC. Scavarda et al. (2019) analisaram a SC na cadeia de suprimentos da saúde em países emergentes e propuseram um framework para o seu gerenciamento. Williams e Radnor (2022) identificaram na literatura proposições e dimensões para prestação de serviços em hospitais públicos e, a partir delas, propuseram um framework para que gestores hospitalares identifiquem oportunidades e melhorem a prestação de serviços de forma torná-la mais sustentável. Punnakitikashem e Hallinger (2020) realizaram uma análise bibliométrica sobre gestão sustentável da saúde e constataram que a dimensão econômica recebe maior importância que as dimensões ambiental e social nos artigos analisados, o que caracteriza um

desequilíbrio entre os pilares da sustentabilidade também na área da saúde, que deve ser combatido.

Esses estudos apresentaram contribuições relevantes para a gestão da sustentabilidade nos hospitais, mas não apresentam recomendações estruturadas, factíveis e adaptadas à sua realidade. Essa oportunidade científica é corroborada pelo gap de pesquisa apontado por Lennox et al. (2020), que indicaram a necessidade de desenvolver novas pesquisas que identifiquem boas práticas e proponham novas abordagens para apoiar o desenvolvimento da sustentabilidade no ambiente hospitalar. Portanto, este trabalho preenche este gap e aprofunda e estende os estudos supracitados por meio de proposições que direcionam os hospitais para a sustentabilidade.

Sendo assim, a seguinte questão de pesquisa norteou este trabalho: de que forma é possível desenvolver e gerir a sustentabilidade em hospitais? Para respondê-la, o objetivo deste trabalho é propor um framework contendo drivers para desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais visando aumentar seu compromisso com o bem-estar da sociedade, preservação do planeta e com o aumento de sua competividade.

Após esta introdução, a seção 2.2 apresenta uma síntese do referencial teórico sobre sustentabilidade corporativa; a seção 2.3 detalha o método de pesquisa; a seção 2.4 apresenta os elementos impulsionadores da sustentabilidade; a seção 2.5 propõe e discute os drivers para desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais. Finalmente, são apresentadas a conclusão, as referências, e o Apêndice A.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os serviços hospitalares são centrais para o bem-estar da sociedade pois a saúde física, mental, e econômica de uma comunidade ou país está diretamente ligada à eficácia e eficiência deste tipo de serviço (Berry et al., 2020) . Entretanto, os hospitais estão entre as organizações mais complexas de serem administradas, com várias peculiaridades em seus processos operacionais necessários para o funcionamento de suas instalações e no atendimento direto ao paciente. A instabilidade da demanda e a complexidade para se medir os resultados de suas atividades intangíveis são grandes dificuldades a serem superadas. Por exemplo, é possível mensurar quantas cirurgias e quantas consultas foram feitas, mas não é possível mensurar quanta saúde está sendo obtida (Akinleye et al., 2019). A demanda dos serviços hospitalares

tem se intensificado consideravelmente em função do aumento da população, das doenças crônicas, e das emergências causadas por condições inesperadas, como por exemplo a COVID -19 (Javaid et al., 2020; Peter et al., 2021). Paralelo a isso, os hospitais necessitam racionalizar recursos naturais e financeiros e devem aumentar a produtividade da mão-de-obra sem prejudicar a qualidade dos serviços prestados (Danaher; Gallan, 2016).

O ambiente hospitalar é dinâmico, possui atividades que exigem rápida tomada de decisão que estão sujeitas a constantes modificações; muitas tarefas distintas, mas intensamente interligadas; e muitas vezes desenvolve atendimentos simultâneos feitos por uma mesma equipe. Neste ambiente o tempo é um fator crucial para a sobrevivência de pacientes, o que exige que os recursos sejam utilizados de forma otimizada (Saviano et al., 2018). Ele também é caracterizado por alta rotatividade do corpo clínico (área técnica/médica) e razoável estabilidade do pessoal administrativo (Kwon et al., 2021). Além desses, um dos principais desafios dos gestores de hospitais é conseguir conciliar os interesses empresariais com os princípios éticos e legais, pois nem sempre as decisões baseadas unicamente em critérios administrativos são coerentes com os critérios técnicos de saúde. Eles precisam definir e alcançar metas organizacionais considerando a tríade “organização, profissionais e pacientes”; porém nos hospitais é comum as posições de liderança serem ocupadas por médicos e enfermeiras que não são preparados para a realização de atividades de gestão (Peter et al., 2021). Sendo assim, esses gestores precisam se capacitar para conseguirem equilibrar as atividades administrativas e de saúde sem prejudicar a viabilidade econômica do hospital (Pihlainen et al., 2019).

Apesar das peculiaridades dos hospitais, há muitas similaridades entre eles e as organizações como um todo. Os hospitais privados fazem investimentos financeiros com seus próprios recursos ou de acionistas e tem como principal objetivo gerar lucros. Já os hospitais públicos são financiados por recursos provenientes de impostos e doações, que devem ser eficazmente administrados para se manterem dentro dos parâmetros estabelecidos pelo órgão público responsável. Portanto, tanto os hospitais privados quanto os públicos devem gerir suas receitas de forma que garantam sua solidez e eficiência financeira e operacional. Sendo assim, a gestão financeira que se espera de um hospital é similar à de uma empresa, pois eles devem buscar máxima eficiência e eficácia dos processos para cumprir seu papel de assistência à saúde e garantir um desempenho econômico aliado ao desempenho social e ambiental sustentável (Lee et al., 2019).

Muitos hospitais têm investido em projetos com iniciativas sustentáveis sem criarem um sistema que proporcione melhoria contínua e perenidade. Estes projetos estanques, em geral, são de curta duração e não geram benefícios de médio e longo prazo, aumentando as chances de fracasso das ações voltadas a sustentabilidade, o que gera desperdícios de recursos (humanos, financeiros, de infraestrutura, tempo, etc) (Zhu et al., 2018). É importante criar mecanismos para manter o engajamento dos hospitais e seus funcionários durante o período de desenvolvimento de programas e ações relacionados a sustentabilidade. Apesar de pesquisas com evidências consideráveis sobre os resultados positivos de iniciativas sustentáveis na prestação de serviços de saúde, ainda faltam estudos com abordagens que mantenham os hospitais engajados.

Também é importante que a sustentabilidade seja vista como um processo de desenvolvimento e adaptação em resposta às necessidades organizacionais e dos pacientes (Lennox et al., 2018). Este ponto de vista é corroborado por Saviano et al. (2018) que apontam que a perspectiva dos hospitais sobre sustentabilidade deve mudar de uma visão de curto prazo para uma visão de longo prazo, a fim de garantir a sobrevivência e a viabilidade organizacional. A gestão da Sustentabilidade em Hospitais (SH) é um importante caminho para que os hospitais sejam resilientes e cumpram sua missão de tratar e salvar vidas (Balbus et al., 2016). A SC é comumente operacionalizada a partir da TBL, que inclui as dimensões lucro, planeta e pessoas, representados pelos pilares econômicos, ambientais e sociais (Lozano et al., 2015).

Os processos e serviços hospitalares são intensivos em consumo de materiais, energia e água; geram quantidades significativas de resíduos, principalmente os tóxicos; e possuem alta taxa de emissões de gás carbono (Duque-Uribe et al., 2019). A gestão ambiental nos hospitais para mitigação desses impactos pode ser feita a partir da operacionalização do pilar ambiental da SC, que envolve o uso de recursos naturais renováveis, a mitigação das emissões de gases tóxicos, e a implementação de estratégias ambientais, como a produção mais limpa, ISO 14001, green design, etc. (Brambilla; Capolongo, 2019).

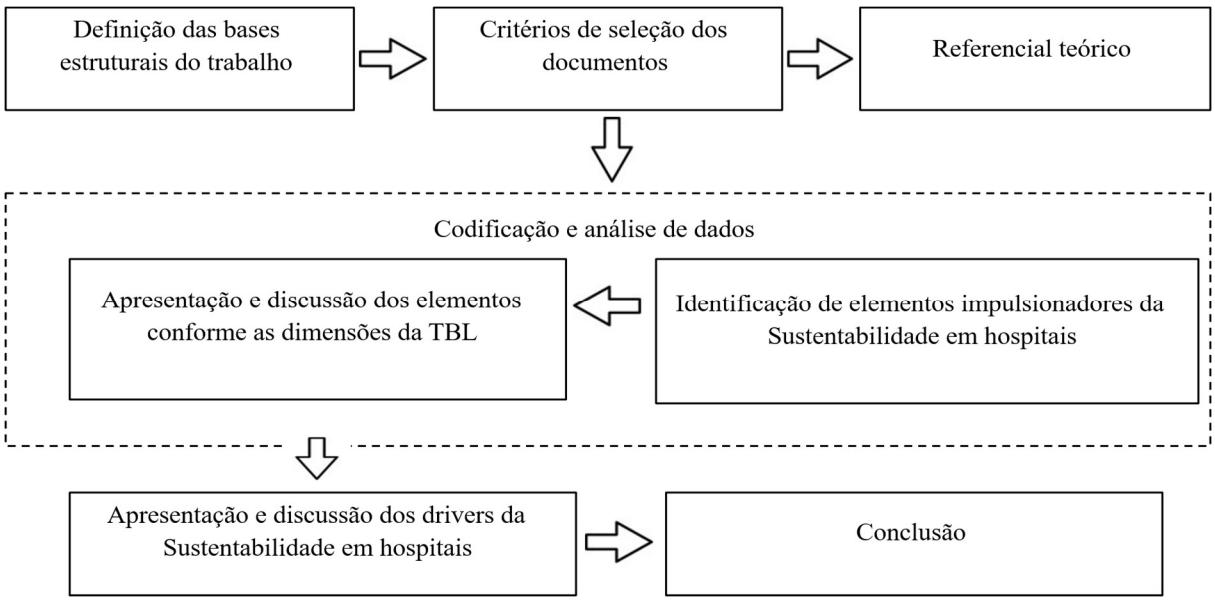
Os serviços hospitalares sofrem forte pressão para reduzir custos, melhorar sua eficiência operacional, e manter sua capacidade dos serviços prestados (Zhu et al., 2018). A gestão dos hospitais pode ser feita a partir da operacionalização do pilar econômico da SC, que engloba o desenvolvimento de políticas e ações para gerar valor agregado dos bens e serviços, e iniciativas que ajudam a melhorar e otimizar processos, conquistar novos mercados e a aumentar, com responsabilidade, o retorno financeiro sobre investimentos (Mousa; Othman, 2020).

Os problemas sociais nos hospitais estão principalmente relacionados aos funcionários que trabalham longas horas em um ambiente de trabalho de alta variabilidade e complexidade, e com alta carga de stress físico e psicológico. Estas características impactam negativamente na saúde e segurança dos funcionários e na qualidade do atendimento ao paciente (Duque-Uribe et al., 2019). O equacionamento destas questões pode se dá a partir da operacionalização do pilar social da SC, que inclui a capacitação e desenvolvimento do capital humano, promoção da satisfação, saúde, segurança e qualidade de vida de seus funcionários, o que refletirá em melhor atendimento aos pacientes (Capolongo et al., 2016).

2.3 MÉTODO DE PESQUISA

Nesta seção são detalhados os elementos metodológicos para o desenvolvimento deste trabalho. Isto inclui o fluxo metodológico (Figura 3) e a descrição de suas etapas.

Figura 3. Fluxo metodológico



Fonte: Elaborado com base em Moldavska e Welo (2017)

2.3.1 Definição das bases estruturais do trabalho

O primeiro passo para a realização do trabalho foi o estabelecimento das bases estruturais necessárias à sua elaboração: definição do tema, gap de pesquisa, questão de pesquisa, objetivo e método de pesquisa. O potencial do tema foi verificado por meio de uma busca realizada na base de dados Scopus, que é uma das maiores e mais relevantes bases

interdisciplinares de documentos com revisão por pares na área de gestão e sustentabilidade corporativa (Nunhes et al., 2020). A partir desta busca se identificou a oportunidade de propor drivers para o desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais. Estes drivers foram propostos a fim de incorporar todas as dimensões da sustentabilidade nas práticas hospitalares e assim contribuir de forma mais robusta para os requisitos atuais dos serviços de prestação de saúde. Isto foi corroborado pelo gap apresentado por Lennox et al. (2020) que diz que é necessário desenvolver soluções para melhorar a sustentabilidade nos hospitais. A partir disso, os autores definiram a questão de pesquisa, o objetivo do trabalho e o método de pesquisa.

A realização desse trabalho se deu por meio de uma abordagem qualitativa com base nos métodos de revisão da literatura e análise de conteúdo. A revisão da literatura é um método científico amplamente utilizado em artigos de revisão que tem por objetivo identificar, sintetizar e confrontar publicações a fim de identificar lacunas e tendências de pesquisa e construir um bloco de conhecimento que embase o desenvolvimento dos trabalhos (Munn et al., 2018). Já a análise de conteúdo é um método científico de análise de dados textuais realizado por meio de um processo sistemático de identificação e codificação de padrões usados para interpretar documentos (Moldavska; Welo, 2017).

2.3.2 Critérios da seleção dos documentos

Foram selecionados documentos do tipo artigos e reviews em língua inglesa publicados entre 2016 e 2021 a partir da query de pesquisa TITLE ((sustainability) OR (sustainable) OR (“corporate social responsibility”) OR (“CSR”) OR (“sustainable development”) OR (“global report initiative”) OR (“GRI”) OR (“triple bottom line”)) AND TITLE ((hospital) OR (healthcare) OR (“health care”)). Após a aplicação desses filtros, a busca resultou em 449 documentos.

Com o objetivo de obter os 30 artigos mais influentes (Apêndice A), ou seja, os mais citados sobre sustentabilidade em hospitais no período analisado, foi feita a leitura do título, palavras-chave e resumo destes documentos. Dessa forma, foram excluídos aqueles em que a sustentabilidade em hospitais era abordada como um aspecto secundário ou que se referiam a sustentabilidade da estrutura governamental de saúde e não a sustentabilidade em organizações de saúde.

A restrição a artigos dos últimos cinco anos se deu em função deles contemplarem as novidades sobre a SH e ao mesmo tempo por estarem baseados na literatura já consolidada. Estes 30 documentos somaram 778 citações ao todo, o que significa que eles serviram de base

para vários outros estudos e contribuíram significativamente para o avanço do estado da arte neste tema. Finalizada a seleção dos documentos, estes subsidiaram a confecção do referencial teórico e foram objeto da análise de conteúdo.

2.3.3 Referencial teórico

O referencial teórico sobre sustentabilidade em hospitais foi elaborado a partir dos 30 trabalhos mais citados e, quando necessário, foram acrescentados outros trabalhos para embasar os conceitos e características fundamentais que deram suporte ao desenvolvimento deste trabalho.

2.3.4 Codificação e análise de dados

Nesta etapa foi utilizado o método de análise de conteúdo por meio do processo sistemático de identificação de padrões e codificação dos dados textuais, conforme recomenda Moldavska e Welo (2017). A partir da leitura minuciosa dos artigos selecionados, foram identificados 30 elementos impulsionadores da SH, que foram dispostos em frequência decrescente de ocorrência nos artigos e codificados como E1 até E30 conforme a Tabela 1. Em seguida os 30 elementos foram discutidos à luz da literatura e com base na expertise dos autores de forma a relacioná-los com as dimensões da sustentabilidade (TBL).

2.3.5 Apresentação e discussão dos drivers

Nesta fase os elementos foram clusterizados por similaridade em forma de drivers, conforme recomenda Pires et al. (2016). Esses drivers são motores-chave compostos pelos elementos impulsionadores que possibilitarão que os hospitais de todos os portes, sejam eles públicos ou privados, caminhem em direção à sustentabilidade.

2.3.6 Conclusão

A conclusão evidenciou de que forma o gap de pesquisa foi preenchido, como foi respondida à questão de pesquisa e alcançado os objetivos do trabalho. Nesta fase também foram sintetizadas as contribuições científicas/teóricas e aplicadas/gerenciais deste trabalho e sugeridos estudos futuros que expandem e adensem os resultados apresentados neste artigo.

2.4 IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS IMPULSIONADORES DA SH

Nesta seção são apresentados os 30 elementos impulsionadores da sustentabilidade corporativa no ambiente hospitalar. Estes elementos foram identificados na literatura mais

influente sobre o tema, o que proporcionou a análise de um amplo range de conhecimentos produzidos e disseminados no período entre 2016 e 2021. Na tabela 1 são apresentados os 30 elementos dispostos da maior à menor frequência conforme sua ocorrência nos artigos. Para facilitar o entendimento do leitor, há na Tabela 1 uma coluna classificando estes elementos segundo as dimensões ambiental (AM), social (SO), econômica (EC).

Tabela 1. Elementos impulsionadores da sustentabilidade

#	Elementos	TBL	Artigos mais citados (Fevereiro de 2016 a 2021)																													Freq.
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
E1	Gestão RSH: Realizar a gestão dos resíduos hospitalares	AM	x									x	x	x	x		x					x			x						x		9
E2	Requisitos: Considerar os requisitos de sustentabilidade ambiental no design, construção e operação das instalações prediais hospitalares	AM						x				x	x	x	x				x			x			x								8
E3	Considerar as opiniões e necessidades dos stakeholders	AM/SO/EC			x		x					x					x					x			x		x	x					8
E4	Capacitação e Sensibilização: Capacitar funcionários e sensibilizar stakeholders e fornecedores	AM/SO/EC		x	x							x		x			x					x						x					7
E5	Desenvolver a cultura da responsabilidade social corporativa em hospitais	SO				x	x					x	x	x	x		x																7
E6	Tomar decisões sustentáveis compartilhadas com os demais integrantes da cadeia de suprimentos hospitalares	EC/AM				x						x	x	x	x	x											x						7
E7	Utilizar a Health Technology Assessment (HTA) como uma ferramenta de apoio à decisão	EC							x											x	x			x		x		x					6
E8	Criar times de trabalho para implementação e operacionalização da sustentabilidade	AM/SO		x								x		x								x						x					5
E9	Utilizar sistemas de gestão em hospitais	AM				x						x	x	x											x								5
E10	Adotar inovações tecnológicas para auxiliar a sustentabilidade econômica nos hospitais e nos elos de sua cadeia de suprimentos	EC													x		x					x	x							x			5
E11	Definir objetivos, metas e indicadores chave de desempenho em hospitais	AM/SO/EC			x							x										x			x			x					5
E12	Engajar funcionários nos projetos sustentáveis dos hospitais	AM/SO		x								x					x					x											4
E13	Fomentar a criação e a implementação de ideias sustentáveis	AM												x	x		x					x											4
E14	Desenvolver a capacidade de abertura às mudanças	AM		x										x	x							x											4
E15	Inserir critérios de sustentabilidade para a seleção de fornecedores em hospitais	AM/SO/EC				x	x					x	x																				4
E16	Estabelecer parcerias com empresas de reciclagem de materiais	AM						x					x	x											x								4

E17	Adotar inovações tecnológicas para auxiliar a sustentabilidade ambiental	AM	x			x				x									x			4
E18	Considerar os requisitos de sustentabilidade social no design, construção e operação das instalações prediais hospitalares	SO					x										x				x	3
E19	Reutilizar materiais e instrumentos	AM						x	x								x					3
E20	Adotar inovações tecnológicas para auxiliar a sustentabilidade social	SO									x			x					x			3
E21	Utilizar a governança corporativa na gestão de sistemas e processos sustentáveis	EC									x		x					x				3
E22	Desenvolver parcerias público- privada (PPP) em hospitais públicos para promoção da sustentabilidade econômica	EC/SO												x	x				x			3
E23	Desenvolver e/ou aprimorar o processo de compras sustentáveis	EC/AM							x	x			x									3
E24	Agir como agentes de cobrança para a inserção das questões de sustentabilidade nas grades curriculares dos cursos da saúde	SO										x	x					x				3
E25	Incentivar a participação ativa dos recursos humanos para o desempenho sustentável dos hospitais	SO		x					x													2
E26	Integrar a sustentabilidade à missão, visão e políticas dos hospitais	EC			x									x								2
E27	Desenvolver parcerias para logística reversa de produtos hospitalares	AM								x	x											2
E28	Gerir de forma estruturada o capital intelectual em todas suas dimensões (capital humano, estrutural e relacional) a fim de contribuir para a gestão da sustentabilidade.	SO										x		x								2
E29	Implementar a metodologia Lean Six Sigma em hospitais para a melhoria da performance econômica, social e ambiental	EC									x	x										2
E30	Analisar a viabilidade econômica na utilização das tecnologias no design, construção, operação de seus edifícios ao considerar os requisitos de sustentabilidade ambiental	EC															x				x	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Estes elementos contemplam várias ações para o desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais e foram analisados sob o prisma das três dimensões da TBL.

Os elementos classificados como AM (30%) contemplam ações que têm como objetivo mitigar os impactos ambientais negativos ao planeta provenientes dos edifícios hospitalares e seus processos operacionais. Assim, os elementos contemplam a implementação de sistemas e ferramentas de gestão ambiental (Stević et al., 2020); elaboração de estratégias e indicadores de desempenho da ecoeficiência (Castro et al., 2017); aquisição de produtos, materiais e equipamentos ambientalmente amigáveis (Chiarini et al., 2017); e prestação de serviços de saúde a partir de operações e práticas mais sustentáveis sem diminuir a qualidade dos atendimentos (Zhu et al., 2018).

Os elementos classificados como SO (20%) contemplam ações que visam benefícios sociais aos pacientes, funcionários, e à comunidade do entorno para valorização das pessoas que fazem parte deste ecossistema de prestação de serviços de saúde. Assim, os elementos contemplam, por exemplo, o desenvolvimento da responsabilidade social corporativa para abarcar a comunidade do entorno (Mousa; Othman, 2020); a valorização do capital humano como importante recurso para a organização (Cavicchi; Vagnoni, 2017); e melhorar os recursos tecnológicos para o bem-estar dos pacientes (Moro Visconti; Morea, 2019); as condições de trabalho, saúde e segurança para os funcionários (Stević et al., 2020); e o conforto térmico, acústico e visual das instalações prediais beneficiando tanto funcionários como pacientes (Capolongo et al., 2016); dentre outros.

Os elementos classificados como EC (20%) contemplam ações que contribuem para redução dos custos operacionais, aumento da eficiência e eficácia dos processos, e o desenvolvimento financeiro dos hospitais, a partir de estabelecimento de estratégias comprometidas com a sustentabilidade. Ações como investimentos em tecnologias (Guerra-Júnior et al., 2017); adoção de modelos de negócio mais sustentáveis (Daú et al., 2019); realização de parcerias público-privadas (Moro Visconti et al., 2019); e análises de viabilidade econômica dos investimentos de forma integrada com as preocupações sociais e ambientais (Brambilla; Capolongo, 2019) impulsionam o desenvolvimento e a gestão da sustentabilidade econômica nos hospitais.

Os elementos classificados como AM/SO; EC/AM; EC/SO; AM/SO/EC (30%) abrangem mais de uma dimensão da TBL ou as três dimensões de forma concomitante. Ações como considerar as opiniões e necessidades dos stakeholders (Khan et al., 2018); tomar

decisões sustentáveis compartilhadas com os demais integrantes da cadeia de suprimentos hospitalares (Scavarda et al., 2019), e atuar como agentes de cobrança para a inserção das questões de sustentabilidade nas grades curriculares dos cursos da saúde (Teherani et al., 2017) são exemplos de ações que estimulam a SH de forma mais sistêmica, integrada, e efetiva sob à ótica das dimensões da sustentabilidade.

2.5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DRIVES DA SH

Os elementos identificados na literatura a partir dos 30 artigos mais citados no período de 2016 a 2021 foram agrupados em cinco drivers para o desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais conforme a Figura 4.

Figura 4. Drivers para o desenvolvimento da sustentabilidade nos hospitais

Fonte: Elaborado pelo autor

Vale ressaltar que o conjunto de elementos de cada driver foram agrupados em função da similaridade dos temas abordados e discutidos à luz da literatura e da experiência dos autores para potencializar os resultados da sua ação conjunta. Cada driver contém elementos

impulsionadores da SH e são transversais às dimensões da TBL, portanto, considera-se que as dimensões econômica, social e ambiental da TBL estão inseridos em todos os drivers, possibilitando integrar e equilibrar as três dimensões. Eles são inter-relacionados e o desenvolvimento de cada um deles apoia o desenvolvimento dos outros.

2.5.1 Economia circular

A economia circular é uma nova abordagem de modelo de negócio que engloba o redesenho de processos desde a produção de produtos e serviços à destinação dos resíduos. Ela tem foco na circularidade ao invés da linearidade e visa a minimização da extração de recursos e a otimização da sua utilização. Sendo assim, a economia circular pode ser vista como uma abordagem promissora para ajudar a atender as demandas globais da sustentabilidade (Bocken et al., 2016).

O desenvolvimento e gestão da SH é uma questão desafiadora e a cadeia de suprimentos na qual os hospitais estão envolvidos tem um papel dinâmico e ativo neste processo (Chiarini et al., 2017). Para o desenvolvimento e gestão da SH, os hospitais precisam estar inseridos em uma cadeia de suprimentos que compartilha de uma mesma cultura comprometida com o desenvolvimento da economia circular. Caso contrário, o desenvolvimento e gestão da SH tornam-se menos efetivos, uma vez que os serviços prestados pelos hospitais e o cumprimento de todos os objetivos relacionados à sustentabilidade são dificultados pelas incompatibilidades das diferentes visões e engajamentos das organizações que compõem a cadeia (Williams; Radnor, 2022). Esta sinergia entre o hospital e os demais integrantes da cadeia de suprimentos a qual ele pertence influencia fortemente as práticas e processos de decisão, impactando positivamente a sustentabilidade (Scavarda et al., 2019). Assim, os hospitais devem “tomar decisões que impactem na sustentabilidade de forma compartilhada com os demais integrantes da sua cadeia de suprimentos (E6)” como uma estratégia de gestão sustentável. Esta sinergia é potencializada por meio de relações comerciais de longo prazo centradas na sustentabilidade, demandando o comprometimento de toda a cadeia. Além disso, os hospitais são instituições que devem atuar como líderes incentivadores da sustentabilidade dentro desta complexa cadeia, que abrange vários tipos de fabricantes, distribuidores e fornecedores.

Neste contexto, apesar do processo de compras sustentáveis ser uma prática comum entre os hospitais que objetivam desenvolver a sustentabilidade, eles enfrentam dificuldades para encontrar informações que possam nortear este processo (Oruezabala; Rico, 2012). Para ajudar a superar esta dificuldade, a norma ISO 20400 propõe diretrizes para o processo de

compras sustentáveis que abrangem aspectos políticos e estratégicos, visando o alinhamento dos contratos com os objetivos e metas de sustentabilidade do hospital (ISO, 2017). É importante que os hospitais “desenvolvam e/ou aprimorem o processo de compras sustentáveis (E23)” para realizar bons acordos financeiros, trazer benefícios para a sociedade e para o meio ambiente.

Outra dificuldade enfrentada pelos hospitais é selecionar fornecedores sustentáveis porque vários critérios são usados na tomada de decisões e, muitas vezes, esses critérios são conflitantes (Oruezabala; Rico, 2012). Em uma cadeia de suprimentos tradicional, os critérios mais importantes para a seleção de fornecedores, em geral, são preço, qualidade e entrega; já na cadeia de suprimento sustentável, a seleção de fornecedores inclui também os critérios ambientais (baseados nos impactos ambientais) e sociais (questões ocupacionais, de saúde e segurança) (Stević et al., 2020). A “inserção dos critérios de sustentabilidade para a seleção de fornecedores dos hospitais (E15)” desempenha um papel fundamental na aplicação da economia circular para performar a sustentabilidade dos hospitais e de sua cadeia de suprimentos. Desta forma, recomenda-se que os hospitais considerem este elemento durante a gestão da sustentabilidade para assegurar que as condições de trabalho dos funcionários e de seus fornecedores sejam apropriadas, que os produtos ou serviços adquiridos sejam sustentáveis e que questões socioeconômicas, como a desigualdade e a pobreza, sejam consideradas durante a seleção de seus fornecedores.

Além da seleção de fornecedores sustentáveis, é importante desenvolver parcerias com fornecedores para promover a economia circular, com foco em práticas para reduzir, reciclar e reutilizar materiais e a logística reversa é uma dessas práticas que integram a cadeia de suprimentos sustentável (Daú et al., 2019). Desde embalagens de produtos até medicamentos vencidos podem ser destinados à logística reversa (Kongar et al., 2015). Os hospitais devem "desenvolver parcerias para logística reversa de produtos hospitalares (E27)", permitindo que os produtos recicláveis possam continuar no ciclo e retornar com segurança à sociedade.

De forma semelhante, aconselha-se que os hospitais “estabeleçam parcerias com empresas de reciclagem de materiais (E16)” para promover a economia circular. Johnson (2010) cita exemplos de materiais como papel e papelão, plástico, vidro, alumínio, eletrônicos, baterias, lâmpadas, bags de álcool em gel, seringas, óleo de cozinha, thinner e resíduos orgânicos, que após devidamente selecionados na coleta seletiva de resíduos, podem deixar de ser destinados à aterros para serem encaminhados à reciclagem. Este elemento também promove a Responsabilidade Social Corporativa (RSC) junto às comunidades locais, pois a

colaboração com empresas de reciclagem pode ser expandida para cooperativas de costureiras locais, feiras de artesanato, escolas profissionalizantes, dentre outras. Estas parcerias fortalecem a RSC, abrindo caminho para a geração de valor para o hospital e estimulando outras iniciativas de características semelhante (Scavarda et al., 2019).

Reutilizar materiais e instrumentos é uma prática que vem sendo preconizada pela economia circular e contribui para a sustentabilidade pois permite otimizar o uso de instrumentos e suprimentos reutilizáveis e maximizar o reprocessamento de dispositivos de uso único (Thiel et al., 2017). A "reutilização de materiais e instrumentos (E19)", obedecendo os critérios de desinfecção, é outro importante elemento que os hospitais devem desenvolver para promover o aumento da eficiência de recursos disponíveis e evitar emissões de gases poluentes gerados nos processos de fabricação de novos materiais.

No contexto da economia circular, os resíduos são considerados insumos para a produção de novos produtos (Daú et al., 2019). Para isto, é necessário que os hospitais façam a gestão destes resíduos de forma eficiente e segura, desde a sua geração até sua disposição final, incluindo a seleção de fornecedor que atenda aos requisitos legais ambientais referente à coleta, transporte e alocação dos resíduos em aterros, e parcerias com fornecedores no caso de logística reversa ou com cooperativas para o encaminhamento dos resíduos à reutilização, recuperação, reciclagem de materiais etc. (Scavarda et al., 2019).A Organização Mundial de Saúde (OMS) tem indicado o gerenciamento dos resíduos mais robusto diante da falta de legislações rigorosas, ineficaz gerenciamento e aumento crescente da geração dos resíduos hospitalares, na qual vem acarretando impactos severos sobre a saúde pública e o meio ambiente (Chauhan; Singh, 2016). É fundamental que os hospitais desenvolvam o elemento "gestão dos resíduos hospitalares (E1)" para mitigar esses impactos. Para isto, os hospitais devem atender a legislação de seu país e adotar sistemas de gestão ambiental como, por exemplo, a ISO 14001. Segundo Oliveira et al. (2016), um sistema de gestão ambiental baseado na ISO 14001 contém requisitos para o desenvolvimento e implementação de uma política ambiental para gerenciar os aspectos ambientais referentes a produtos ou serviços de uma organização.

2.5.2 Edifícios sustentáveis

Design, construção, operação e demolição são etapas do ciclo de vida de um edifício que oferecem oportunidades para a inserção de requisitos de sustentabilidade. Edifícios sustentáveis são prédios projetados, construídos e operados conforme estes requisitos para aumentar sua eficiência e diminuir seus impactos sobre o meio ambiente e a saúde pública (Kim

et al., 2015). Para isso, em edifícios sustentáveis são adotadas soluções e tecnologias para a preservação ambiental, economia de recursos naturais; atendimento às necessidades dos ocupantes, e diminuição de custos operacionais. Portanto, edifícios hospitalares sustentáveis contribuem para a sustentabilidade em todos seus pilares, refletindo positivamente no meio ambiente, na satisfação e conforto de seus ocupantes e nos negócios da instituição hospitalar.

Os requisitos de sustentabilidade são relevantes elementos que devem ser considerados no contexto dos edifícios sustentáveis e são usualmente estudados de acordo com os pilares ambiental, econômico e social (Castro et al., 2017). Os requisitos de sustentabilidade ambiental estão relacionados com o uso racional e sustentável de energia e água, o uso de materiais de construção e manutenção predial sustentáveis, o uso sustentável da terra, a eficiência do sistema de climatização e iluminação, a gestão ambiental de resíduos, dentre outros (Brambilla; Capolongo, 2019). A observância dos requisitos ambientais proporciona aos hospitais a utilização dos recursos naturais com maior eficiência na realização de seus processos operacionais (Balbus et al., 2016). Portanto, os hospitais devem "considerar os requisitos de sustentabilidade ambiental no design, construção e operação das instalações prediais hospitalares (E2)" para ajudar no equilíbrio entre o consumo de recursos e o desenvolvimento econômico da instituição.

Ao projetar edifícios hospitalares sustentáveis devem ser utilizadas tecnologias que possibilitem resultados como menor geração de resíduos, maior resistência à deterioração predial, maior eficiência energética e hídrica, ambientes com mais conforto e salubridade aos ocupantes, e valorização de mercado para o imóvel. Todos estes resultados trarão impactos na redução dos custos operacionais e retorno do capital investido na construção ou reforma dos edifícios, ou seja, refletirão na sustentabilidade econômica (Castro et al., 2017). Por exemplo, o uso de tecnologias destinadas a reduzir o consumo de energia e as emissões de gases poluentes, possibilita benefícios econômicos proporcionais aos investimentos financeiros realizados. Portanto, a viabilidade de cada tecnologia empregada para os edifícios mais sustentáveis precisa ser estudada em relação a seu custo-benefício (Franco et al., 2017). Sendo assim, recomenda-se que os hospitais "analisem a viabilidade econômica na utilização das tecnologias no design, construção e operação de seus edifícios (E30)". Este elemento contribui para a tomada de decisão mais assertiva que repercutirá na sustentabilidade econômica dos hospitais.

Os requisitos de sustentabilidade social como acessibilidade às áreas sociais e disponibilidade de transportes públicos impactam na percepção de segurança e bem-estar físico

e mental dos ocupantes dos edifícios (pacientes, visitantes e funcionários). Já outros requisitos de sustentabilidade social nem sempre são tão óbvios de perceber como, por exemplo, qualidade do ar interno, e conforto térmico, acústico e visual, mas são requisitos igualmente relevantes neste contexto. Incorporar estes requisitos no design, construção e operação dos edifícios desempenha um papel fundamental na gestão da sustentabilidade social hospitalar beneficiando pacientes e funcionários. O aumento do nível de satisfação dos pacientes pode acelerar o processo de sua recuperação e diminuir seu tempo de internação, o que está diretamente relacionado à diminuição dos custos hospitalares (Campion et al., 2016). Em relação aos benefícios proporcionados aos funcionários, trabalhar em um ambiente com estas características reflete na diminuição de erros médicos, do absenteísmo, da rotatividade da equipe e em ganhos de produtividade (Capolongo et al., 2016; Hood; Patton, 2021). Neste sentido, os hospitais devem "considerar os requisitos de sustentabilidade social no design, construção e operação das instalações prediais hospitalares (E18)" para que eles cumpram seu papel social centrado nas pessoas e impulsionam a sustentabilidade social.

2.5.3 Gestão do conhecimento e cultura

O que proporciona vantagem competitiva sustentável às organizações é o conhecimento que elas detêm, a eficiência com que utilizam essas informações e a velocidade com que realizam inovações a partir desses conhecimentos. O conhecimento tácito e o conhecimento explícito são convertidos em conhecimento organizacional com o objetivo de melhorar a comunicação e a tomada de decisões, trazendo vantagens competitivas (Pinzone et al., 2016). Gestão do conhecimento é o processo de criação, compartilhamento, uso, e coordenação do conhecimento tornando-o disponível para os funcionários da organização, melhorando a conectividade entre fontes de conhecimento e usuários (Jennex, 2014).

Para a gestão do conhecimento, muitas organizações desenvolvem seu capital intelectual. O capital intelectual abrange o capital humano, o estrutural e o relacional. O capital humano representa a soma dos conhecimentos, competências, experiências, criatividade e capacidades dos funcionários de uma organização; o capital estrutural representa o conhecimento que permanece dentro da empresa como capacidades e compromissos organizacionais, sistemas de gestão do conhecimento, sistemas de recompensa, sistemas de tecnologia da informação, bancos de dados, processos operacionais, filosofias gerenciais, e cultura organizacional; e o capital relacional é formado pelo conhecimento gerado no relacionamento da organização com seus stakeholders (Cavicchi; Vagnoni, 2017). Os hospitais devem "gerir de forma estruturada o capital intelectual em todas suas dimensões (capital

humano, estrutural e relacional) a fim de contribuir para a gestão da sustentabilidade (E28)". Por meio da união de todas estas dimensões do capital intelectual, os hospitais serão capazes de fortalecer sua mão-de-obra e o relacionamento com seus stakeholders e assim alavancar sustentabilidade social.

Para a gestão do capital intelectual recomenda-se o desenvolvimento de alguns elementos considerados essenciais: (1)"incentivar a participação ativa dos recursos humanos para o desempenho sustentável dos hospitais (E25)", pois eles desempenham um papel fundamental no desempenho da organização, que pode levar à inovação e o uso eficiente de recursos organizacionais para reduzir ameaças e obstáculos que impeçam o alcance e manutenção da sustentabilidade (Mousa; Othman, 2020); (2) "capacitar funcionários e sensibilizar stakeholders e fornecedores (E4)" de forma a viabilizar o compartilhamento do conhecimento interno e na cadeia de suprimentos (Scavarda et al., 2019); (3) "engajar funcionários nos projetos sustentáveis dos hospitais (E12)", onde este engajamento deve partir da liderança por meio da efetiva comunicação das melhores práticas, e por sistemas de incentivos que sejam capazes de reconhecer o esforço e o valor das iniciativas dos funcionários (Cavicchi, 2017); (4) "fomentar a criação e a implementação de ideias sustentáveis (E13)", pois ao estimular sugestões, os hospitais incentivam seus funcionários a utilizarem e compartilharem seus conhecimentos tácitos para elaboração de soluções que contribuam com a sustentabilidade (Pinzone et al., 2016); (5) "criar times de trabalho para implementação e operacionalização da sustentabilidade (E8)", pois estas equipes promovem a colaboração entre os indivíduos e facilita a criação e implementação de novas ideias sustentáveis. Recomenda-se que estes times de trabalho sejam compostos por equipes Inter e multidisciplinares, pois assim reunirão diferentes expertises que auxiliarão também na resolução de problemas e projetos de melhoria de forma geral. Esses times de trabalho podem agir para construção de uma cultura organizacional voltada à sustentabilidade (Lennox et al., 2018); e (6) "desenvolver a capacidade de abertura às mudanças (E14)", pois a implementação das novas rotinas e propostas de trabalho relacionadas à sustentabilidade requer uma mudança cultural e comportamental (Daú et al., 2019).

Outro elemento importante tem relação com o conhecimento advindo por meio dos stakeholders. Este elemento é fundamental para a gestão da sustentabilidade nos hospitais, pois os stakeholders (pacientes, comunidade, funcionários, fornecedores, parceiros de P&D, acionistas, governo etc.) são uma importante fonte de informação que podem incrementar a expertises do capital humano dos hospitais e assim impulsionar a mudança em direção a sustentabilidade (Hussain et al., 2018; Khan et al., 2018). Para isto os hospitais precisam

“considerar as opiniões e necessidades dos stakeholders (E3)” durante os processos de tomada de decisão.

Também é importante o conhecimento adquirido dos profissionais de saúde nos cursos de graduação e pós-graduação quanto à sustentabilidade para que eles entendam tanto o impacto do meio ambiente (temperatura, umidade do ar etc.) na saúde, como o impacto do sistema de saúde e seus processos na preservação do meio ambiente. As universidades devem inserir nas grades curriculares matérias relacionadas com este tema para que os estudantes possam adquirir o conhecimento que agregue e fortaleça a cultura voltada à sustentabilidade; e para desenvolver competências na elaboração e condução de projetos ambientalmente sustentáveis (Teherani et al., 2017). Já os hospitais devem “atuar como agentes de cobrança para a inserção das questões de sustentabilidade nas grades curriculares dos cursos da saúde (E24)” para que os profissionais cheguem ao mercado de trabalho melhor preparados para essa nova cultura.

Além disso, os hospitais devem alinhar sua cultura à responsabilidade social corporativa para estabelecer seu compromisso com a sociedade por meio de projetos sociais e educacionais, filantropia, ética e preservação ambiental visando o interesse público (Mousa; Othman, 2020). "Desenvolver a cultura da responsabilidade social corporativa (RSC) (E5)” pode ajudar os hospitais em relação à sustentabilidade pois proporciona um impacto positivo na sociedade, no meio ambiente, e na satisfação de seus funcionários e pacientes, melhorando sua imagem organizacional e o relacionamento com seus stakeholders.

Estudos teóricos e empíricos enfatizam a importância de “integrar a sustentabilidade à missão, visão e políticas dos hospitais (E26)" (Lennox et al., 2018). A definição desses elementos estratégicos é importante para direcionar as ações tomadas pelos gestores hospitalares rumo à sustentabilidade e para deixar claro quais os objetivos pretende-se alcançar e quais estratégias serão adotadas para tal.

2.5.4 Gestão **organizacional**

Embora os princípios de sustentabilidade estejam incluídos a mais tempo nos modelos de negócios de muitas organizações, as de saúde vêm iniciando o processo de implementação de sistemas, métodos e ferramentas para a sustentabilidade apenas recentemente. Como muitas outras organizações, a sustentabilidade no setor de saúde pode ser considerada uma questão estratégica com resultados sociais, ambientais e financeiros. Com o aumento da competitividade do mercado, as organizações precisam inovar e se adaptar a novos modelos de negócio que incorporem a sustentabilidade de forma estruturada (Chiarini; Vagnoni, 2016).

Parcerias público-privadas (PPP) são consideradas um modelo de negócio que podem agregar valor à gestão da sustentabilidade em hospitais. Neste modelo, hospitais públicos realizam parcerias com o setor privado com benefícios para ambas as partes. Por meio das PPP, é possível que os hospitais recebam investimentos em inovações tecnológicas, que geram impactos econômicos positivos, aumentando a sustentabilidade dos negócios; e impactos sociais melhorando o acesso e a qualidade do atendimento ao paciente (Moro Visconti et al., 2019). Sendo assim, é aconselhável que os hospitais "desenvolvam parcerias público- privada (PPP) (E22)" pois este modelo de negócio pode remodelar as cadeias de abastecimento de saúde tradicionais com economia e ganhos de eficiência.

Assim como as PPPs, a governança corporativa é outro elemento essencial que os hospitais devem considerar na gestão da sustentabilidade. A governança corporativa é um sistema pelo qual uma organização é controlada para assegurar que as organizações possam ser confiáveis no que diz respeito à transparência e responsabilidade; responsabilidade corporativa; mecanismos para lidar com conflitos; métodos para melhorar a qualidade dos sistemas e processos; e procedimentos, diretrizes e protocolos para tomada de decisões (Harris et al., 2017b). A gestão da sustentabilidade é uma tarefa complexa e a governança pode ajudar os hospitais neste desafio porque se concentra em garantir a integridade e a seriedade da gestão organizacional. Para isso, recomenda-se que os hospitais "usem a governança corporativa na gestão de sistemas e processos sustentáveis (E21)" para desenvolver estratégias de sustentabilidade, atuando de forma a agregar valor aos negócios, à comunidade e ao meio ambiente.

Neste cenário, os hospitais devem estar focados na gestão de estratégias, processos e práticas que otimizem a assistência à saúde considerando os aspectos de sustentabilidade. Os hospitais devem desenvolver um plano estratégico para ajudá-los a definir que direção tomar para alcançar e melhorar a eficácia da sustentabilidade (Castro et al., 2017). É necessário "definir objetivos, metas e indicadores-chave de desempenho para hospitais (E11)". Este elemento, a partir de uma forte governança, contribui para a gestão da sustentabilidade nos níveis estratégico, gerencial e operacional, ajudando nos processos de tomada de decisão, melhoria do desempenho, implementação de ações corretivas etc.

As normas ISO 14001 (Gestão Ambiental) e ISO 50001 (Gestão Energética) estão sendo utilizadas em muitos hospitais com benefícios evidenciados em estudos empíricos. Elas auxiliam os hospitais na implementação de uma política ambiental com resultados como melhor uso dos recursos naturais, minimização dos desperdícios, otimização dos processos, e aumento

da produtividade (Chiarini et al., 2017). A gestão da sustentabilidade deve "utilizar sistemas de gestão em hospitais (E9)" para melhorar a ecoeficiência dos processos hospitalares, o que certamente fará a diferença na qualidade dos serviços prestados, na preservação do meio ambiente e longevidade dos negócios como um todo.

A Avaliação de Tecnologias em Saúde (ATS) é uma ferramenta para avaliar os possíveis benefícios e riscos nos momentos de investimento e desinvestimento das tecnologias de saúde no ambiente hospitalar, considerando os seguintes aspectos: segurança; acurácia; eficácia; custo-efetividade; e aspectos de equidade, éticos, culturais e ambientais (Guerra-Júnior et al., 2017). Tecnologias em saúde são medicamentos, equipamentos, acessórios médico-farmacêuticos, procedimentos clínicos e cirúrgicos, e sistemas de apoio na atenção à saúde para a prevenção de riscos, diagnóstico, tratamento e reabilitação (Harris et al., 2017a). Investimento significa incorporar e utilizar tecnologias de saúde para atingir o máximo dos benefícios segundo os aspectos mencionados anteriormente e desinvestimento significa a retirada parcial ou total das tecnologias de saúde que não estão atendendo esses benefícios (Harris et al., 2017c). Recomenda-se que os hospitais "utilizem a ATS como uma ferramenta de apoio à decisão (E7)" para alcançar três importantes benefícios: 1- obter informações que auxiliem no uso apropriado dessas tecnologias por meio da avaliação das suas propriedades clínicas e seus possíveis efeitos na saúde do paciente; 2- obter economia de recursos financeiros por meio de análises de custo-efetividade que impactarão nos negócios e na qualidade dos atendimentos; 3- possibilitar que os gestores hospitalares tomem decisões mais assertivas durante o investimento e desinvestimento de tecnologias nas quais terão impactos financeiros, sociais e ambientais.

Lean Six Sigma é um método de gestão que, a partir do mapeamento de atividades que não agregam valor aos processos operacionais, permite a eliminação de desperdícios e a redução de variabilidades. No ambiente hospitalar, esse método contribui para a melhoria contínua desses processos, produtividade organizacional, atendimento ao paciente e uso racional de recursos, impactando positivamente na sustentabilidade econômica, social e ambiental dos hospitais (Morell-Santandreu et al., 2020; Zhu et al., 2018). Dessa forma, o elemento "implementar o método Lean Six Sigma em hospitais (E29)" pode auxiliá-los a se tornarem mais eficientes e sustentáveis no fornecimento de serviços de saúde com mais qualidade.

2.5.5 Inovações **tecnológicas**

Os hospitais estão investindo em Inovações Tecnológicas (IT) como telemedicina, armazenamento na nuvem, prontuário eletrônico, realidade virtual, dispositivo portátil

inteligente, big data, internet das coisas, robótica, Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), equipamento médico de dosagem automatizada, inteligência artificial, dentre outras (Ajmera; Jain, 2019; Aquino et al., 2018). Incorporar inovações tecnológicas desempenha um papel fundamental na gestão da sustentabilidade hospitalar beneficiando pacientes e funcionários, hospitais, os elos da cadeia de suprimento, e o meio ambiente (Cavicchi; Vagnoni, 2017).

As ITs auxiliam a gestão hospitalar e a resiliência da cadeia de suprimentos hospitalar e impactam direta e positivamente a sustentabilidade econômica (Daú et al., 2019). A partir delas, é possível obter informações que auxiliem a tomada de decisões; intercambiar intra e entre instituições de saúde dados médicos de pacientes; rastrear dados dos pacientes trazendo agilidade e segurança aos processos operacionais e atendimentos clínicos. Elas também permitem integrar informações em tempo real entre os departamentos administrativos; diminuir a superlotação e filas de atendimento; reduzir custos a partir de simulações e economias "inteligentes"; e integrar a cadeia de suprimentos, ampliando a comunicação, o compartilhamento de dados, a flexibilidade e a produtividade (Moro Visconti; Morea, 2019). Sendo assim deve-se "adotar inovações tecnológicas para auxiliar a sustentabilidade econômica nos hospitais e nos elos de sua cadeia de suprimentos (E10)" como um elemento impulsionador da gestão da sustentabilidade.

As ITs também contribuem positivamente para a sustentabilidade ambiental nos hospitais mitigando os impactos negativos provenientes dos processos operacionais hospitalares (Moro Visconti et al., 2019). Alguns exemplos de sua aplicação são: o uso da telemedicina possibilita os atendimentos de forma remota, o que reduz a quantidade de deslocamentos e consequentemente a emissão de gases poluentes (Cavicchi; Vagnoni, 2017); o prontuário eletrônico evita o uso de papel diminuindo a quantidade de resíduos (Ajmera; Jain, 2019); os softwares de acompanhamento de consumo de energia em tempo real auxiliam no gerenciamento de energia e seu uso eficiente (Franco et al., 2017); e os sistemas automatizados de pesagem auxiliam no gerenciamento de resíduos (Chauhan; Singh, 2016), etc. Logo, aconselha-se "adotar inovações tecnológicas para melhorar a sustentabilidade ambiental (E17)" pois com base nelas, será possível gerenciar de forma mais eficiente os recursos naturais, diminuir a taxa de emissão de gases poluentes e controlar a geração, o tratamento e a destinação de resíduos.

Além disso, as ITs trazem impactos positivos para a sustentabilidade social a partir dos benefícios que elas trazem aos pacientes e funcionários. Nos pacientes, estes impactos estão

presentes desde os atendimentos presenciais até os atendimentos que podem ser também realizados virtualmente fora dos hospitais (Ajmera; Jain, 2019). Além disso, essas inovações aumentam a capacidade dos pacientes de controlar suas próprias doenças com a supervisão direta e remota de profissionais de saúde. Isto é possível devido a equipamentos de telemedicina, como câmeras, sensores e conexões de telefone/internet, que registam sinais vitais e outros parâmetros dos pacientes que são enviadas diretamente aos médicos responsáveis (Moro Visconti et al., 2019). Em relação aos profissionais de saúde, as inovações tecnológicas melhoram a assertividade de diagnósticos, reduzem erros, auxiliam em sistemas de cálculos de dosagem de medicamentos assistidos por computador etc. Estes e inúmeros outros benefícios tornam os serviços de saúde mais eficientes e eficazes. Por sua vez, os profissionais de saúde podem tomar melhores decisões; acessar informações de forma remota e em tempo real; diminuir o stress emocional; etc. (Cavicchi; Vagnoni, 2017; Marinova et al., 2017). Portanto, os hospitais devem "adotar inovações tecnológicas para melhorar a sustentabilidade social (E20)" pois com base nelas será possível fazer melhores diagnósticos e prescrever tratamentos mais eficazes, aumentando as chances de vida de muitos pacientes e promover a satisfação, saúde e segurança dos funcionários.

2.6 CONCLUSÃO

Este trabalho tem como objetivo propor um framework contendo drivers para desenvolver e gerir a sustentabilidade em hospitais, preenchendo, portanto, a lacuna científica que indicava a necessidade de desenvolver soluções para sustentabilidade adaptadas à realidade do ambiente hospitalar. O alcance desse objetivo também possibilitou que a questão de pesquisa "de que forma é possível desenvolver e gerir a sustentabilidade em hospitais?" fosse devidamente respondida. Este trabalho foi realizado por meio dos métodos de Revisão da literatura e Análise de conteúdo dos 30 artigos mais influentes sobre SH entre 2016 e 2021. Como resultado, cinco drivers para a gestão e desenvolvimento da SH foram propostos, possibilitando que hospitais públicos e privados desenvolvam ações nos três pilares da TBL.

Este trabalho contribui científico-teoricamente para o amadurecimento acadêmico do tema sustentabilidade no ambiente hospitalar ao adicionar novos elementos e insights ao estado da arte sobre SH. A proposição de drivers com base em elementos estruturantes aprofunda e expande os estudos já realizados sobre o assunto, propiciando uma base para o desenvolvimento de novas pesquisas e um ponto de referência para a análise e discussão de estudos empíricos. Como contribuição aplicada-gerencial, os drivers propostos auxilia os gestores de hospitais

públicos e privados no desenvolvimento e gestão da sustentabilidade, a fim de tornar seus negócios mais justos, verdes, e prósperos, e cumprir seus compromissos com o bem-estar de seus funcionários e da sociedade.

A prestação dos serviços hospitalares com base na sustentabilidade tem o potencial de contribuir para o desenvolvimento sustentável evidenciando benefícios ambientais, sociais e financeiros que vão além do próprio hospital. Um movimento coletivo para desenvolvimento da sustentabilidade em hospitais impactará positivamente as demais empresas que fazem parte da sua cadeia de suprimentos, refletindo em ganhos para a sociedade e o ecossistema. Neste trabalho as três dimensões da sustentabilidade foram tratadas de forma conjunta, culminando nos drivers para auxiliar os hospitais a equacionarem a sustentabilidade de forma integrada, dando base para um movimento em direção às premissas da Agenda 2030 da ONU. Esta agenda sinaliza a necessidade de se criarem estratégias que melhorem a saúde e a educação, reduzem a desigualdade, estimulem o crescimento econômico e combatam as mudanças climáticas. Portanto, é imperativo que os hospitais deem sua contribuição, ajam de forma cooperativa compartilhando conhecimento entre si e sejam exemplos inspiradores para as demais empresas do setor de serviços.

O framework proposto neste trabalho pode ser expandido se um número maior de artigos for considerado em pesquisas futuras, pois dessa forma outros aspectos importantes para o desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais poderão ser acrescidos. Portanto, recomenda-se que estudos futuros aumentem a quantidade de papers analisados e deem continuidade ao estudo das bases fundamentais do desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais desenvolvidas neste trabalho, agregando novos elementos aos drivers ou mesmo propondo novos drivers para o contínuo avanço científico desse tema.

3 RUMO AO HEALTHCARE 4.0: INDÚSTRIA 4.0 INOVANDO A GESTÃO HOSPITALAR

(Toward healthcare 4.0: industry 4.0 innovating hospital management)

Este artigo segue as normas de formatação do periódico Journal of Industrial Integration and Management

Resumo

Healthcare 4.0 (H4.0) está revolucionando a forma de gerenciar hospitais trazendo inovações para o serviço de saúde. Por isso, este trabalho tem como objetivo propor drivers com recomendações para a melhoria para a gestão hospitalar por meio do H4.0, elaborados com base no método científico Análise de Conteúdo. Nele foram identificados 36 elementos impulsionadores da gestão hospitalar via H4.0 e como resultado, eles foram agrupados em cinco drivers: Gestão de processos, Gestão de dados, Gestão de recursos, Gestão do paciente, e Assistência e desenvolvimento dos profissionais de saúde. Estes drivers contribuem de forma aplicada para melhorar o link entre as principais necessidades do ambiente hospitalar às tecnologias que podem atendê-las. A contribuição científica é aprofundar e ampliar o recente bloco de conhecimento que integra gestão hospitalar com tecnologias H4.0. Recomenda-se que futuros estudos possam investigar a aplicação das tecnologias H4.0 no auxílio à gestão da sustentabilidade ambiental, social e econômica do ambiente hospitalar.

Palavras-Chave: healthcare 4.0; indústria 4.0; gestão de operações de saúde; gestão hospitalar; tecnologias digitais

3.1 INTRODUÇÃO

A expectativa de tratamentos mais efetivos, o aumento dos custos e a rápida evolução da medicina estão pressionando cada vez mais o setor da saúde, especialmente os hospitais a buscar inovações tecnológicas (WEF, 2019). A área hospitalar é complexa de administrar com constantes desafios, uma vez que envolve aspectos clínicos, econômicos, gerenciais e humanísticos. Além disso, devido ao aumento da expectativa de vida com consequente envelhecimento da população, a demanda por serviços hospitalares aumenta progressivamente (Javaid et al., 2020; Peter et al., 2021). Portanto, a saúde continua sendo um dos mais importantes desafios sociais e econômicos em todo o mundo, exigindo novas e mais avançadas soluções da ciência e da tecnologia (Aceto et al., 2020).

A Indústria 4.0 (I4.0) pode contribuir para melhoria deste cenário. Ela pode ser definida como a integração de tecnologias para criação de soluções digitais que conectam os mundos físico e virtual visando a melhoria da eficiência e eficácia das organizações (Zhong et al., 2017). I4.0 vem exercendo o papel de ressignificação da gestão também dos hospitais, permitindo

melhorar a administração dos recursos disponíveis e a relação paciente-hospital numa perspectiva de cocriação de valor e coprodução de serviços (Cavallone; Palumbo, 2020). Mas para que os impactos sejam positivos e para atender as demandas do mercado, as organizações, dentre elas os hospitais e sua cadeia de suprimentos, precisam ser ágeis, estar preparados, e contar com profissionais treinados para utilizar as tecnologias da I4.0 (Senna et al., 2023).

I4.0 está abrindo o caminho para o setor da saúde se tornar mais conectado, preventivo, preciso e acessível, possibilitando um potencial de aplicação nunca visto antes, que vem sendo denominada Healthcare 4.0 (H4.0) (WEF, 2019). H4.0 é caracterizada pelo processo contínuo de transformação de toda cadeia de valor de saúde, que vai desde produção de medicamentos e equipamentos médicos, passando pelo atendimento hospitalar, atendimento hospitalar remoto, logística de saúde, até a sistemas financeiros e sociais. Nela, os sistemas cibernéticos e físicos são combinados por meio da IoT, sensoriamento inteligente, big data, inteligência artificial, computação em nuvem, robótica e outros, para criar produtos, serviços e empresas de saúde digitalizados (Pang et al., 2018).

A utilização das tecnologias H4.0 para a gestão hospitalar possibilita equacionar dois objetivos estratégicos muito comuns em hospitais: a melhoria da qualidade dos serviços prestados e a redução de custos. Isto é possível porque os dados gerados permitem uma tomada de decisão muito mais assertiva e estratégica permitindo que tanto o atendimento ao paciente quanto os processos hospitalares se tornem mais eficientes (Cavallone; Palumbo, 2020). Portanto, H4.0 está sendo considerado um tópico em destaque na área de gestão de operações de saúde (Tortorella et al., 2020a).

A aplicação das tecnologias H4.0 na gestão de organizações de saúde tem sido discutida na comunidade acadêmica e como resultado, um amplo campo de pesquisa nessa área está sendo desenvolvido. Estudos prévios têm sugerido diferentes soluções para apoiar a transformação digital em organizações de saúde. Por exemplo, Tortorella et al. (2020b) realizaram uma revisão sistemática da literatura para investigar tendências, desafios e lacunas na implementação do H4.0 e constataram que suas tecnologias têm sido mais comumente aplicadas nos fluxos de informação dos hospitais, o que indica uma necessidade de estudos em mais aplicações no setor de saúde. Cavallone e Palumbo (2020) analisaram o estado da arte da I4.0 no contexto da saúde a fim de apontar insights para futuros estudos conceituais e empíricos. Os autores constataram que apesar da I4.0 estar revolucionando a forma como os cuidados de saúde são concebidos e prestados, pouco se sabe ainda sobre a abordagem de governança que deve ser projetada e implementada para realizar todo o potencial da I4.0 como estratégia destinada a tornar a saúde 4.0 mais factível. Al-Jaroodi et al. (2020) analisaram os principais

objetivos do H4.0, discutiram os benefícios de aplicativos projetados para o setor de saúde, e propuseram uma estrutura de middleware para simplificar a integração de vários desses aplicativos e assim contribuir para gestão hospitalar, profissionais de saúde e pacientes. Buchelt et al. (2020), analisaram o papel e o engajamento dos gestores de recursos humanos na gestão do H4.0 em hospitais Poloneses e constataram que, quando estes gestores não estavam ancorados por gestores de nível estratégico, isto impactava negativamente a implementação do H4.0 nos hospitais investigados. Unterhofer et al. (2021) analisaram os conceitos derivados da I4.0 que poderiam ser adaptados pelo setor de saúde e propuseram um roteiro para a implantação e desenvolvimento de diretrizes para a viabilização do chamado Hospital 4.0.

Esses estudos apresentaram contribuições relevantes para a gestão de organizações de saúde e o nosso trabalho estende e os aprofunda seus resultados. Segundo Tortorella et al. (2022), as pesquisas sobre H4.0 ainda são pulverizadas, demandando o desenvolvimento de novos trabalhos que alinhem o conhecimento científico com as questões práticas. Este autor ainda aponta que existem oportunidades para investigar a gestão de organizações de saúde apoiada por tecnologias I4.0, ou seja, o estudo de mecanismos para desenvolvimento do H4.0, caracterizando assim um importante gap de pesquisa. Esse trabalho preenche este gap ao gerar soluções factíveis para guiar os hospitais nessa jornada. Sendo assim, a seguinte questão de pesquisa norteou o desenvolvimento deste trabalho: como as tecnologias H4.0 podem melhorar a gestão nos hospitais? Para respondê-la, este trabalho tem como objetivo propor drivers contendo recomendações para a melhoria da gestão hospitalar por meio da aplicação das tecnologias H4.0.

Após esta introdução, a Seção 3.2 apresenta uma síntese do referencial teórico sobre conceitos, princípios e tecnologias H4.0; a Seção 3.3 detalha o método de pesquisa; a Seção 3.4 apresenta os elementos impulsionadores da gestão hospitalar via H4.0; a Seção 3.5 propõe e discute os drivers para a melhoria da gestão hospitalar via tecnologias H4.0. Finalmente, são apresentadas a conclusão, as referências, e o Apêndice.

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com expectativa de expansão e aceleração, H4.0 está mudando o modelo de negócios de saúde para aprimorar as interações entre as organizações de saúde, pacientes, profissionais de saúde, stakeholders, e toda cadeia de valor. Isso efetivamente melhorará a qualidade, flexibilidade, produtividade, custo-benefício e confiabilidade dos serviços de saúde, além de

aumentar a satisfação dos pacientes (Al-Jaroodi et al., 2020). H4.0 pode ser definido como a aplicação dos princípios e tecnologias da I4.0 nos serviços de saúde, ou seja, hospitais, clínicas, laboratórios, e demais provedores da cadeia de suprimentos do setor de saúde (Aceto et al., 2020).

Os hospitais são os principais provedores dessa cadeia, e estão utilizando os princípios e tecnologias do H4.0, abrindo possibilidades para atendimentos inovadores internos e atendimentos virtuais fora dos hospitais. Os prontuários eletrônicos dos pacientes, denominados Eletronic Medical Record (EMR) e Electronic Health Record (EHR), por exemplo, contêm o histórico de saúde digitalizado dos pacientes e quando usados de forma integrada com algumas tecnologias H4.0, podem ser acessados de forma remota por médicos autorizados. O EMR inclui dados dos pacientes de uma única organização de saúde e o EHR inclui os dados inseridos por todas as organizações de saúde por onde o paciente recebeu atendimento, funcionando como um sistema interorganizacional e interoperável, ou seja, permite que os hospitais enviem e recebam registros de outros hospitais e demais organizações de saúde (Sharma et al., 2019).

Os princípios e as tecnologias digitais do H4.0 estão revolucionando a forma como os processos hospitalares são desenvolvidos, como os gestores da saúde gerenciam seus processos, e como são realizados os atendimentos a pacientes, melhorando a eficiência e efetividade dos serviços de saúde (Ajmera; Jain, 2019). Os processos organizacionais podem ser classificados em finalísticos e processos de apoio. Processos finalísticos são processos técnicos que compõem as atividades-fim da organização, diretamente envolvidos no atendimento às necessidades dos clientes ou usuários, no caso dos hospitais é o atendimento clínico ao paciente. Já os processos de apoio são aqueles que dão suporte às atividades de natureza finalística da organização. Essa categoria de processos está diretamente relacionada às atividades-meio e gestão dos recursos internos da organização (Tortorella et al., 2022; Wielki et al., 2020). Exemplos desse tipo de processo aplicados a hospitais são as atividades administrativas exercidas nos setores de recepção, faturamento, contabilidade, recursos humanos etc. atividades operacionais exercidas nos setores de engenharia clínica (gerenciamento dos inúmeros tipos de equipamentos necessários ao funcionamento do hospital); e nos setores de manutenção predial, a fim de garantir a estrutura física dos prédios hospitalares, assim como o gerenciamento de energia e água.

Segundo Al-Jaroodi et al. (2020), H4.0 é regida por seis princípios embasadores para estruturar os chamados hospitais inteligentes: (1) interoperabilidade, que é a capacidade de conectar diferentes dispositivos e sistemas médicos de fabricantes e modelos diferentes. Ela é essencial para que o sistema possa manter o fluxo contínuo de troca de dados e garantir a

interoperabilidade segura dos hospitais, pois qualquer falha na comunicação pode causar sérios danos ao paciente; (2) virtualização, que é a capacidade de criar cópias virtuais/digitais de diferentes dispositivos, sistemas e processos de saúde. Os serviços de virtualização são importantes para analisar operações, simular diferentes cenários, investigar problemas e comparar diferentes métodos de implementação de novos serviços; (3) descentralização ou autonomia, ou seja, a capacidade de máquinas inteligentes tomarem decisões próprias sem passar por qualquer instância centralizadora; (4) capacidade em tempo real, que é a capacidade de coletar e analisar ativamente dados de saúde em tempo real para auxiliar na tomada de decisão; (5) sistema orientado a serviços, que é a capacidade de criar softwares para interagir com dispositivos e sistemas médicos; e (6) modularidade, ou seja, capacidade de mudar para uma maneira mais flexível e ágil de configurar os recursos operacionais, permitindo reorganizar módulos fracamente acoplados para responder às necessidades em constante mudança.

As tecnologias H4.0 vêm desempenhando um papel primordial para a gestão hospitalar, auxiliando o controle dos custos, utilização de recursos, processos operacionais intra e inter-hospitalares; auxílio aos profissionais de saúde; e principalmente para melhor atendimento aos pacientes (Tortorella et al., 2020a). As principais tecnologias aplicadas no ambiente H4.0 são apresentadas na Tabela 2 e são fundamentais para a estruturação de soluções gerenciais para os hospitais inteligentes.

Tabela 2. Tecnologias Healthcare 4.0

Tecnologia	Descrição
Blockchain	Tecnologia de segurança de dados descentralizada e transparente que utiliza da tecnologia de criptografia para ocultar a identificação do usuário e blindar o acesso de informações para pessoas não autorizadas, tornando quase impossível o vazamento das informações, que só pode ser validada por consenso e não pode ser alterada por uma única pessoa sem autorização do restante. Blockchain fornece, por exemplo, segurança e privacidade das informações, transparência operacional, imutabilidade de registros de saúde e rastreabilidade para detectar fraudes relacionadas a remédios falsificados (Tanwar et al., 2020).
Mobile Health (M-health)	Tecnologia baseada no uso de plataformas e aplicativos instalados em dispositivos móveis como celulares, tablets, dispositivos vestíveis, assistentes digitais pessoais e outros equipamentos sem fio, que oferece inúmeras aplicações direcionadas aos pacientes, profissionais de saúde, instituições de saúde e demais integrantes da cadeia de suprimentos dos hospitais (Jayaraman et al., 2020).
Internet das coisas (IoT)	Tecnologia caracterizada pela presença de um sistema de objetos cooperantes conectados em rede, tais como sensores para medir a frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura corporal, comportamento do sono etc.; atuadores, tais como, bombas de infusão, alarmes, ventiladores etc.; e dispositivos médicos, tais como, equipamentos de diálise, máquinas de raio-x e outros. Esses objetos cooperantes interagem entre si possibilitando a coleta, troca e armazenamento de informações no ambiente hospitalar (Aceto et al., 2020). A IoT também pode ser utilizada de forma remota, por meio de dispositivos IoT vestíveis e dispositivos de ambiente, para acionar serviços de socorro e agilizar o resgate dos pacientes em casos de emergência. Os dispositivos IoT vestíveis são empregados em relógios, pulseiras e óculos inteligentes e permitem a aquisição contínua de dados de várias condições fisiológicas do corpo humano para o monitoramento remoto dos pacientes. Os dispositivos de IoT ambiente tais como motion sensor, latch sensor, light bulb, bed sensor, speaker, sound sensor etc. podem ser colocados em diferentes locais de casas para monitorar o comportamento humano e seu estado de saúde (Jayaraman et al., 2020).
Cloud computing (CC)	Arquitetura de computação na qual os usuários, dentre eles, os hospitais, podem alugar recursos de computação para armazenar, processar e gerenciar dados em tempo real, tais como informações administrativas e clínicas (Yang et al., 2020).
Fog computing (FC)	Arquitetura de computação descentralizada onde os dados são filtrados e agregados antes de serem transferidos para a nuvem, realizando a gestão de conexões entre as bordas da rede e a nuvem para integrar ambientes físicos e cibernéticos. FC funciona como um catalisador para a computação em nuvem, não como um substituto para ela. A principal diferença entre FC e CC é referente ao espaço de armazenamento. A FC tem menos espaço de armazenamento em comparação com a CC. Devido à menor capacidade de armazenamento, a velocidade de processamento de dados leva menos tempo na FC do que na CC. FC aplicada em hospitais ajuda a IoT a atingir seu vasto potencial, pois supera dificuldades como atrasos ou instabilidades ao transmitir informações para a nuvem (Aceto et al., 2020).

Edge computing (EC)	Arquitetura de computação que se baseia em uma rede de micro data centers que processam e armazenam os dados. Os dados são filtrados e agregados de forma local antes de serem transferidos para a nuvem, ou seja, EC separa os dados que podem ser processados ali mesmo, diminuindo o tráfego de dados e a necessidade de enviá-los, sendo assim apenas uma parte é enviada aos diretórios centrais. Os dados são processados nas bordas de uma rede, ou seja, o processamento ocorre o mais próximo possível do local do usuário ou da fonte de dados, como sensores, wearables e demais dispositivos móveis inteligentes. A principal diferença entre EC e FC reside no local onde decorre o processamento. No EC todo o processamento de dados acontece na borda da rede, isto é, nos próprios dispositivos utilizados pelos usuários, e na FC o processamento de dados acontece entre a fonte de dados e a nuvem (Pace et al., 2019).
Big Data	Tecnologia projetada para capturar e analisar grande volume de dados em alta velocidade por meio de ferramentas analíticas. A importância da big data não está na quantidade de dados que o hospital possui, mas em como eles são geridos e usados de maneira que se possa trazer benefícios para a instituição e pacientes (Aceto et al., 2020). Esse grande volume de dados pode advir tanto dos pacientes como dos dados corporativos hospitalares. Em relação aos pacientes, estes dados incluem uma riqueza de conhecimento sobre doenças, seu progresso e como foram curadas, analisando tratamentos e seus respectivos resultados. Por isto, os dados advindos dos pacientes são tratados, por exemplo, a fim de adquirir insights significativos para auxiliar os profissionais de saúde na predição de doenças, e formulação de diagnósticos e protocolos médicos (Pang et al., 2018). Já os dados corporativos hospitalares, como por exemplo as informações administrativas, de cobrança e agendamento; podem auxiliar os gestores hospitalares em decisões mais assertivas, reduzindo custos e otimizando o tempo (Aceto et al., 2020).
Telemedicina	Sistema baseado nas Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) utilizado para realizar atendimentos como teleconsultas, telecirurgias e teletreinamentos de forma remota. As teleconsultas, atendimento clínico utilizado por meios virtuais, utilizam aplicativos de videochamadas em smartphones, tablets e computadores para possibilitar o acesso e a agilidade do tratamento ao paciente transpondo barreiras geográficas. Isto acarreta também a diminuição da demanda dos atendimentos presenciais e reduz custos dos processos operacionais hospitalares. As telecirurgias, realização de procedimento cirúrgico remoto que conecta um médico executor e equipamento robótico em espaços físicos distintos usando uma rede sem fio, possibilita aos hospitais ofertarem serviços inovadores e otimizar recursos. Os teletreinamentos destinados aos profissionais de saúde e gestores hospitalares por meio de videoconferências evita deslocamentos desnecessários, otimizando o tempo destes profissionais (Gupta et al., 2019).
Inteligência artificial (IA)	Algoritmos ou sistemas desenvolvidos e dotados de processos intelectuais característicos dos humanos como a capacidade de raciocinar e descobrir significados, possibilitando a mudança da medicina prescritiva para a preditiva e o aumento da eficiência na gestão hospitalar. IA auxilia a análise de dados complexos de saúde para a realização de diagnósticos, tratamentos preventivos e curativos, medicina personalizada, monitoramento e atendimento ao paciente, além das aplicações relevantes na gestão adequada dos hospitais, auxiliando profissionais de saúde e gestores hospitalares nos processos de tomada de decisão (Pang et al., 2018).
Healthcare Robotics	Dispositivos eletromecânicos capazes de realizar trabalhos de maneira autônoma ou pré-programada. No ambiente hospitalar atua em cirurgias oferecendo redução de riscos cirúrgicos e procedimentos menos invasivos porque os cortes são menores e mais precisos

	possibilitando a recuperação mais rápida dos pacientes; melhor qualidade das imagens; serviços inovadores como recepcionar pacientes sem contato humano; auxiliar profissionais de saúde em atividades mecânicas e repetitivas; dentre outras (Pang et al., 2018).
Manufatura aditiva/impressão 3D	Tecnologia assistida por softwares de design e impressão para fabricação de objetos adicionando sucessivamente material camada por camada. Essa tecnologia pode ser usada no contexto hospitalar para fabricação de instrumentos médicos com menor custo e de forma mais sustentável (Haleem; Javaid, 2020).
Realidade virtual e Realidade aumentada	Realidade virtual (RV) é uma tecnologia que cria um mundo totalmente novo e interativo no meio digital para simular ações dentro de um ambiente e ter uma experiência multissensorial por meio de interfaces em tempo real. Nos hospitais é usada para simular procedimentos e técnicas de atendimento ao paciente por meio de processos virtuais (Haleem; Javaid, 2020). Realidade aumentada (RA) é uma tecnologia que sobrepõe conteúdo criado digitalmente à realidade circundante, aumentando assim a percepção do usuário sobre a realidade para fornecer informações reais e precisas, que acarretará menos erros durante procedimentos e melhor tomada de decisão (Arpaia et al., 2021).
Simulação	Tecnologia para simular diferentes procedimentos hospitalares e a partir disso avaliar ou comparar a viabilidade e os benefícios de se utilizar diferentes técnicas e até mesmo fazer investimentos na aquisição de tecnologias para aumentar a acurácia desses procedimentos e assim oferecer melhores tratamentos aos pacientes (Al-Jaroodi et al., 2020).

Fonte: Elaborado pelos autores

3.3 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho se deu por meio de uma abordagem qualitativa com base no método científico de Análise de Conteúdo indutiva. Este método auxilia na análise de dados textuais realizado por meio de um processo sistemático de identificação e codificação de padrões cujos resultados são categorias que descrevem e permitem analisar determinado fenômeno (Xia et al., 2018). Nesta seção, a estrutura metodológica e as fases de desenvolvimento deste trabalho são detalhadas (ver Tabela 3).

Tabela 3. Estrutura metodológica

Fases	**Descrição**	**Etapas**
Fase 1: Preparação	Definição das bases estruturais do trabalho	A- Definição do tema
		B- Escolha da base de dados
		C- Identificação da lacuna científica
		D- Elaboração da questão de pesquisa
		E- Estabelecimento dos objetivos de pesquisa
		F- Escolha do método científico
	Prospecção e preparação dos documentos para análise	G- Definição dos critérios de busca
		H- Pré seleção dos documentos
		I- Exclusão dos documentos selecionados por falta de aderência ao objeto de pesquisa
		J- Seleção da unidade de análise
Fase 2: Organização	Exploração dos documentos e tratamento dos dados	K- Codificação dos elementos
		L- Categorização dos elementos em drivers
Fase 3: Reporte	Apresentação e discussão dos resultados	M- Realização de inferências e interpretação dos resultados
Fase 4: Conclusão	Elaboração da conclusão	N- Resposta à questão de pesquisa
		O- Alcance do objetivo da pesquisa
		P- Destaque das contribuições teórica e aplicada
		Q- Sugestão para trabalhos futuros

Fonte: Elaborado pelos autores

A Fase 1 englobou a definição das bases estruturais do trabalho e a prospecção e preparação dos documentos para análise. A definição das bases estruturais iniciou-se com a

averiguação do potencial do tema por meio de uma busca realizada na base de dados Scopus. Esta base foi selecionada devido sua ampla interdisciplinaridade e relevância na indexação de periódicos científicos de alto impacto com revisão por pares sobre o tema estudado. A partir desta busca se identificou a oportunidade de propor drivers para a gestão hospitalar via H4.0. Isto foi corroborado pelo gap de pesquisa apontado por Tortorella et al. (2022) sobre as oportunidades para investigar a gestão de organizações de saúde apoiada por tecnologias I4.0, ou seja, o estudo de mecanismos para desenvolvimento do H4.0. A partir disso, os autores definiram a questão de pesquisa, o objetivo do trabalho e o método de pesquisa.

Para a prospecção e preparação dos documentos para análise, foi realizada uma busca a partir da seguinte query de pesquisa: TITLE ((hospital) OR (healthcare) OR ("health care") OR ("health services") OR ("healthcare 4.0") OR ("health care 4.0") OR ("health 4.0") OR ("care 4.0") OR ("hospital 4.0") OR ("health services 4.0")) AND TITLE (("industry 4.0") OR ("I4.0") OR ("4.0") OR (I4) OR ("manufacturing 4.0") OR ("smart manufacturing")). Esta busca resultou em 161 documentos pré-selecionados. Em seguida, foram aplicados os filtros para selecionar documentos do tipo artigos e reviews em língua inglesa publicados entre 2017 e 2022, resultando em 71 documentos. A partir disso, os 30 documentos mais citados foram selecionados (Apêndice B), pois são os mais influentes nesse campo de estudo no período analisado. Em seguida, foi feita a leitura do título, palavras-chave e resumo dos documentos para que fossem excluídos aqueles que não tinham aderência ao objeto de pesquisa, ou seja, naqueles em que as tecnologias H4.0 eram abordadas apenas de forma técnica específica e por isso não forneciam evidências para desencadear aplicações generalizáveis sobre o papel das tecnologias H4.0 na gestão hospitalar. Nesta fase também foi definida a unidade de análise, que pode ser uma letra, palavra, sentença ou trecho sobre o objeto em investigação (Elo et al., 2014). Neste estudo as unidades de análise foram sentenças que indicassem como utilizar as tecnologias H4.0 para a gestão hospitalar.

A Fase 2 teve como objetivo identificar os elementos que contribuem para impulsionar a gestão hospitalar via H4.0. Para isso, foi realizada a codificação desses elementos da seguinte forma: após definida a unidade de análise deste estudo durante a fase de preparação, iniciou-se a análise indutiva por meio da leitura minuciosa dos dados textuais. Os elementos foram construídos à medida que essas unidades de análise eram identificadas e recebiam códigos alfanuméricos para representá-las sem nesse momento considerar suas similaridades com os demais elementos, conforme recomenda (Moldavska; Welo, 2017). Em seguida, conforme essas unidades de análise apresentavam semelhanças, elas foram fundidas e seus códigos

revisados e recodificados para se tornarem um único elemento. Assim, 36 elementos impulsionadores para a gestão hospitalar via H4.0 foram obtidos e receberam identificadores de E1 a E36, dispostos em frequência decrescente de ocorrência nos artigos, conforme Tabela 1. A codificação foi utilizada para referenciar os elementos em todas as análises subsequentes do estudo. Ainda na fase 2, os elementos foram agrupados por sinergia em cinco drivers. Conforme recomenda Elo et al. (2014), o processo de agrupamento de dados também denominado categorização, deve ser aplicado em estudos utilizando o método análise de conteúdo para sintetizar e garantir a compreensão e completude dos elementos. Este método tem sido utilizado com sucesso em estudos semelhantes conforme (Nunhes et al., 2020; Torres da Rocha et al., 2022).

Na Fase 3, drivers para melhorar a gestão hospitalar via H4 foram propostos e discutidos considerando o embasamento teórico da literatura científica e a experiência dos autores desse trabalho no tema e no setor abordado. Na Fase 4 foi evidenciado de que forma o gap de pesquisa foi preenchido, como foi respondida à questão de pesquisa e alcançado os objetivos do trabalho. Nesta fase também foram evidenciadas as contribuições científicas e aplicadas deste trabalho e sugeridos estudos futuros que têm potencial de expandir e adensar os resultados apresentados neste artigo.

3.4 IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS IMPULSIONADORES DA GESTÃO HOSPITALAR VIA H4.0

Nesta seção são apresentados os 36 elementos impulsionadores da gestão hospitalar via H4.0 a fim de aumentar a eficiência e a qualidade na prestação de serviços de saúde. Estes elementos foram identificados na literatura científica mais influente sobre o tema, o que proporcionou a análise de um amplo range de conhecimentos disseminados no período entre 2017 e 2022. Para a apresentação desses elementos, os autores atrelaram as tecnologias H4.0 à sua aplicabilidade na gestão hospitalar.

Na Tabela 4 são apresentados estes elementos dispostos da maior à menor frequência dentro de cada bloco das principais tecnologias H4.0 encontradas nos documentos mais citados da literatura científica. O primeiro bloco a ser apresentado refere-se às tecnologias generalizadas chamadas healthcare 4.0 ou medical 4.0, e depois segue os outros blocos com tecnologias específicas.

Tabela 4. Elementos impulsionadores da gestão hospitalar via H4.0

Tecnologias	#	Elementos	Artigos mais citados																												Freq.
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Healthcare 4.0/Medical 4.0	E1	Usar tecnologias Healthcare 4.0 para assistir os gestores hospitalares na avaliação de procedimentos operacionais, revisão das operações, predição de necessidades futuras, e tomada de decisão por meio de técnicas analíticas dos dados coletados.											x							x				x					**x**		x		5
	E2	Usar tecnologias Healthcare 4.0 para o compartilhamento de informações entre os integrantes da cadeia de suprimentos hospitalar. Isso possibilita o fluxo de informação em tempo real, de forma descentralizada, precisa, segura e ágil, melhorando a integração dessa cadeia, que por sua vez pode melhorar a flexibilidade, agilidade e qualidade dos serviços dos hospitais.							x															x		**x**			**x**				4
	E3	Usar tecnologias Healthcare 4.0 nos sistemas de controle de estoque para monitorar o uso dos recursos, evitando o desperdício e escassez de materiais e aumentando sua disponibilidade																											**x**				1
	E4	Usar tecnologias Healthcare 4.0 para planejar de forma integrada a utilização da mão de obra com os outros recursos necessários ao atendimento, como salas de cirurgia, leitos, medicamentos, equipamentos, etc. para aumentar a eficácia do serviço prestado.																											**x**				1
Blockchain	E5	Usar o blockchain para melhorar a segurança dos Registros Eletrônicos de Saúde/ Electronic Health Record (EHR) e Registro Eletrônico Médico /Eletronic Medical Record (EMR), diminuindo a probabilidade de ataques cibernéticos e garantindo a privacidade relacionadas à coleta, compartilhamento e transferência de dados pessoais e confidenciais dos pacientes.	**x**								**x**	**x**			**x**	x		**x**											**x**	**x**			8
	E6	Usar blockchain para elaboração de contratos inteligentes e assim dar agilidade e confiabilidade nos sistemas de pagamento dos hospitais										**x**																	**x**				2
	E7	Usar o blockchain para controlar e rastrear medicamentos fornecidos aos hospitais visando identificar e rejeitar medicamentos falsificados										**x**																					1
Mobile health (m-health)	E8	Usar m-Health para aumentar a agilidade e precisão da comunicação entre pacientes e profissionais de saúde, melhorando os atendimentos.								**x**																			**x**			**x**	3
	E9	Usar m-Health para assistir os profissionais de saúde no gerenciamento de informações sobre os pacientes visando otimizar o tempo de tarefas, auxiliar a tomada de decisão e diminuir erros médicos								**x**														**x**					**x**				3

	E10	Usar m-health para o monitoramento de pacientes de forma remota, agindo na prevenção de hospitalizações e assim, contribuir para a redução dos custos hospitalares e para o aumento da eficiência na prestação de serviços				x															x					2
	E11	Usar m-Health como ferramenta em treinamentos para melhorar a qualificação dos profissionais de saúde				x																					1
Internet das Coisas (IoT)	E12	Usar IoT para o monitoramento de dados de saúde dos pacientes, auxiliando a realização de diagnósticos precoces e suporte ao paciente em tempo real.	x			x		x			x	x	x	x			x			x			x	x		x	13
	E13	Usar a IoT para melhorar a interoperabilidade entre dispositivos e equipamentos de diferentes fornecedores refletindo na melhoria da conectividade e agilidade dos processos hospitalares	x		x			x			x		x			x			x					x	x	x	11
	E14	Utilizar IoT nos programas de manutenção preditiva de equipamentos hospitalares para reduzir o número de falhas que levam a reparos não programados, custos de manutenção, interrupção do serviço, e demora do atendimento, melhorando sua eficiência operacional	x					x													x						3
	E15	Usar a IoT para rastrear o trânsito interno de insumos e equipamentos, possibilitando o acompanhamento preciso e em tempo real de todos os ativos do hospital.									x	x															2
	E16	Usar a IoT para controlar por meio de sensores a iluminação e a temperatura dos edifícios hospitalares, com melhor aproveitamento dos recursos naturais, aumento do conforto ambiental, e redução de custos				x																					1
	E17	Usar IoT para gerenciar o risco de infecção hospitalar por meio do monitoramento de assepsia das mãos dos profissionais de saúde				x																					1
	E18	Aplicar a IoT para aumentar a eficiência do gerenciamento dos resíduos hospitalares e promoção da saúde pública								x																	1
Cloud Computing (CC)	E19	Usar CC para coletar, processar, armazenar e compartilhar registros clínicos e informações administrativas dentro de um mesmo hospital, melhorando sua comunicação interna e eficácia dos processos clínicos e administrativos, além de diminuir custos relacionados ao armazenamento físico de papéis.	x		x			x	x		x	x	x		x	x		x			x			x	x		x	13
	E20	Usar CC para compartilhar informações entre hospitais; entre hospitais e pacientes; e entre a cadeia de suprimentos hospitalar com ganhos na agilidade na prestação dos serviços hospitalares, satisfação dos pacientes e aumento de conectividade entre os integrantes da cadeia hospitalar.	x																								1
Fog Computing (FC)	E21	Usar FC para filtrar, compactar e processar os dados brutos dos pacientes captados pelos dispositivos médicos antes de enviá-los para	x	x								x	x			x					x						6

		a nuvem para posterior análise e diagnóstico. Isto possibilita aumento da velocidade e precisão na transmissão de informações que auxiliam nos processos de tomada de decisão clínica.																												
Edge Computing (EC)	E22	Usar EC para armazenar, processar e analisar dados dos pacientes coletados pelos dispositivos móveis pessoais, permitindo que os hospitais lidem com os dados mais próximos desses dispositivos para receberem dados em tempo real e sem delay no processo de monitoramento remoto de pacientes			x						x												x		x		4
Big Data	E23	Usar big data para capturar valor a partir de grandes volumes de dados, analisá-los em alta velocidade e utilizá-los para o gerenciamento de informações administrativas, operacionais e clínicas	x			x			x			x			x	x	x		x			x		x	x	x			13
Telemedicina	E24	Usar a telemedicina para aumentar o acesso dos pacientes ao tratamento e evitar deslocamentos desnecessários, possibilitando aos hospitais aumentarem sua oferta de serviços, além de diminuir a demanda por atendimentos presenciais, reduzir custos provenientes destes atendimentos e otimizar recursos	x		x						x							x			x					x		6
	E25	Usar a telemedicina para realizar treinamentos de profissionais de saúde de forma remota, evitando seu deslocamento e proporcionando a qualificação de um maior número de profissionais			x						x																	2
Inteligência artificial (IA)	E26	Usar a IA na análise de dados complexos de saúde para detectar padrões e auxiliar no diagnóstico de doenças, elaborar protocolos médicos, predizer doenças, e possibilitar a medicina personalizada.	x		x	x		x			x	x	x			x		x			x	x				x		13
	E27	Usar a IA na checagem, processamento, e rastreabilidade dos dados a fim de apontar divergências e inconformidades e substituir a checagem manual e repetitiva por checagens automáticas de dados e assim agilizar a tomada de decisão.																			x		x					2
Healthcare Robotics	E28	Usar robotics para possibilitar a realização de cirurgias minimamente invasivas e mais precisas, o que contribui para recuperação mais rápida dos pacientes e diminuição do tempo de internação				x							x			x						x			x			5
	E29	Usar robotics para auxiliar profissionais de saúde em tarefas diárias monótonas e repetitivas, como por exemplo no levantamento de pacientes acamados, e transporte autônomo de dispositivos médicos, medicamentos, amostras de laboratório, carrinhos e lixeiras para minimizar o burnout destes profissionais e melhorar a agilidade do serviço prestado				x			x														x					3
	E30	Usar robotics para auxiliar na gestão de medicamentos desde o armazenamento do estoque até sua dosagem				x																						1

	E31	Usar robotics para auxiliar profissionais de saúde na triagem do paciente com doenças altamente infecciosas para que a intervenção presencial seja minimizada	**x**					1
Manufatura aditiva/Impressão 3D	E32	Usar tecnologia de impressão 3D de forma própria ou terceirizada para confecção de placas, parafusos, implantes de cirurgias e próteses, visando proporcionar dispositivos médicos customizados aos pacientes e reduzir custos	**x**			**x**	**x**	3
	E33	Usar tecnologia de impressão 3D para produção própria ou terceirizada de equipamentos de proteção individual para os profissionais de saúde.	**x**					1
Realidade aumentada e Realidade virtual	E34	Usar a realidade aumentada e/ou virtual para realizar simulações mais realísticas no treinamento de procedimentos que podem ser repetidos quantas vezes forem necessárias a fim de capacitar os profissionais de saúde e gerar mais eficiência e qualidade no serviço prestado	**x**		**x**		**x**	3
	E35	Usar a realidade aumentada nos treinamentos e procedimentos cirúrgicos visando melhorar o atendimento aos pacientes e o nível de atenção do cirurgião			**x**		**x**	2
Simulação	E36	Usar simulação digital tanto para processos meio como processos fim hospitalares, possibilita a inserção ou exclusão de variáveis para melhor avaliar e comparar a viabilidade e os benefícios dos processos antes de criá-los ou modificá-los fisicamente. Isso auxilia no planejamento de recursos, mudanças de layout, e na comparação de diferentes métodos de implementação de novos serviços e técnicas clínicas	x	x		**x**		3

Fonte: Elaborado pelo autor

Durante a análise de conteúdo dos artigos pôde-se observar que alguns autores não mencionaram de forma específica uma tecnologia H4.0, usando as denominações Healthcare 4.0, Medical 4.0, ou Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Devido a isso, o primeiro bloco apresenta elementos neste contexto, ou seja, baseados num conjunto de tecnologias H4.0 que auxiliam a gestão hospitalar podendo se estender a cadeia de suprimentos dos hospitais. Como exemplo pode-se citar o conjunto dessas tecnologias para auxiliar o planejamento dos recursos humanos integrado a disponibilidade de outros recursos necessários aos processos operacionais e de atendimento ao paciente (Al-Jaroodi et al., 2020).

Os elementos relacionados a tecnologia Blockchain contemplam ações que visam proporcionar segurança, privacidade e rastreabilidade de dados. Assim, os elementos englobam a aplicação dessa tecnologia no compartilhamento de informações contidas no Eletronic Medical Record (EMR) e Electronic Health Record (EHR) (Tanwar et al., 2020); na elaboração dos contratos inteligentes (Al-Jaroodi et al., 2020); e no controle e rastreio de medicamentos farmacêuticos hospitalares (Kumar et al., 2020).

Os elementos relacionados a tecnologia M-health abordam ações que contribuem para diminuir custos, erros médicos e a demanda por hospitalizações, e ganhar agilidade na execução de tarefas, comunicação, e qualificação profissional. Por exemplo, destacam-se ações de monitoramento de pacientes de forma remota (Jayaraman et al., 2020); gerenciamento de informações sobre os pacientes (Tortorella et al., 2021); e treinamentos voltados aos profissionais de saúde (Jayaraman et al., 2020).

Os elementos relacionados a tecnologia IoT abrangem ações que auxiliam na resolução de problemas e no aumento de eficiência em vários processos hospitalares sem a necessidade de ajuda humana. Assim, os elementos contemplam, por exemplo, o monitoramento de dados do paciente para suporte em tempo real (Aceto et al., 2020); o acesso às informações para profissionais de saúde dentro e fora dos hospitais (Haleem; Javaid, 2020); e manutenção preditiva de equipamentos hospitalares com mais precisão e agilidade (Tortorella et al., 2020b).

Os elementos relacionados a tecnologia Cloud Computing reúnem ações que possibilitam o ganho de eficiência hospitalar auxiliando o gerenciamento de dados dentro de um mesmo hospital, entre hospitais e com sua cadeia de suprimentos. Como exemplo pode-se citar o uso da CC nos registros clínicos dos pacientes que fica acessível de qualquer lugar e horário para os profissionais devidamente habilitados, melhorando os atendimentos dos pacientes (Yang et al., 2020).

O elemento relacionado a tecnologia Fog Computing engloba ações que auxiliam nos processos de tomada de decisão clínica pois sua função de filtrar e compactar dados brutos coletados nos dispositivos médicos proporciona capacidade de resposta mais rápida que impacta na agilidade e acurácia do atendimento prestado pela equipe (Kumari et al., 2018).

O elemento relacionado a tecnologia Edge Computing aborda ações que também auxiliam nos processos de tomada de decisão clínica, uma vez que o EC filtra esses dados de forma local e separa aqueles que podem ser processados ali mesmo, diminuindo o tráfego de dados enviados para a nuvem. Ela minimiza a necessidade de transmitir dados por longas distâncias entre o dispositivo e o datacenter que hospeda os serviços em nuvem, possibilitando o acesso em tempo real sobre as condições do paciente, com consequente melhora da eficácia do serviço prestado (Pace et al., 2019).

O elemento relacionado a tecnologia Big Data contempla ação para auxiliar na análise de dados clínicos, operacionais e administrativos de forma mais precisa e preditiva, possibilitando aos hospitais um melhor gerenciamento de informações que embasam processos de tomada de decisão e elaboração de estratégias (Paul et al., 2021).

Os elementos relacionados a tecnologia Telemedicina apontam ações visando aumentar o acesso ao atendimento da população, mas principalmente para pacientes que moram em regiões afastadas de grandes centros ou com dificuldade de locomoção ou com idade avançada. Ela também contribui para aumentar a qualificação dos profissionais de saúde com redução de custos e deslocamentos, além de aumentar a possibilidade de troca de experiência com pessoas de diferentes localidades (Gupta et al., 2019).

Os elementos relacionados a tecnologia Inteligência Artificial reúnem ações para melhorar a gestão hospitalar e possibilitar a medicina personalizada, ou seja, a adaptação do tratamento médico às características individuais de cada paciente. Como exemplo, pode-se citar o uso da IA na detecção de padrões de doenças (Kishor; Chakraborty, 2022); na elaboração de protocolos médicos individualizados (Pang et al., 2018); no auxílio as questões manuais e repetitivas fornecendo agilidade e acurácia na identificação de divergências e inconformidades em processos (Al-Jaroodi et al., 2020); e nas questões de alta complexidade e imprevisibilidade, fornecendo análises que suportam a tomada de decisão (Cavallone; Palumbo, 2020).

Os elementos relacionados a tecnologia Healthcare Robotics englobam ações visando maior precisão operacional e segurança na realização de procedimentos, além de reduzir erros médicos e outros riscos associados, possibilitam a recuperação mais rápida dos pacientes e o

auxílio aos profissionais de saúde. Assim, os elementos contemplam, por exemplo, o uso dessa tecnologia em processos cirúrgicos (Gupta et al., 2019); triagem de pacientes (Yang et al., 2020); e na realização de muitas tarefas mecânicas e repetitivas (Pang et al., 2018).

Os elementos relacionados a tecnologia Manufatura Aditiva/Impressão 3D apontam ações visando oferecer formas mais rápidas, baratas e sustentáveis de produzir ou adquirir itens utilizados nos hospitais a partir dessa tecnologia. Por exemplo, placas, parafusos, próteses e implantes customizados para os pacientes e equipamentos de proteção individual para a equipe de seus profissionais (Chen et al., 2020).

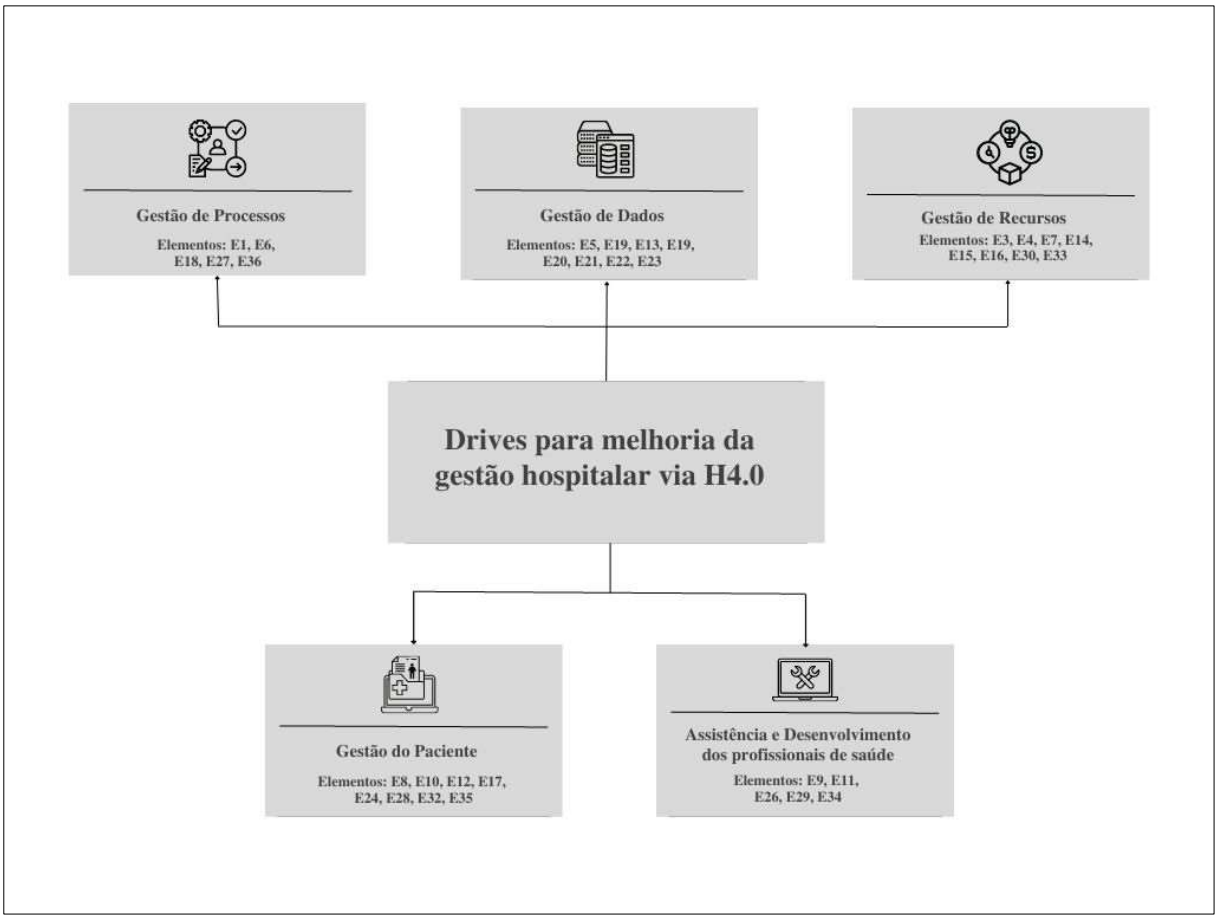
Os elementos relacionados a tecnologia Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV) abordam ações que contribuem para melhorar a confiabilidade e o planejamento de muitos procedimentos, trazendo mais segurança para os pacientes, redução na utilização de insumos e ampliação da capacidade de atendimento. O uso da RV em cirurgias e da RA e/ou RV em treinamentos para os profissionais de saúde são exemplos dessas ações (Arpaia et al., 2021).

O elemento relacionado a tecnologia Simulação contempla a ação para a análise de processos administrativos e procedimentos clínicos a fim de embasar as decisões e promover melhorias que aumentem a eficiência dos atendimentos. Várias análises podem ser feitas por meio da simulação como dimensionamento de recursos, avaliação da capacidade instalada, análise do fluxo de pacientes, análises de técnicas cirúrgicas, dentre outras (Sharma et al., 2019).

3.5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DRIVES PARA IMPULSIONAR A GESTÃO HOSPITALAR VIA H4.0

Os drivers apresentados nesta seção contêm recomendações para melhoria da gestão hospitalar por meio da aplicação das tecnologias H4.0 (Figura 5). Eles foram propostos com base na clusterização por afinidade dos elementos impulsionadores da gestão hospitalar via H4.0. As recomendações estão adaptadas para a realidade dos hospitais, com intuito de viabilizar a transformação digital nessas organizações de forma bem-sucedida.

Figura 5. Drivers para melhorar a gestão hospitalar via H4.0



Fonte: Elaborado pelo autor

3.5.1 Gestão de processos

Os processos hospitalares são dinâmicos, com diferentes níveis de complexidade, e precisam atender a questões éticas, regulatórias e jurídicas. Todavia, para a realização efetiva desses processos são necessários eliminar ou mitigar desafios. Falhas em processos hospitalares podem levar desde a insatisfação dos pacientes até fatos irreparáveis como a morte de muitas pessoas. O H4.0 dota os hospitais de mecanismos automatizados que aumentam a segurança, agilidade e a produtividade dos processos hospitalares, impactando na entrega de serviços com melhor qualidade e redução dos custos para o negócio (Unterhofer et al., 2021).

Os processos hospitalares precisam ser devidamente planejados, executados e revisados, etapas que são necessárias para o bom funcionamento interno do hospital. Ferramentas digitais que possibilitam a agilidade e assertividade dessas etapas contribuem para a gestão do tempo e o aprimoramento dos resultados (Al-Jaroodi et al., 2020). Portanto, os hospitais devem "usar tecnologias Healthcare 4.0 para assistir os gestores hospitalares na avaliação de procedimentos

operacionais, revisão das operações, predição de necessidades futuras, e tomada de decisão, por meio de técnicas analíticas dos dados coletados” (E1).

O efetivo fluxo de informações entre os setores dos hospitais é um dos fatores essenciais para que os processos sejam executados sem delay. A tecnologia que pode ajudar neste cenário é a machine learning, ramo da IA baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana. Ela utiliza os dados e transforma em valiosas informações administrativas e clínicas (Kishor; Chakraborty, 2022). Sendo assim, os hospitais devem "usar a IA na checagem, processamento, e rastreabilidade dos dados a fim de apontar divergências e inconformidades e substituir a checagem manual e repetitiva por checagens automáticas de dados para agilizar a tomada de decisão” (E27).

Dentre os diversos tipos de processos administrativos hospitalares que podem ser auxiliados pelas tecnologias H4.0, os relacionados ao sistema de contas a pagar e receber podem utilizar o blockchain para elaborar os chamados contratos inteligentes. São contratos digitais onde todas as informações inseridas têm baixo risco de fraude devido ao sistema de criptografia do blockchain, garantindo segurança aos hospitais. Além disso, sua utilização elimina preenchimento manual de papéis, processamento de documentos físicos, e probabilidade de erros na sua elaboração tornando os processos mais ágeis. Isso é possível devido uma sequência lógica de passos que são transformados e implementados em um código executável utilizando alguma linguagem de programação (Kumar et al., 2020). Devido a todos esses benefícios, recomenda-se que hospitais “usem o blockchain para elaboração de contratos inteligentes para dar agilidade e confiabilidade aos sistemas de contas a pagar e receber" (E6).

Outro processo que pode se beneficiar da utilização das tecnologias H4.0 é relacionado aos resíduos hospitalares. O gerenciamento de resíduos é desmembrado em vários outros subprocessos que abrangem desde a geração, coleta, segregação, armazenamento, transporte, até seu tratamento e destinação final. Ele deve atender as normas e exigências legais, a fim de preservar a saúde pública e o meio ambiente (Chauhan; Singh, 2016). Com a ajuda da IoT, sistemas de sensores inteligentes e conectados entre si podem ser implantados em contêineres e cestos de lixo para obter dados sobre quantidade, localização, tempo de deslocamento, rastreamento e disposição final dos resíduos hospitalares em tempo real (Chauhan et al., 2021). Recomenda-se, portanto, “aplicar a IoT para aumentar a eficiência do gerenciamento dos resíduos hospitalares e promoção da saúde pública" (E18).

Existem inúmeras formas de executar os processos e os hospitais podem encontrar dificuldades na escolha da alternativa mais adequada ou fazer escolhas errôneas que acarretam aumento de custos e ineficiência nos processos. A utilização de simulação digital possibilita simular diferentes formas de executar os processos e permite a detecção de gargalos que geram bloqueios nos fluxos de trabalho hospitalares (Unterhofer et al., 2021). Isso resulta em uma otimização no uso dos recursos e maior agilidade e efetividade na realização de processos hospitalares. Portanto, "usar simulação digital tanto para processos-meio como processos-fim hospitalares, possibilita a inserção ou exclusão de variáveis para melhor avaliar e comparar a viabilidade e os benefícios dos processos antes de criá-los ou modificá-los fisicamente. Isso auxilia no planejamento de recursos, mudanças de layout, e na comparação de diferentes métodos de implementação de novos serviços e técnicas clínicas" (E36).

3.5.2 Gestão de dados

Os hospitais geram um alto volume de dados proveniente dos atendimentos clínicos aos pacientes e dos processos de apoio hospitalar. Gerenciar esses dados de forma eficaz requer que o setor de Tecnologia da Informação (TI) dos hospitais desenvolva estratégias confiáveis para acessar, armazenar, limpar, integrar, monitorar e preparar dados para análises administrativas, operacionais e clínicas (Kumari et al., 2018), sempre observando o cumprimento das legislações sobre privacidade de dados dos pacientes (Larrucea et al., 2020).

Gerenciar dados também significa transpor barreiras relacionados a ataques cibernéticos, falta de segurança no acesso e compartilhamento, vazamento da privacidade, alto volume, dificuldade de integrar dados com formatos diferentes, baixa velocidade na sua transmissão etc. (Aceto et al., 2020). As tecnologias H4.0 propiciam maior conectividade entre os sistemas de informação dos hospitais e entre sua cadeia de suprimentos porque melhoram a interoperabilidade, ou seja, a habilidade dos diferentes sistemas de informação de se comunicarem, transferirem e usarem informações. H4.0 exerce um papel fundamental na gestão mais ágil e segura dos dados, o que impacta positivamente na qualidade dos serviços de saúde, na contribuição para estudos clínicos e tomada de decisão das instituições de saúde (Pang et al., 2018).

Os hospitais são instituições que estão inseridas dentro de uma cadeia de suprimentos complexa, ampla e diversa abrangendo vários tipos de fabricantes, distribuidores e fornecedores devido à variedade de recursos necessários (Daú et al., 2019). O bom funcionamento do sistema hospitalar está diretamente relacionado a conectividade dos dados para o efetivo gerenciamento

do fluxo de produtos, serviços, pessoas e informações, envolvendo os diversos membros da cadeia. Portanto, recomenda-se que os hospitais “usem as tecnologias Healthcare 4.0 para o compartilhamento de informações entre os integrantes da cadeia de suprimentos hospitalar. Isso possibilita o fluxo de informação em tempo real, de forma descentralizada, precisa, segura e ágil, melhorando a integração dessa cadeia, que por sua vez pode melhorar a flexibilidade, agilidade e qualidade dos serviços dos hospitais "(E2).

Da mesma forma que em sua cadeia, nos hospitais, sistemas, programas e máquinas, devem estar integrados para operar de forma inteligente, gerando dados e permitindo análises para garantir a agilidade necessária ao seu funcionamento. Tecnologias H4.0 ao promover a conectividade dos dados, possibilitam que os dispositivos médicos trabalhem de forma integrada aos equipamentos. A IoT, por exemplo, leva a um fluxo de dados em tempo real, mais preciso e completo que auxilia os diagnósticos, tratamentos e desempenho dos serviços de saúde (Pang et al., 2018). É fundamental que os hospitais "usem a IoT para melhorar a interoperabilidade entre dispositivos e equipamentos de diferentes fornecedores possibilitando a coleta de dados digitalizada e melhor conectividade desses dados” (E13).

Big Data possibilita aos hospitais fazerem o cruzamento, organização e síntese de dados originados de diferentes fontes para transformá-los em informações que auxiliam em soluções importantes para a gestão hospitalar e trazem novas possibilidades para prevenção, tratamento e cura de doenças a partir das possibilidades que elas oferecem (Tortorella et al., 2022). Portanto, os hospitais devem "usar a big data para capturar valor a partir de grandes volumes de dados, analisá-los em alta velocidade e utilizá-los para o gerenciamento de informações administrativas, operacionais e clínicas” (E23).

Cloud Computing é fundamental para armazenar, processar e gerenciar dados em tempo real, melhorando a conectividade inter e intra hospitalar. Isto impacta na qualidade dos processos, segurança do paciente, integração dos profissionais, diminuição da ocorrência de erros etc. (Aceto et al., 2020). É essencial que os hospitais "usem CC para coletar, processar, armazenar e compartilhar registros clínicos e informações administrativas dentro de um mesmo hospital, melhorando sua comunicação interna e eficácia dos processos clínicos e administrativos, além de diminuir custos relacionados ao armazenamento físico de papéis” (E19). Além disso, devido à alta complexidade das organizações hospitalares e a necessidade de integrar informações advindas de outros hospitais, de fornecedores de sua cadeia de suprimentos, e de seus próprios pacientes, é fundamental que os hospitais usem a CC como uma ferramenta para melhorar seu desempenho e o relacionamento com seus pacientes (Tortorella

et al., 2020b). Por isto recomenda-se que os hospitais "usem CC para acessar e compartilhar informações entre hospitais; entre hospitais e pacientes; e entre a cadeia de suprimentos hospitalar com ganhos na agilidade na prestação dos serviços hospitalares, satisfação dos pacientes e aumento de conectividade entre os integrantes da cadeia hospitalar" (E20).

Fog Computing contribui para o gerenciamento de dados porque ela atua como um link entre a IoT e a nuvem introduzindo funcionalidades extras para o processamento dos dados que serão enviados a nuvem, como filtragem e agregação. Estas funcionalidades aumentam a velocidade de armazenamento e otimiza o processamento dos dados, diminuindo assim o tempo de resposta (Kumari et al., 2018). Devido a isto, os hospitais devem "usar FC para filtrar, compactar e processar os dados brutos dos pacientes captados pelos dispositivos médicos antes de enviá-los para a nuvem para posterior análise e diagnóstico. Isto possibilita aumento da velocidade e precisão na transmissão de informações que auxiliam nos processos de tomada de decisão clínica" (E21).

Edge computing atua de forma similar ao Fog Computing, porém no EC o local de processamento de dados acontece na borda da rede, isto é, nos próprios dispositivos utilizados pelos usuários. Isto impacta positivamente na redução do tempo de resposta do processamento de dados (Pace et al., 2019). Nesse sentido, os hospitais devem "usar EC para armazenar, processar e analisar dados dos pacientes coletados pelos dispositivos móveis pessoais, permitindo que os hospitais lidem com os dados mais próximos desses dispositivos para receberem dados em tempo real e sem delay no processo de monitoramento remoto de pacientes" (E22).

Blockchain oferece o potencial de melhorar a verificação e integridade dos dados presentes nos prontuários eletrônicos EHR e EMR, gerando maior segurança dos dados e valor na prestação de serviços de saúde, além de contribuir para redução dos custos. Acessar e compartilhar essas informações com privacidade e segurança abre possibilidades que beneficiam pacientes e hospitais (Tanwar et al., 2020). Os pacientes podem acessar seus dados contidos nos seus EHR sempre que quiser e de qualquer parte do mundo por meio de seus dispositivos inteligentes, e os hospitais podem alimentar e acessar informações por meio dos EMRs e, enviar e receber informações de outros hospitais por meio dos EHRs com mais segurança (Bhattacharya et al., 2021). Portanto, recomenda-se que os hospitais "usem o blockchain para melhorar a segurança dos registros eletrônicos de saúde (EHR) e Eletronic Medical Record (EMR), diminuindo a probabilidade de ataques cibernéticos e garantindo a

privacidade relacionadas à coleta, compartilhamento e transferência de dados pessoais e confidenciais dos pacientes" (E5).

3.5.3 Gestão de recursos

O gerenciamento de recursos hospitalares é uma atividade complexa e árdua em função da grande variedade de recursos que devem ser gerenciados, da sua eventual indisponibilidade ou de seu número limitado. Eles podem ser recursos humanos, ativos, instalações, entre outros. A gestão de recursos hospitalares aborda o planejamento, programação e alocação desses recursos visando utilizá-los com melhor eficiência para maior efetividade dos atendimentos (Tortorella et al., 2020b).

As tecnologias H4.0 podem fornecer aos hospitais uma melhor visão dos recursos disponíveis e do seu uso, prever as necessidades de manutenção e substituição de equipamentos, otimizar o uso de recursos compartilhados, garantir a disponibilidade contínua de suprimentos e consumíveis, e monitorar e controlar o uso, desperdício e escassez de recursos. Elas também podem auxiliar os hospitais a identificarem recursos que raramente são usados ou padrões anormais de uso. A utilização das tecnologias H4.0 de forma eficiente ajudará garantir sua disponibilidade, melhorar os processos e diminuir custos hospitalares (Al-Jaroodi et al., 2020).

É importante a utilização dos recursos de forma integrada pois isto vai garantir que a disponibilidade de determinado recurso esteja alocada a outros recursos de forma simultânea para garantir o funcionamento adequado dos processos hospitalares (Cavallone; Palumbo, 2020). Para a realização de uma cirurgia por exemplo, é necessário que juntamente ao agendamento da sala de operação, estejam escalados os médicos e enfermeiros, e disponíveis todos os instrumentos, equipamentos e medicamentos a serem utilizados durante e após o procedimento, tendo em vista que falhas na gestão de recursos pode gerar erros médicos e atrasos na realização dos atendimentos. Sendo assim, recomenda-se que os hospitais "usem tecnologias Healthcare 4.0 para planejar de forma integrada a utilização da mão de obra com os outros recursos necessários ao atendimento, como salas de cirurgia, leitos, medicamentos, equipamentos, etc para aumentar a eficácia dos serviços prestados" (E4).

Outro fator importante para a gestão de recursos é a localização e rastreamento dos recursos físicos/ativos para serem utilizados assim que requeridos, que são todo e qualquer objeto físico que faz parte do patrimônio do hospital, tais como, máquinas, materiais, equipamentos hospitalares etc., desde grandes a pequenos portes. A dificuldade de localizar e acessar alguns ativos é um desafio enfrentado pelos hospitais, geralmente acarretando demora

no atendimento (Kishor; Chakraborty, 2022). A IoT pode ajudar a rastrear os ativos hospitalares, utilizando por exemplo, sistemas RFID – Radio-Frequency Identification (sistema de identificação por radiofrequência) interligados a dispositivos como tablets, smartphones e notebooks. Portanto, aconselha-se que os hospitais "usem a IoT para rastrear o trânsito interno de insumos e equipamentos, possibilitando o acompanhamento preciso e em tempo real de todos os ativos do hospital" (E15). O gerenciamento de ativos com o uso da IoT pode efetivamente reduzir atrasos e garantir a satisfação do paciente e a lucratividade do hospital.

Também é extremamente necessário que os hospitais utilizem seus recursos de forma segura e confiável. Os medicamentos por exemplo, exigem um rigoroso controle de autenticidade e validade. Blockchain permite o controle e a rastreabilidade de medicamentos à medida que armazena dados cronologicamente em uma rede ponto a ponto. A estrutura de códigos criada através do blockchain pode identificar um produto falsificado e rejeitá-lo, evitando que os hospitais forneçam esses medicamentos a seus pacientes (Kumar et al., 2020). Dessa forma, recomenda-se que os hospitais em parceria com fornecedores de suprimentos farmacêuticos "usem o blockchain para controlar e rastrear medicamentos fornecidos aos hospitais visando identificar e rejeitar medicamentos falsificados" (E7). Ainda no contexto da gestão deste recurso, outras tecnologias H4.0 ajudam a otimizar os processos de armazenamento, separação e distribuição dos medicamentos. Os robôs por exemplo, podem auxiliar em todos esses processos e ainda monitorar as dosagens e a validade dos medicamentos, diminuindo os desperdícios e custos hospitalares (Pang et al., 2018). Sendo assim, aconselha-se que os hospitais "usem robotics para auxiliar na gestão de medicamentos desde o armazenamento do estoque até sua dosagem" (E30).

A gestão de recursos demanda um efetivo controle de estoque de materiais, pois a sua gestão adequada é um dos fatores fundamentais para garantir o pleno funcionamento dos processos. Tecnologias H4.0 podem fornecer soluções inteligentes para monitorar e avaliar os níveis dos estoques utilizando bancos de dados que armazenam os históricos e tendências de uso dos materiais neles contidos. Uma melhor previsão da demanda e da disponibilidade de materiais auxilia na tomada de decisão e possibilita a redução de custos (Al-Jaroodi et al., 2020). É importante que os hospitais "usem tecnologias Healthcare 4.0 nos sistemas de controle de estoque para monitorar o uso dos recursos, evitando o desperdício e escassez de materiais e aumentando sua disponibilidade" (E3).

A disponibilidade dos equipamentos hospitalares é uma grande barreira para a gestão de recursos devido sua alta demanda associada à sua disponibilidade limitada, impactando

negativamente nos atendimentos prestados e na imagem do hospital (Aceto et al., 2020). Para que o uso dos equipamentos seja otimizado, é necessário a criação de programas de manutenção preditiva. A IoT contribui neste contexto por meio da análise de dados coletados sobre os equipamentos e a partir disso ela subsidia cronogramas de manutenção preditiva com maior acurácia e precisão (Tortorella et al., 2020b). Portanto, os hospitais devem “utilizar IoT nos programas de manutenção preditiva de equipamentos hospitalares para reduzir o número de falhas que levam a reparos não programados, custos de manutenção, interrupção do serviço, e demora do atendimento, melhorando sua eficiência operacional” (E14).

A gestão de recursos também é responsável por garantir os recursos necessários para que os profissionais dos hospitais tenham saúde e segurança no ambiente de trabalho. A tecnologia de impressão 3D, por exemplo, começou a ganhar destaque no setor da saúde durante a pandemia da Covid-19 ao imprimir protetores faciais para auxiliar no suprimento deste equipamento para aos funcionários (Haleem; Javaid, 2020). Baseado nisto, aconselha-se que os hospitais "usem tecnologia de impressão 3D para produção própria ou terceirizada de equipamentos de proteção individual para os profissionais de saúde" (E33). A pandemia do COVID-19 trouxe à luz do dia várias disparidades de saúde há muito ocultas em todo o mundo.

Cabe também destacar os recursos naturais para o funcionamento dos hospitais. Tecnologias H4.0 auxiliam no uso inteligente dos recursos naturais, proporcionando que os hospitais operem de forma sustentável. Por exemplo, o uso de sensores de IoT em edifícios hospitalares contribui para ajustar a entrada de calor, proporcionando conforto térmico e reduzindo o consumo de energia elétrica (Daú et al., 2019). Sendo assim, recomenda-se que os hospitais "usem a IoT para controlar por meio de sensores a iluminação e a temperatura dos edifícios hospitalares, com melhor aproveitamento dos recursos naturais, aumento do conforto ambiental, e redução de custos" (E16).

3.5.4 Gestão do paciente

A gestão de pacientes tem o objetivo de prestar serviços de excelência focado em pessoas, proporcionando conforto, bem-estar e segurança para atender às expectativas crescentes dos pacientes (Hamad et al., 2022). Nesse sentido, H4.0 se alinha à gestão de pacientes pois ela auxilia os hospitais a oferecerem uma medicina personalizada, o que significa que os tratamentos são centrados nas pessoas e as decisões são específicas para cada paciente em vez de estratificá-los em grupos de tratamento típicos (Aceto et al., 2020). Espera-se que os hospitais ao oferecer serviços de saúde digitais melhorem a experiência do usuário e aumentem

a qualidade dos atendimentos, criando alternativas para chegar a resultados positivos nunca vistos antes (Hossain; Thakur, 2021).

A utilização do H4.0 na gestão do paciente pode melhorar o acesso aos atendimentos de pacientes. A telemedicina, como por exemplo, a teleconsulta e telecirurgia vem ajudando os hospitais a alcançarem um maior número de pacientes, expandindo as especialidades médicas aos locais distantes dos grandes centros (Gupta et al., 2019). Portanto, os hospitais devem "usar a telemedicina para aumentar o acesso dos pacientes ao tratamento e evitar deslocamentos desnecessários, possibilitando aos hospitais aumentarem sua oferta de serviços, além de diminuir a demanda por atendimentos presenciais, reduzir custos provenientes destes atendimentos e otimizar recursos" (E24).

O acesso e transparência da comunicação entre pacientes e profissionais de saúde é outro fator abordado pela gestão de paciente. Os pacientes cada vez mais estão dispostos a aprender sobre sua saúde e discutir com os profissionais da área sobre suas preocupações e expectativas. As tecnologias H4.0 possibilitam essa postura mais ativa dos pacientes, pois possibilitam uma visão partilhada entre o médico e o paciente por meio de tablets, celulares e computadores dotados de aplicativos m-health destinados a melhorar a comunicação entre eles (Li; Carayon, 2021). Para os hospitais estarem preparados para isto é importante que eles "usem m-health para aumentar a agilidade e precisão da comunicação entre pacientes e profissionais de saúde, melhorando os atendimentos" (E8).

Também é importante que a gestão do paciente trate a customização de dispositivos médicos para oferecer tratamentos mais personalizados. O uso das tecnologias H4.0 para a fabricação destes dispositivos pode colaborar com essa abordagem (Chen et al., 2020). Por exemplo, a tecnologia de impressão 3D pode ser utilizada para a fabricação customizada de dispositivos médicos de acordo com a anatomia de cada paciente, em menor tempo e de forma mais sustentável (Tasneem et al., 2023) . Sendo assim, recomenda-se que os hospitais "utilizem tecnologia de impressão 3D de forma própria ou terceirizada para confecção de placas, parafusos, implantes de cirurgias e próteses, visando proporcionar dispositivos médicos customizados aos pacientes e reduzir custos" (E32).

As tecnologias H4.0 também auxiliam os hospitais na gestão de pacientes ao aumentar a acurácia e segurança em determinados procedimentos clínicos. Neste contexto, o uso de robôs em cirurgias possibilita acessar regiões estreitas e angulosas do corpo humano com movimentos de alta precisão (Yang et al., 2020). Sendo assim, aconselha-se que os hospitais "usem robotics

para possibilitar a realização de cirurgias minimamente invasivas e mais precisas, o que contribui para recuperação mais rápida dos pacientes e diminuição do tempo de internação" (E28).

Outra aplicação do H4.0 em cirurgias é o uso de óculos de realidade aumentada em simulações cirúrgicas e em cirurgia guiada por imagem. Por exemplo, o anestesista pode monitorar os sinais vitais do paciente através dos óculos de realidade aumentada sem ter que se virar e olhar para o painel de monitoramento, podendo intervir prontamente em caso de alerta (Arpaia et al., 2021). Portanto, recomenda-se que os hospitais "usem a realidade aumentada em treinamentos e procedimentos cirúrgicos visando melhorar o atendimento aos pacientes e o nível de atenção do cirurgião" (E35).

A gestão do paciente também visa atender as normas de segurança que envolvam o paciente, principalmente nas questões relacionadas a infecção hospitalar. Para os hospitais, prevenir a infecção é imperativo e para isto eles devem primar pela limpeza de seus recursos físicos e a assepsia dos profissionais de saúde. Os sensores de IoT ambientais podem monitorar a assepsia das mãos dos profissionais de saúde por meio da emissão de um sinal sonoro sempre que a equipe se aproximar do leito do paciente sem lavar as mãos (Jayaraman et al., 2020). Sendo assim, recomenda-se que os hospitais "usem IoT para gerenciar o risco de infecção hospitalar por meio do monitoramento de assepsia das mãos dos profissionais de saúde" (E17).

A gestão de pacientes também atua na prevenção de hospitalizações, ou seja, hospitalizações que poderiam ser evitadas por meio do monitoramento constante de sinais e sintomas de pacientes portadores de doenças. O uso de dispositivos móveis como celulares, tablets, dispositivos vestíveis, e outros equipamentos sem fio conectados pela IoT possibilita o monitoramento remoto de pacientes (Sannino et al., 2019). Assim, os hospitais conseguem acompanhar e dar assistência a distância a seus pacientes e estes passam a ter mais conhecimento sobre a situação de sua saúde, podendo se tornar mais responsáveis pelo acompanhamento da própria saúde (Al-Jaroodi et al., 2020).

Portanto, aconselha-se que os hospitais "usem m-health para o monitoramento de pacientes de forma remota, agindo na prevenção de hospitalizações e assim, contribuindo para a redução dos custos hospitalares e para o aumento da eficiência na prestação de serviços" (E10) e "usem IoT para o monitoramento de dados de saúde dos pacientes, auxiliando a realização de diagnósticos antecipados e suporte ao paciente em tempo real" (E12).

3.5.5 Assistência e desenvolvimento dos profissionais de saúde

É comum na rotina dos profissionais de saúde lidar com desafios como excesso de atividades, dificuldade em administrar o tempo, necessidade de tomar decisões rápidas, recursos insuficientes de trabalho, falta de informações clínicas, dados clínicos fragmentados e não padronizados, dentre outros (Ajmera; Jain, 2019). Tecnologias H4.0 estão abrindo caminhos para que hospitais possam melhorar a assistência e desenvolvimento de seus profissionais, superar esses desafios, e tornar o trabalho mais ágil, preciso e seguro (Jayaraman et al., 2020).

A IA possibilita a análise e interpretação de grande volume de dados para predizer e tratar doenças. Além disso, IA pode identificar relações e responder a comandos com agilidade e eficiência, aumentando a capacidade dos profissionais de saúde de se antecipar na resolução de problemas clínicos à medida que conseguem visualizar tendências de padrões de doenças (Paul et al., 2021). Os dados gerados por dispositivos médicos e dispositivos móveis pessoais são processados pela IA que fornece informações úteis para os profissionais de saúde. Portanto é importante que os hospitais “usem a IA na análise de dados complexos de saúde para detectar padrões e auxiliar no diagnóstico de doenças, elaborar protocolos médicos, predizer doenças, e possibilitar a medicina personalizada" (E26).

Os robôs contribuem para fornecer segurança para os profissionais de saúde, principalmente no atendimento a doenças infecciosas e transmissíveis. A utilização dos robôs evita que esses profissionais sejam expostos aos pacientes infectados e contribui para que as informações coletadas por eles sejam enviadas diretamente para os responsáveis que se encarregaram dos próximos procedimentos (Yang et al., 2020). Com isso, aconselha-se que os hospitais "usem robotics para auxiliar profissionais de saúde na triagem do paciente com doenças altamente infecciosas para que a intervenção presencial seja minimizada" (E31). Além disso, robotics podem ajudar os profissionais de saúde em outras tarefas, permitindo que eles tenham mais tempo para se concentrar nos atendimentos (Pang et al., 2018). Desse modo, recomenda-se que os hospitais "usem robotics para auxiliar profissionais de saúde em tarefas diárias monótonas e repetitivas, como por exemplo no levantamento de pacientes acamados, e transporte autônomo de dispositivos médicos, medicamentos, amostras de laboratório, e lixeiras para minimizar o burnout destes profissionais e melhorar a agilidade do serviço prestado" (E29).

O uso de aplicativos instalados em dispositivos móveis (m-health) pode auxiliar profissionais de saúde nos atendimentos clínicos e em atividades administrativas. Por exemplo,

usando smartphones ou tablets para acessar os EHRs de pacientes, calculadoras médicas, guias de referência de medicamentos, e gerenciador de tarefas (Jayaraman et al., 2020). Sendo assim, aconselha-se que os hospitais "use m-health para assistir os profissionais de saúde no gerenciamento de informações sobre os pacientes visando otimizar o tempo de tarefas, auxiliar a tomada de decisão e diminuir erros médicos" (E9). Além disso, m-health pode contribuir para a realização de treinamentos dos profissionais de saúde, com aplicativos por exemplo, que simulam procedimentos cirúrgicos; permitem trocar informações sobre casos clínicos e compartilhar fotos e exames com outros profissionais de saúde do mundo inteiro; e acessar livros e portais de pesquisa de literatura científica (Jayaraman et al., 2020). É importante que os hospitais "usem m-health como ferramenta em treinamentos para melhorar a qualificação dos profissionais de saúde" (E11).

Outras tecnologias que também contribuem para o treinamento dos profissionais de saúde são a telemedicina e a realidade aumentada e/ou virtual. Por meio delas os hospitais podem disponibilizar a seus profissionais meios de capacitação mais interativos e didáticos para melhorar seus conhecimentos e habilidades (Arpaia et al., 2021). Portanto, aconselha-se que os hospitais "usem a telemedicina para realizar treinamentos de profissionais de saúde de forma remota, evitando seu deslocamento e proporcionando a qualificação de um maior número de profissionais" (E25) e "usem a realidade aumentada e/ou virtual para realizar simulações mais realísticas em treinamentos de procedimentos que podem ser repetidos várias vezes o quanto for necessário, a fim de capacitar os profissionais de saúde e gerar mais eficiência e qualidade no serviço prestado"(E34).

3.6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs investigar como as tecnologias H4.0 podem melhorar a gestão hospitalar. Para isso por meio do método análise de conteúdo, foram identificados na literatura científica 36 elementos impulsionadores da gestão hospitalar via H4.0 para tornar mais factível o atingimento a resposta desta questão de pesquisa. Como resultado, esses elementos foram agrupados nos seguintes drivers: Gestão de processos, Gestão de dados, Gestão de recursos, Gestão do paciente, e Assistência e desenvolvimento dos profissionais de saúde. Dessa forma, foi possível alcançar o objetivo estabelecido neste trabalho e assim, preencher a lacuna científica que indicava oportunidades para investigar a gestão de hospitais apoiada por tecnologias H4.0.

A principal contribuição teórica deste trabalho é o aprofundamento e ampliação do recente bloco de conhecimento que integra gestão hospitalar e as tecnologias H4.0. Os elementos identificados e os drivers propostos poderão subsidiar o desenvolvimento de novas pesquisas, sendo um ponto de referência para a análise e discussão de estudos empíricos. Além disso, os drivers contribuem de forma aplicada para melhorar o link entre as principais necessidades do ambiente hospitalar às tecnologias que podem atendê-las, visando tornar o serviço de saúde mais acessível e personalizado, conectado, inteligente e rentável. Dessa forma, os hospitais poderão fornecer serviços de saúde aprimorados e de maior valor agregado aos pacientes, aumentando sua eficácia e eficiência.

Estudos futuros podem investigar a aplicação das tecnologias H4.0 no auxílio à gestão da sustentabilidade ambiental, social e econômica do ambiente hospitalar. Sugere-se ainda expandir as referências incorporando outras bases de dados e a partir daí, expandir novos elementos aos drivers ou mesmo propondo novos drivers para o contínuo avanço científico desse tema.

4 PROMOVENDO A SUSTENTABILIDADE POR MEIO DAS TECNOLOGIAS HEALTHCARE 4.0

(Driving sustainability through healthcare 4.0 technologies)

Este artigo segue as normas de formatação do periódico Technological Forecasting & Social Change

Abstract

A sustentabilidade em hospitais é um elemento fundamental para sua sobrevivência no mundo de hoje e as tecnologias H4.0 são excelentes ferramentas para auxiliar implantar e aprimorar a gestão da sustentabilidade nos hospitais. A adoção das tecnologias Healthcare 4.0 (H4.0) maximizam o desenvolvimento e melhoria da Sustentabilidade Hospitalar (SH) mas apresenta dissonâncias que precisam ser superadas ou mitigadas. Por isso, este trabalho propõe diretrizes para desenvolvimento e gestão da sustentabilidade por meio das tecnologias H4.0 em hospitais. Elas foram estruturadas com base em quatro dimensões: ambiental, social, econômica e transversal, a partir dos métodos de Revisão da Literatura e Grounded Theory. A contribuição aplicada-gerencial deste trabalho é o fornecimento de base para ajudar os hospitais a potencializarem sinergias e mitigar dissonâncias entre SH e H4.0, ajudando para a tomada de decisão em relação a sustentabilidade e aumentando a capacidade de operarem de maneira mais eficiente e sustentável. Sua contribuição teórico-cientifica é o acréscimo ao estado da arte de importantes e inovadores elementos sobre a relação das tecnologias com a sustentabilidade em hospitais. Além disso, aprofunda e expande os trabalhos já realizados sobre o assunto, propiciando um ponto de referência para a análise e discussão para novos estudos, sejam eles teóricos ou empíricos. Recomenda-se como estudos futuros trabalhos para verificar o grau e a forma de utilização das tecnologias H4.0 e como elas influenciam a sustentabilidade em hospitais em diferentes contextos, como, por exemplo, em países ou blocos econômicos distintos. Sugere-se também estudos empíricos por meio de estudos qualitativos e/ou quantitativos para adensar as proposições feitas nesse estudo.

Keywords: gestão hospitalar; sinergias; dissonâncias; hospitais; sustentabilidade corporativa

4.1 INTRODUÇÃO

Há uma tendência crescente de sustentabilidade no setor de serviços, especialmente no ambiente hospitalar. Estudos recentes indicam que os hospitais estão adotando cada vez mais os princípios da sustentabilidade corporativa em suas estratégias e operações comerciais. Essa mudança reflete seu papel importante na mitigação do impacto climático e na promoção de práticas éticas e sociais, contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável e para a eficiência operacional no ambiente hospitalar (Keil, 2023).

Todavia, os gestores hospitalares enfrentam desafios significativos na gestão da sustentabilidade apesar do crescente reconhecimento da sua importância. A cultura

organizacional esbarra na dificuldade de engajar a equipe e na falta de apoio consistente da alta direção, tornando a implementação de práticas sustentáveis um processo complexo e lento. O uso de recursos, materiais e energia na assistência médica tem crescido tremendamente ao longo dos anos gerando um impacto ambiental considerável e alto custo hospitalar (Van Straten *et al.*, 2021). Destaca-se também a falta de políticas públicas para dar suporte às práticas de reutilização e reciclagem de produtos médicos; dificuldade de reduzir sua pegada de carbono, controlar a emissão de gases poluentes; a geração, tratamento e destinação de resíduos; e de gerenciar de forma mais eficiente o uso embalagens estéreis, luvas, seringas, e outros equipamentos médicos descartáveis produzidos a partir do petróleo, uma importante recurso natural não renovável (Dhriti Ashtekar *et al.*, 2024). Embora já haja iniciativas para desenvolver a sustentabilidade no setor hospitalar, ainda há uma considerável demanda de soluções para suplantar os problemas relacionados a barreiras clínicas, financeiras e culturais (Huang *et al.*, 2024).

Nesse sentido, a transformação digital por meio das tecnologias do H4.0 tem o potencial de ajudar os gestores hospitalares a desenvolverem e gerirem as dimensões ambiental, social e econômica da sustentabilidade e melhorar a eficiência e a eficácia do setor de saúde (Al-jaroodi *et al.*, 2020).

Na dimensão ambiental da sustentabilidade hospitalar, as tecnologias H4.0 contribuem, por exemplo, para o uso racional dos recursos não renováveis, mitigando o impacto sobre o meio ambiente (Daú *et al.*, 2019b).

Na dimensão social, as tecnologias H4.0 contribuem, por exemplo, para melhorar a segurança dos funcionários e pacientes e gerar mais conforto térmico, acústico e visual no ambiente hospitalar (Brambilla; Capolongo, 2019).

Na dimensão econômica, destaca-se que as tecnologias H4.0 geram maior conectividade em toda a cadeia de suprimentos hospitalar, aumentando a produtividade, receitas e margem de lucro (Duque-uribe *et al.*, 2019).

Entretanto, ao implementar as tecnologias H4.0, os hospitais podem enfrentar alguns desafios, dos quais destacam-se: problemas de segurança e privacidade de dados dos pacientes; recursos financeiros limitados, principalmente para atividades gerenciais não-técnicas; aumento da geração de resíduos eletroeletrônicos que impactam negativamente a pegada ambiental; instabilidade na equipe devido a implementação do H4.0 demandar profissionais com habilidade específicas; dentre outros desafios que prejudicam a sua adoção (Savanović *et al.*, 2023).

A integração da sustentabilidade hospitalar com as tecnologias H4.0 proporciona uma abordagem mais eficaz e abrangente para enfrentar os desafios complexos do setor de saúde. Enquanto a sustentabilidade hospitalar visa contribuir para o desenvolvimento sustentável e melhorar a eficiência operacional, as tecnologias H4.0 potencializam esses esforços ao oferecer por exemplo, soluções avançadas para o uso racional de recursos, para gestão eficiente de resíduos e para a segurança e conforto de funcionários e pacientes. Além disso, a conectividade e a automação aumentam a produtividade e a margem de lucro, ajudando a superar as barreiras financeiras frequentemente associadas à implementação de práticas sustentáveis. A integração dessas abordagens maximiza os benefícios individuais de cada uma, gerando resultados que não seriam possíveis separadamente, o que contribui para um sistema de saúde mais resiliente e sustentável (Man *et al.*, 2024).

A relação da sustentabilidade com as tecnologias H4.0 no ambiente hospitalar tem sido timidamente debatida na academia, porém algumas pesquisas sobre esta relação fornecem importantes contribuições para este artigo. Por exemplo, Kanokphanvanich et al. (2023) analisaram como as dimensões social, ambiental e econômica da sustentabilidade podem ser integradas à uma nova dimensão proposta no estudo, a dimensão tecnológica. Eles concluíram que essa junção permite impulsionar uma cadeia de suprimentos de saúde sustentável, uma vez que a utilização da tecnologia é projetada para atingir uma vantagem competitiva e promover a sustentabilidade no setor de saúde.

Rowan (2024) analisou como o uso combinado das tecnologias Gêmeos digitais e Realidade estendida podem ser utilizadas para os dispositivos médicos reutilizáveis, desde a fase de projeto até a esterilização desses produtos, com o objetivo de aumentar seu ciclo de vida e a segurança para os pacientes na prevenção de infecções. Baseado nessas tecnologias, ele propôs um fluxo de esterilização inteligente desses dispositivos, considerando as modalidades de esterilização conforme seu uso pretendido. Ugandar et al. (2023) apresentou uma visão geral sobre gestão de resíduos hospitalares usando Internet das Coisas (IoT) e Deep Learning (DL) e concluiu que a integração IoT-DL permite o monitoramento e rastreamento de resíduos em tempo real, contribuindo para a tomada de decisões e o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis para a gestão de resíduos.

Sun et al. (2023) analisaram o impacto da Telemedicina na sustentabilidade ambiental e social. Eles concluíram que essa tecnologia pode melhorar a acessibilidade aos cuidados de saúde, o que é um ganho do ponto de vista social, e reduzir a necessidade de deslocamentos para atendimentos presenciais, diminuindo assim a pegada de carbono, que é um ganho do ponto de vista ambiental.

Embora já foram publicados alguns artigos que abordam os três pilares da sustentabilidade no ambiente hospitalar, e alguns artigos tenham apresentado as tecnologias H4.0, as discussões sobre a integração dessas duas abordagens ainda carecem ser aprofundadas. Com base na exploração da literatura, foi identificado em Brown et al. (2023) que há a necessidade de trabalhos que gerem soluções para encontrar uma conjunção sinérgica entre SH e H4.0, essenciais para auxiliar os hospitais nos desafios atuais, e garantir que essas soluções digitais também sejam equitativas, eficazes e sustentáveis. Sendo assim, a seguinte questão de pesquisa norteou o desenvolvimento deste trabalho: como os hospitais podem maximizar os benefícios e mitigar os riscos ao implementar as tecnologias do H4.0 para desenvolver e gerir a sustentabilidade?

Nesse sentido, a questão de pesquisa aborda diretamente a lacuna identificada pois direciona a investigação para as principais sinergias e dissonâncias existentes nesse contexto. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor um conjunto de diretrizes para o desenvolvimento da SH por meio das tecnologias H4.0, proporcionando soluções viáveis que orientem os hospitais nesse percurso.

Após esta introdução, a Seção 4.2 apresenta uma síntese do referencial teórico sobre sustentabilidade no ambiente hospitalar e healthcare 4.0; a Seção 4.3 explana o método de pesquisa; a Seção 4.4 apresenta as sinergias e dissonâncias entre SH e H4.0; a Seção 4.5 propõe e discute as diretrizes para o desenvolvimento e gestão da SH por meio das tecnologias H4.0. Após isso, finalmente são apresentadas a conclusão e as referências.

4.2 SUSTENTABILIDADE NO AMBIENTE HOSPITALAR

A sustentabilidade corporativa é a abordagem adotada no meio empresarial por meio da Triple Bottom Line (TBL) para equilibrar seus objetivos econômicos, sociais e ambientais, visando não apenas lucro e longevidade das empresas, mas também a contribuição e bem-estar do ser humano e do planeta (Lozano et al., 2015). A gestão da sustentabilidade no ambiente hospitalar refere-se ao processo de integrar políticas e práticas que visam promover o equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental na prestação de serviços de saúde. Os benefícios gerados a partir da gestão e desenvolvimento da SH são inúmeros, dentre eles a redução do consumo de recursos naturais, minimização de resíduos e poluição, melhoria da eficiência energética e hídrica, promoção da saúde e segurança dos funcionários e pacientes, além de gerar impactos positivos no desempenho financeiro do hospital (Huang *et al.*, 2024).

A fim de viabilizar o alcance desses objetivos, os gestores hospitalares precisam considerar os princípios norteadores da SH para garantir que as atividades hospitalares sejam realizadas de maneira responsável, sustentável e ética, visando não apenas o bem-estar presente, mas também o das gerações futuras (Rodríguez *et al.*, 2021). Estes princípios foram estabelecidos por Oliveira e Oliveira (2022), são apresentados na Tabela 5 cujas colunas respectivamente representam o nome do princípio, sua descrição e as referências nas quais os autores se basearam.

Tabela 5. Princípios SH

#	Princípio	Descrição	Fontes
P1SH	Economia circular	Tem foco na circularidade, visando a minimização da extração de recursos e a otimização da sua utilização	Bocken *et al*. (2016); Chiarini *et al*. (2017); Williams and Radnor (2022); Scavarda *et al*. (2019); Oruezabala and Rico (2012); Stević *et al*. (2020); Daú *et al*. (2019); Kongar *et al*. (2015); Johnson (2010); Thiel *et al*. (2017)
P2SH	Edifícios sustentáveis	Visa a preservação ambiental, economia de recursos naturais, atendimento às necessidades dos ocupantes e diminuição de custos operacionais	Kim *et al*. (2015); Castro *et al*. (2017); Brambilla and Capolongo (2019); Balbus *et al*. (2016); Franco *et al*. (2017); Campion *et al*. (2016); Hood and Patton (2021)
P3SH	Gestão do conhecimento e cultura organizacional	Aborda a identificação, criação, armazenamento, compartilhamento, coordenação e aplicação do conhecimento relacionado às práticas sustentáveis dentro de uma organização e o conjunto de valores, crenças, normas e práticas que são adotados por uma organização para promover a sustentabilidade em todas as suas operações e decisões.	Pinzone *et al*. (2016); Jennex (2014); Cavicchi and Vagnoni, (2017); Mousa and Othman (2020); Scavarda *et al*. (2019); Cavicchi (2017); Lennox *et al*. (2018); Daú *et al*. (2019); Hussain *et al*. (2018); Khan *et al*. (2018)
P4SH	Gestão organizacional	Foca na implementação e desenvolvimento de políticas, procedimentos e práticas relacionados à sustentabilidade utilizando sistemas, métodos e ferramentas	Harris *et al*. (2017a); Harris *et al*. (2017b); Harris *et al*. (2017c); Castro *et al*. (2017); Chiarini *et al*. (2017); Morell-Santandreu *et al*. (2020); Zhu *et al*. (2018)
P5SH	Inovações tecnológicas	Utiliza tecnologias da indústria 4.0 para melhoria da sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômica no ambiente hospitalar.	Ajmera and Jain (2019); Aquino *et al*. (2018); Cavicchi and Vagnoni (2017); Daú *et al.* (2019); Moro Visconti and Morea (2019); Moro Visconti *et al*. (2019); Franco *et al.* (2017); Chauhan and Singh (2016); Marinova *et al*. (2017)

Fonte: Baseado em Oliveira e Oliveira (2022)

Esses princípios norteadores fundamentam a SH, guiam os gestores hospitalares no caminho de sua implantação, e fornecem uma estrutura consistente para a tomada de decisões

e ações dentro do hospital. Isso ajuda a manter a integridade das operações e a construir confiança entre todas as partes interessadas.

4.2.1 Healthcare 4.0

H4.0 refere-se à aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) nos serviços de saúde, visando fornecer valor agregado aos pacientes, profissionais de saúde e gestores hospitalares (Aceto *et al.*, 2020c). Aos pacientes, tecnologias H4.0 como aplicativos móveis, plataformas de telemedicina e portais online melhoram o acesso aos cuidados de saúde e facilitam a comunicação entre pacientes e profissionais de saúde. Também proporcionam aos pacientes uma experiência mais personalizada fornecendo ferramentas para auto monitorar sua saúde, possibilitando uma detecção precoce de anormalidades e um acompanhamento mais eficaz de doenças crônicas (Mishra; Singh, 2023).

Aos profissionais de saúde, algoritmos de inteligência artificial por exemplo, fornecem dados dos pacientes em tempo real e auxiliam seu diagnóstico e tratamento de forma mais rápida e precisa, adaptando os cuidados às suas necessidades individuais. A automação de processos e a integração de sistemas de saúde eletrônicos podem reduzir erros médicos, melhorar a precisão do diagnóstico e aumentar a segurança de seus pacientes durante procedimentos médicos (Savanović *et al.*, 2023). Aos gestores hospitalares, o uso de tecnologias de automação para otimização de processos melhora a eficiência operacional dos hospitais aumentando a produtividade dos profissionais de saúde, reduzindo os custos operacionais e os tempos de espera, oferecendo assim serviços de saúde com mais qualidade (Tortorella *et al.*, 2022).

As principais tecnologias H4.0 que tem o potencial de fazer uma transformação digital no ambiente hospitalar são Blockchain, Mobile Health (M-health), Internet das coisas (IoT), Cloud computing (CC), Fog computing (FC), Edge computing (EC), Big Data, Telemedicina, Inteligência artificial (IA), Healthcare Robotics, Manufatura aditiva/impressão 3D, Realidade virtual, Realidade aumentada, e Simulação (Rowan, 2024) .

A fim de viabilizar essa transformação digital de forma bem-sucedida, os gestores hospitalares precisam considerar os princípios norteadores do H4.0. Os princípios norteadores do H4.0 foram sistematizados por Oliveira e Oliveira (2024), são apresentados na Tabela 6, cujas colunas representam respectivamente o nome do princípio, sua descrição e as referências nas quais os autores se basearam. Esses princípios abordam aspectos essenciais como eficiência operacional, qualidade dos cuidados, experiência do paciente e capacitação dos profissionais

de saúde. Ao aplicar esses princípios, os hospitais podem maximizar os benefícios das tecnologias digitais para que elas auxiliem o desenvolvimento e gestão da SH.

Tabela 6. Princípios H4.0

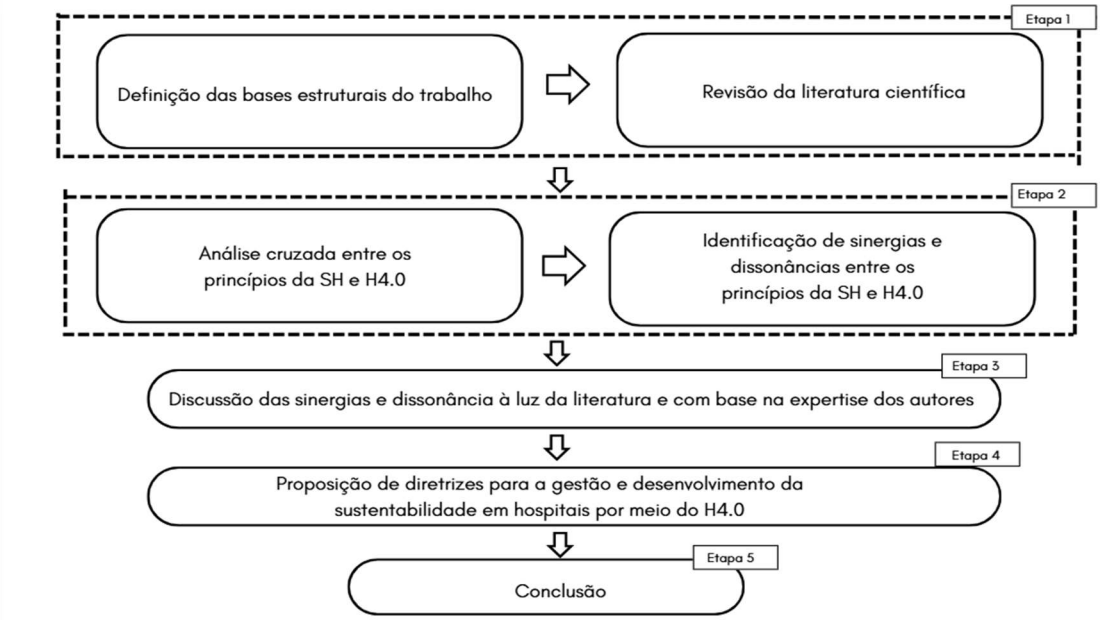
#	Princípio	Descrição	Referências
P1H4.0	Gestão de processos	Objetiva a segurança, agilidade, qualidade e produtividade de processos para a redução de custos, e aumento da satisfação e competitividade do negócio	Unterhofer *et al*. (2021); Al-Jaroodi *et al*. (2020); Kishor and Chakraborty (2022); Kumar *et al*. (2020); Chauhan and Singh (2016)
P2H4.0	Gestão de dados	Aborda o acesso, armazenamento, limpeza, integração, compartilhamento, monitoramento e preparo de dados para análises administrativas, operacionais e clínicas.	Larrucea *et al*. (2020); Aceto *et al*. (2020); Pang *et al*. (2018); Daú *et al*. (2019); Tortorella *et al*. (2022); Tortorella *et al*. (2020b); Kumari *et al*. (2018); Pace *et al*. (2019); Tanwar *et al*. (2020); Bhattacharya *et al.* (2021)
P3H4.0	Gestão de recursos	Visa o planejamento, programação e alocação de recursos (humanos, ativos, instalações etc.) para utilizá-los com melhor eficiência.	Tortorella *et al*. (2020b); Al-Jaroodi *et al*. (2020); Cavallone and Palumbo (2020); Kishor and Chakraborty (2022); Kumar *et al*. (2020); Pang *et al*. (2018); Aceto *et al.* (2020); Haleem and Javaid (2020); Daú *et al*. (2019)
P4H4.0	Gestão do paciente	Foca em pessoas, proporcionando conforto, bem-estar e segurança para atender às expectativas crescentes dos pacientes	Hamad *et al*. (2022); Aceto *et al*. (2020); Hossain and Thakur (2021); Gupta *et al*. (2019); Li and Carayon (2021); Chen *et al*. (2020); Tasneem *et al*. (2023); Yang *et al*. (2020); Arpaia *et al*. (2021); Jayaraman *et al*. (2020); Sannino *et al*. (2019); Al-Jaroodi *et al.* (2020)
P5H4.0	Assistência e desenvolvimento dos profissionais	Almeja o desenvolvimento dos profissionais de saúde para que a realização de suas atividades seja de forma mais segura, ágil, e assertiva e promova maior satisfação no trabalho, impactando positivamente na prestação dos serviços de saúde	Ajmera and Jain (2019); Jayaraman *et al*. (2020); Paul *et al*. (2021); Yang *et al.* (2020); Pang *et al*. (2018); Arpaia *et al*. (2021)

Fonte: Baseado em Oliveira e Oliveira (2024)

4.3 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho foi desenvolvido a partir dos métodos de pesquisa Revisão da Literatura e Grounded Theory. A Revisão da Literatura possibilitou mapear o estado da arte sobre SH e H4.0, o que permitiu identificar seus princípios, pontos mais relevantes e tendências (Thomé; Scavarda; Scavarda, 2016). A Grounded Theory auxiliou na identificação das sinergias e dissonâncias entre os princípios da SH e H4.0. Estes dois métodos combinados viabilizaram a criação do arcabouço teórico que embasou a proposição do conjunto de diretrizes para o desenvolvimento da SH por meio das tecnologias H4.0. A Figura 6 apresenta o fluxo metodológico do desenvolvimento deste trabalho.

Figura 6. Fluxo Metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor

A Etapa 1 englobou a definição das bases estruturais do trabalho (definição do tema, escolha da base de dados, identificação da lacuna científica, elaboração da questão de pesquisa, estabelecimento dos objetivos de pesquisa, e escolha do método científico). A definição das bases estruturais iniciou-se por meio de uma busca realizada na base de dados Scopus. Esta base foi selecionada devido ser reconhecida como a maior e mais relevante base de trabalhos interdisciplinares da literatura científica mundial na área de engenharia, gestão e tecnologia, entre outras áreas (Nunhes *et al.*, 2020).

A revisão da literatura iniciou-se com a prospecção e preparação dos documentos para análise. Foram realizadas duas buscas nessa mesma base de dados para subsidiar o referencial teórico. A primeira busca teve o objetivo de identificar trabalhos para verificar a relação entre "Sustentabilidade e Healthcare", onde utilizou-se os critérios de inclusão conforme Tabela 7.

Tabela 7. Critérios de inclusão da primeira busca

Aspectos analisados	**Critérios de inclusão**
Bases de dados	Scopus
Query de pesquisa da primeira busca	TITLE ((sustainability) OR (sustainable) OR ("corporate social responsibility") OR ("CSR") OR ("sustainable development") OR ("global report initiative") OR ("GRI") OR ("triple bottom line")) AND TITLE ((hospital) OR (healthcare) OR ("health care"))"
Período de publicação	Últimos 5 anos
Tipos de documento	Artigos e Reviews
Idioma	Inglês
Número inicial de artigos	449

Fonte: Elaborado pelo autor

A fim de mitigar os potenciais enviesamentos durante a seleção da literatura, foi feita a leitura do título, palavras-chave e resumo destes documentos. Dessa forma, foram excluídos aqueles em que a sustentabilidade em hospitais era abordada como um aspecto secundário ou que se referiam a sustentabilidade da esfera governamental de saúde, o que restou 45 papers efetivamente alinhados com esse artigo, ou seja, abordando a sustentabilidade em organizações de saúde.

A segunda busca teve o objetivo de identificar trabalhos para verificar a relação entre "Indústria 4.0 e Healthcare", onde utilizou-se os critérios de inclusão conforme Tabela 8.

Tabela 8. Critérios de inclusão da segunda busca

Aspectos analisados	**Critérios de inclusão**
Bases de dados	Scopus
Query de pesquisa da primeira busca	TITLE ((hospital) OR (healthcare) OR ("health care") OR ("health services") OR ("healthcare 4.0") OR ("health care 4.0") OR ("health 4.0") OR ("care 4.0") OR ("hospital 4.0") OR ("health services 4.0")) AND TITLE (("industry 4.0") OR ("I4.0") OR ("4.0") OR (I4) OR ("manufacturing 4.0") OR ("smart manufacturing"))
Período de publicação	Últimos 5 anos
Tipos de documento	Artigos e Reviews
Idioma	Inglês
Número inicial de artigos	71

Fonte: Elaborado pelo autor

Da mesma forma que na primeira busca, na segunda busca foi feita a leitura do título, palavras-chave e resumo dos documentos para que fossem excluídos aqueles que não tinham aderência ao objeto de pesquisa, ou seja, aqueles em que as tecnologias H4.0 eram abordadas apenas de forma especificamente técnica, e por isso não forneciam evidências para desencadear aplicações generalizáveis sobre o papel das tecnologias H4.0 na gestão hospitalar, restando 33 papers.

Os trabalhos selecionados foram minuciosamente estudados e permitiram a construção do referencial teórico sobre SH. Para o mapeamento dos princípios da SH, focou-se no estudo de Oliveira e Oliveira (2022), e para o mapeamento dos princípios do H4.0, focou-se no estudo de Oliveira e Oliveira (2024). Estes trabalhos foram utilizados porque apresentaram, com base no Método de Pesquisa "Análise de Conteúdo", uma sistematização robusta e estruturada dos princípios desses temas.

Na etapa 2, utilizou-se o método Grounded Theory para analisar minuciosamente as principais características, conceitos e funções desses princípios. Segundo Scott (2006) esse método enquadra técnicas que permitem um processo analítico de constante comparação dos

dados sem um procedimento de codificação ou categorização definido a priori. Este método coleta dados, e viabiliza sua análise, comparação e resumo, permitindo a formulação de conceitos e categorias para uma dada teoria (Wang *et al.*, 2023). Com base nesse método foi desenvolvido as seguintes subetapas:

2.1. Análise da literatura científica sobre os temas SH e H4.0 para coleta inicial de dados qualitativos observando a integridade e abrangência dos dados;

2.2. Revisão dos dados coletados para tornar mais claros os conceitos, características, e funções dos princípios da SH e H4.0;

2.3. Conforme mais dados foram coletados, comparados e revisados, foi feito um cruzamento teórico dos conceitos, características e funções desses princípios e a partir disso, foram criados códigos para representá-los;

2.4. Em seguida, conforme esses códigos apresentavam semelhanças, eles foram agrupados em categorias.

Essas categorias (nesse estudos denominadas sinergias e dissonâncias) se tornaram a base de um novo embasamento teórico. Assim, 21 sinergias e 12 dissonâncias foram identificadas. As sinergias receberam códigos de S1 a S21 e as dissonâncias receberam códigos de D1 a D12, conforme as Tabelas 9 e 10.

Na Etapa 3 essas sinergias e dissonâncias foram discutidas à luz da literatura e com base na expertise dos autores de forma a embasar a etapa 4 desse trabalho. Quando necessário, foram acrescentados outros trabalhos para embasar os conceitos e características fundamentais que deram suporte ao desenvolvimento deste estudo.

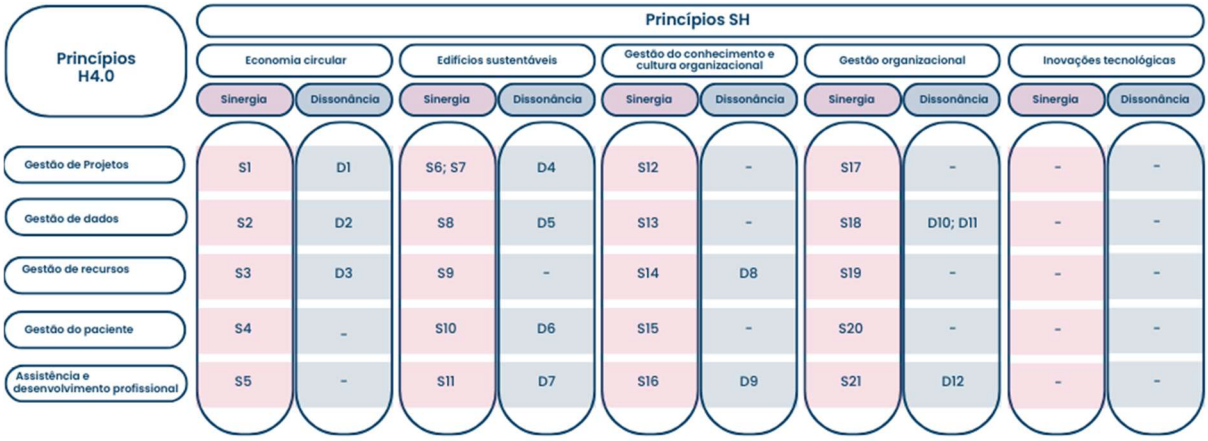
Na Etapa 4 foram propostas as diretrizes que auxiliarão no desenvolvimento e gestão da sustentabilidade em hospitais por meio das tecnologias H4.0.

Na Etapa 5 foi elaborada a conclusão respondendo à questão de pesquisa, evidenciando as contribuições científicas/teóricas e aplicadas/gerenciais deste trabalho, e sugerindo estudos futuros que expandem e adensem os resultados apresentados neste artigo.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS SINERGIAS E DISSONÂNCIAS ENTRE HEALTHCARE 4.0 E SUSTENTABILIDADE HOSPITALAR

A adoção das tecnologias H4.0 maximizam o desenvolvimento e melhoria da SH mas apresenta desafios que precisam ser superados ou mitigados. Essa maximização e os desafios são representados por sinergias e dissonâncias entre H4.0 e SH e estão esquematizados na Figura 7.

Figura 7. Matriz de cruzamento para identificação de sinergias e dissonâncias



Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: S -Sinergia / D- Dissonância

Sinergia refere-se a forças que se unem e colaboram para alcançar um objetivo específico, representando a soma do esforço de um conjunto de elementos em prol da maximização de resultados (Nuesiri, 2018). A Tabela 9 apresenta uma síntese das sinergias identificadas e em seguida essas sinergias serão explanadas. Compreender essas sinergias permite que os gestores hospitalares implementem tecnologias de forma mais estratégica, aproveitando os benefícios integrados que melhoram a eficiência operacional, a sustentabilidade e a qualidade do atendimento. Além disso é relevante porque incentiva a inovação contínua, explorando novas formas de integrar tecnologias de maneira que auxiliem a gestão da SH e beneficiem os processos hospitalares.

Tabela 9. Sinergias

Princípios do H4.0	Princípios da SH	Sinergias
Gestão de processos P1H4.0	Economia circular P1SH	S1 - Permite maior agilidade, assertividade e predição dos processos operacionais, administrativos e clínicos, o que auxilia a tomada de decisão voltada à sustentabilidade ambiental, social e econômica
Gestão de dados P2H4.0		S2 - Gera conectividade de dados para suporte a tomada de decisão, o que fortalece a relação com sua cadeia de suprimentos sustentável
Gestão de recursos P3H4.0		S3 - Promove a redução de desperdícios e a otimização de recursos, o que promove a circularidade
Gestão do paciente P4H4.0		S4 - Diminui a necessidade de deslocamentos, o que mitiga a emissão de gases de efeito estufa
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		S5 - Aperfeiçoa o desenvolvimento profissional, o que melhora o atendimento, diminui o tempo de hospitalização e consequentemente diminui a utilização de recursos
Gestão de processos P1H4.0	Edifícios sustentáveis P2SH	S6 - Aumenta a eficiência energética e hídrica S7 - Aumenta a eficiência do gerenciamento de resíduos
Gestão de dados P2H4.0		S8 - Gera maior conectividade de dados, colaborando na criação de estratégias sustentáveis para operação e manutenção dos edifícios hospitalares

Gestão de recursos P3H4.0		S9 - Controla a iluminação, temperatura e ventilação dos edifícios hospitalares, com melhor aproveitamento dos recursos naturais, aumento do conforto ambiental, e redução de custos
Gestão do paciente P4H4.0		S10 - Melhora a qualidade do ar interno e o conforto térmico, acústico e visual, contribuindo para o bem-estar dos pacientes o que reflete na sustentabilidade social
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		S11 - Melhora a qualidade do ar interno e o conforto térmico, acústico e visual, contribuindo para o bem-estar dos funcionários do hospitais o que reflete na sustentabilidade social
Gestão de processos P1H4.0	Gestão do conhecimento e cultura organizacional P3SH	S12 - Melhora a captura, organização, armazenamento e compartilhamento de informações para a gestão do conhecimento o que auxilia a tomada de decisão na gestão de processos mais sustentáveis
Gestão de dados P2H4.0		S13 - Permite coleta, análise, armazenamento e compartilhamento de um grande volume de dados para potencializar a gestão do conhecimento e direcionar a cultura organizacional para tornar os hospitais mais verdes, rentáveis e socialmente responsáveis
Gestão de recursos P3H4.0		S14 - Melhora a capacidade de utilizar o conhecimento organizacional hospitalar e moldar a cultura organizacional para a otimização de recursos
Gestão do paciente P4H4.0		S15 - Dissemina a cultura da sustentabilidade, sensibilizando os pacientes e seus acompanhantes quanto à menor geração de resíduos e ao uso racional de água e energia durante sua estadia no hospital.
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		S16 - Promove o compartilhamento do conhecimento e experiências sobre sustentabilidade
Gestão de processos P1H4.0	Gestão organizacional P4SH	S17 - Auxilia na identificação de padrões e tendências que ocorrem nos processos operacionais, administrativos e clínicos e a partir daí embasa a gestão organizacional para a tomada de decisão em relação a sustentabilidade do hospital
Gestão de dados P2H4.0		S18 - Aumenta a capacidade dos gestores hospitalares de coletarem, analisarem e utilizarem dados de forma inteligente, permitindo que desenvolvam políticas, procedimentos organizacionais e práticas voltadas à sustentabilidade de maneira mais eficiente e eficaz no ambiente hospitalar
Gestão de recursos P3H4.0		S19 - Permite uma compreensão mais precisa dos padrões de uso e ineficiências do consumo de energia, água, materiais e outros indicadores relacionados às operações hospitalares, facilitando a identificação de áreas onde melhorias sustentáveis podem ser aplicadas
Gestão do paciente P4H4.0		S20 - Possibilita a predição da demanda e o planejamento da capacidade hospitalar, melhorando a satisfação do paciente e promovendo a sustentabilidade por meio da alocação mais eficaz dos recursos
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		S21 - Amplifica os resultados de programas de educação e conscientização sobre práticas ambientais sustentáveis no ambiente hospitalar
Gestão de processos P1H4.0	Inovações tecnológicas P5SH	Não há sinergias devido a sobreposição de abordagens
Gestão de dados P2H4.0		
Gestão de recursos P3H4.0		
Gestão do paciente P4H4.0		
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		

Fonte: Elaborado pelo autor

As tecnologias H4.0 têm a capacidade de impulsionar a adoção da Economia circular nos hospitais (P1SH), ou seja, tecnologias H4.0 aplicadas à gestão de processos (P1H4.0),

gestão de dados (P2H4.0), gestão de recursos (P3H4.0), gestão do paciente (P4H4.0), e assistência e desenvolvimento profissional (P5H4.0), geram sinergias que impactam positivamente na sustentabilidade. Por exemplo, por meio da implementação de automação, digitalização e integração de sistemas inteligentes é possível otimizar o uso de recursos e aprimorar o gerenciamento dos resíduos hospitalares, reduzindo desperdícios e favorecendo a reutilização e reciclagem apropriadas (Chauhan *et al.*, 2021). A aplicação da inteligência artificial possibilita a previsão da demanda mais precisa, evitando compras excessivas e minimizando os impactos ambientais (Al-Jaroodi *et al.*, 2020). Isto se alinha à economia circular, pois ajuda a maximizar a eficiência dos recursos e minimizar o desperdício, criando um ciclo mais sustentável de produção, consumo e reutilização (Bocken *et al.*, 2016). O uso da manufatura aditiva para personalização de produtos médicos gera menores emissões de carbono, menos desperdício de material, e aumento da eficiência operacional (Ahmed *et al.*, 2021). Operar de maneira mais eficiente significa utilizar menos recursos naturais, produzir menos resíduos e assim promover a economia circular (YANG *et al.*, 2020).

Nesse mesmo sentido, as tecnologias H4.0 auxiliam a projeção, operação e manutenção dos Edifícios sustentáveis (P2SH) criando sinergias que potencializam o desenvolvimento da sustentabilidade durante essas etapas. Tecnologias H4.0 aplicadas à gestão de processos (P1H4.0), gestão de dados (P2H4.0), gestão de recursos (P3H4.0), gestão do paciente (P4H4.0), e assistência e desenvolvimento profissional (P5H4.0), tornam a operação dos edifícios hospitalares mais assertiva, eficiente, inteligente e sustentável, impactando na diminuição dos custos de operação. Por exemplo, por meio da Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA) é possível monitorar e controlar de maneira eficiente o consumo de recursos como eletricidade e água. A IoT permite a coleta de dados em tempo real, identificando áreas de alto consumo e oportunidades de economia. A IA facilita a otimização dos sistemas de climatização e iluminação, adaptando a temperatura e luminosidade conforme a necessidade, melhorando a eficiência energética e o conforto para pacientes e profissionais (Daú *et al.*, 2019b; Savanović *et al.*, 2023). Com essas tecnologias avançadas, os hospitais podem reduzir seu impacto ambiental e melhorar a sustentabilidade social e econômica.

As tecnologias H4.0 também têm o potencial de transformar significativamente a forma como os hospitais utilizam o conhecimento e direcionam a cultura organizacional (P3SH) para melhorar sua sustentabilidade. Tecnologias H4.0 aplicadas à gestão de processos (P1H4.0), gestão de dados (P2H4.0), gestão de recursos (P3H4.0), gestão do paciente (P4H4.0), e assistência e desenvolvimento profissional (P5H4.0), potencializam a geração, o armazenamento e o compartilhamento do conhecimento organizacional e o aprimoramento da

cultura, possibilitando aos hospitais buscarem soluções mais sustentáveis e mais adaptáveis às mudanças constantes do mercado. Por exemplo, IoT, Big data e Cloud computing possibilitam a coleta, análise, armazenamento e compartilhamento de dados advindos de vários setores hospitalares (Aceto *et al.*, 2020c). Isto permite gerar um volume de conhecimento que pode ser aplicado para embasar estratégias e direcionar a cultura organizacional para tornar os hospitais mais verdes, rentáveis e socialmente responsáveis.

As tecnologias H4.0 oferecem oportunidades significativas para a Gestão organizacional (P4SH). Tecnologias H4.0 aplicadas à gestão de processos (P1H4.0), gestão de dados (P2H4.0), gestão de recursos (P3H4.0), gestão do paciente (P4H4.0), e assistência e desenvolvimento profissional (P5H4.0), viabilizam a gestão hospitalar mais sustentável e promove o equilíbrio entre eficácia operacional, bem-estar social e preservação ambiental. IoT, IA e Big data, por exemplo, auxiliam os gestores hospitalares na avaliação de procedimentos operacionais, revisão das operações e predição de necessidades futuras por meio de técnicas analíticas dos dados coletados (Ajmera; Jain, 2019). A partir disso são gerados insights valiosos para a gestão hospitalar desenvolver políticas, procedimentos e práticas com foco na sustentabilidade.

O princípio Inovações tecnológicas (P5SH), conforme já explanado no campo "descrição" da Tabela 5, tem uma abordagem muito próxima ao tema Healthcare 4.0 e contemplam praticamente os mesmos elementos. Devido a sobreposição de abordagens, não é possível relacioná-los para gerar sinergias, uma vez que já estão tratando de aspectos semelhantes da transformação digital no contexto hospitalar e de saúde em geral.

A adoção conjunta dos princípios H4.0 e SH também apresenta dissonâncias, gerando portanto a falta de harmonia ou a discordância no atingimento de alguns objetivos da SH (Brown *et al.*, 2023). Embora o H4.0 tenha o potencial de contribuir para a SH em muitos aspectos e melhorar a assistência médica do paciente, é crucial avaliar cuidadosamente seus impactos e implementar estratégias de mitigação para garantir o desenvolvimento sustentável no setor de saúde (Tarpani; Gallego-Schmid, 2024).

A Tabela 10 apresenta uma síntese das dissonâncias identificadas e em seguida elas serão explanadas. A análise dessas dissonâncias fornece insights para um planejamento mais cuidadoso da implementação das tecnologias H4.0, possibilitando aos hospitais prevenirem possíveis falhas ou cenários indesejados que possam ocorrer, e partir disso criar estratégias para enfrentá-los.

Tabela 10. Dissonâncias

Princípios do H4.0	Princípios da SH	Dissonâncias
Gestão de processos P1H4.0	Economia circular P1SH	D1 - Aumento de resíduos eletrônicos ocasionado pela constante substituição de equipamentos devido a rápida evolução das tecnologias H4.0 utilizadas nos processos hospitalares
Gestão de dados P2H4.0		D2 - Aumento significativo do consumo de energia demandado pela necessidade de infraestrutura tecnológica com maior capacidade
Gestão de recursos P3H4.0		D3 - Aumento da extração de recursos naturais e uso de plásticos para produção de dispositivos médicos avançados, com risco de escassez dos recursos naturais no futuro
Gestão do paciente P4H4.0		Não foram identificadas dissonâncias
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		Não foram identificadas dissonâncias
Gestão de processos P1H4.0	Edifícios sustentáveis P2SH	D4 - Necessidade de alto investimento financeiro para implementação de tecnologias H4.0 nos processos de operação e manutenção dos edifícios hospitalares, com custos de aquisição, treinamentos, e integração de sistemas, impactando na sustentabilidade econômica
Gestão de dados P2H4.0		D5 - Necessidade de reforma para adaptação dos prédios hospitalares para instalação de novas tecnologias para a gestão de grande volume de dados, gerando resíduos e demandando maior consumo de material de construção, água e energia
Gestão de recursos P3H4.0		Não foram identificadas dissonâncias
Gestão do paciente P4H4.0		D6 - Geração de ruído e interferências com outros dispositivos, o que prejudica a segurança e conforto dos pacientes e acompanhantes, impactando negativamente na sustentabilidade social e afetando a imagem do hospital perante a comunidade
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		D7 - Geração de ruído e interferências com outros dispositivos pode prejudicar a concentração e gerar stress nos profissionais, refletindo negativamente no atendimento aos pacientes, impactando a sustentabilidade social
Gestão de processos P1H4.0	Gestão do conhecimento e cultura organizacional P3SH	Não foram identificadas dissonâncias
Gestão de dados P2H4.0		Não foram identificadas dissonâncias
Gestão de recursos P3H4.0		D8 - Perda do conhecimento tácito ou aumento da fragilidade na sua transmissão devido a implementação do H4.0 demandar reestruturação do quadro de recursos humanos do hospital como redesenho de funções, realocação, requalificação, substituição e possíveis reduções de pessoal. Pessoas inseguras podem cometer erros e gerar retrabalhos, o que pode prejudicar a sustentabilidade social e econômica dos hospitais
Gestão do paciente P4H4.0		Não foram identificadas dissonâncias
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		D9 - Instabilidade na equipe devido a implementação do H4.0 demandar profissionais com habilidade específicas e/ou gerar rotatividade de pessoal. Se a implementação das tecnologias H4.0 não for bem gerenciada, poderá criar prejuízos ao aprendizado contínuo e amadurecimento da cultura organizacional, e gerar desigualdades no acesso ao aprendizado, afetando negativamente a sustentabilidade social do hospital
Gestão de processos P1H4.0	Gestão organizacional P4SH	Não foram identificadas dissonâncias
Gestão de dados P2H4.0		D10 - Dificuldade de monitoramento de dados em tempo real para análises clínicas quando houver falhas nos sistemas vinculados ao H4.0. Isso pode afetar o atendimento ao paciente e a sustentabilidade social dos hospitais
		D11- Falhas de segurança cibernética podem acarretar vazamento de dados pessoais dos pacientes. Esses dados podem ser usados para fraudes onde os hospitais podem ser responsabilizados, impactando diretamente em sua sustentabilidade econômica.

Gestão de recursos P3H4.0		Não foram identificadas dissonâncias
Gestão do paciente P4H4.0		Não foram identificadas dissonâncias
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		D12 - Resistência por parte dos funcionários que se sentem inseguros em relação às mudanças geralmente ocasionadas pelo H4.0, pois temem sua substituição por alguém mais capacitado no uso dessas tecnologias. Isso pode diminuir o engajamento para a realização de suas atividades técnicas e o desenvolvimento de práticas sustentáveis
Gestão de processos P1H4.0	Inovações tecnológicas P5SH	Não há dissonâncias devido a sobreposição de abordagens
Gestão de dados P2H4.0		
Gestão de recursos P3H4.0		
Gestão do paciente P4H4.0		
Assistência e desenvolvimento profissional P5H4.0		

Fonte: Elaborado pelo autor

A adoção da Economia circular pelos hospitais pode ser prejudicada pela rápida evolução das tecnologias H4.0, o que leva ao descarte prematuro de equipamentos e gera um aumento no volume de resíduos eletrônicos. Isso vai contra ao conceito da economia circular que busca prolongar a vida útil dos produtos e minimizar resíduos. A adoção das tecnologias H4.0 envolve o processamento de uma grande quantidade de dados, o que requer a utilização de equipamentos novos e mais potentes. Isso, por sua vez, resulta em um aumento na utilização de recursos naturais, como matérias-primas e outros elementos. Isso se contrapõe aos princípios fundamentais da economia circular, que busca otimizar o uso desses recursos (Ogunseitan, 2022).

A utilização das tecnologias H4.0 envolve a interconexão de equipamentos e sistemas através da IoT e da automação avançada. Isso permite uma maior coleta e troca de dados em tempo real, o que por sua vez resulta em uma maior capacidade de análise e tomada de decisões baseadas em dados. No entanto, essa integração e análise de dados demandam poder de processamento e transmissão, o que requer aumento do consumo de energia para alimentar e resfriar os dispositivos eletrônicos envolvidos (Bawaneh *et al.*, 2019). Esse panorama gera uma contraposição entre a busca pela resiliência digital e alta dependência dessas tecnologias no alto consumo de energia (Yin *et al.*, 2018).

A utilização das tecnologias H4.0 para projeção, operação e manutenção dos edifícios sustentáveis também se defronta com complexidades multifacetadas, representando um desafio para os gestores e acionistas, como necessidade de investimentos significativos em

infraestrutura, equipamentos e treinamentos, especialmente em um contexto de orçamentos limitados (Vassolo et al., 2021). Além dos desafios financeiros, outras dissonâncias podem ocorrer. A geração de resíduos provenientes da necessidade de adaptações da infraestrutura para instalar essas novas tecnologias torna-se contraproducente às metas sustentáveis que devem ser estabelecidas pois os materiais descartados, muitos dos quais potencialmente poluentes ou não recicláveis, contribuem para o aumento da pegada ambiental (Practice Greenhealth, 2023).

A inserção de tecnologias H4.0 também pode levar o aumento inerente do consumo de água e energia dos edifícios hospitalares devido a fatores como a necessidade de sistemas de refrigeração mais robustos para equipamentos avançados, além do uso expandido de dispositivos eletrônicos interconectados (Al-jaroodi *et al.*, 2020). Esses requisitos adicionais podem sobrecarregar os recursos hídricos e energéticos dos edifícios hospitalares, muitas vezes entrando em conflito com os esforços de conservação e eficiência energética, que são fundamentais para a sustentabilidade.

Outra dissonância a ser considerada refere-se a eventual ruído excessivo e interferências eletromagnéticas causadas pelas tecnologias H4.0. Equipamentos médicos como monitores cardíacos, aparelhos de ressonância magnética e outros dispositivos sensíveis podem ser afetados por campos eletromagnéticos gerados por dispositivos conectados à IoT e redes sem fio, criando um ambiente desfavorável que afeta negativamente o conforto dos pacientes, a concentração dos profissionais e a qualidade do atendimento (Gutiérrez *et al.*, 2014). Essas consequências se contrapõem à sustentabilidade social, que busca promover o bem-estar dos pacientes, funcionários e a imagem geral do hospital na comunidade.

A forma como os hospitais utilizam o conhecimento e direcionam a cultura organizacional para melhorar sua sustentabilidade também pode ser prejudicada (dissonância) pela implementação das tecnologias H4.0. Interrupções no fluxo de informações decorrentes de falhas nos sistemas e tecnologias H4.0 prejudicam a gestão do conhecimento na operação contínua dos processos hospitalares sustentáveis (Kim *et al.*, 2017). As tecnologias H4.0 demandam profissionais com conhecimentos específicos em tecnologia da informação, análise de dados, inteligência artificial e robótica. Isso pode criar uma lacuna de habilidades, onde muitos profissionais podem não estar preparados para as demandas do novo ambiente de trabalho, resultando em necessidade de reestruturação das equipes, realocações de pessoal, redesenho de funções e possíveis reduções de pessoal (Kotzias *et al.*, 2023). Por sua vez, essas necessidades geram um ambiente de incertezas, levando à erros e retrabalhos que afetam a eficiência operacional e colocam em risco a viabilidade econômica do hospital.

A implementação das tecnologias H4.0 nos hospitais também resulta em algumas dissonâncias para a gestão organizacional avançar em direção à sustentabilidade. Tais dissonâncias incluem, por exemplo, dificuldade no monitoramento de dados do paciente em tempo real quando houver falhas nos sistemas vinculados à H4.0. Os dados advindos deste monitoramento em tempo real são relevantes para análises clínicas que impactam na sustentabilidade social (Kim *et al.*, 2017).

Outra dissonância está relacionada aos desafios que a gestão organizacional deve superar em relação à resistência dos funcionários que temem ser substituídos por colegas com mais habilidades nessas tecnologias (Li, 2021). Isso pode diminuir o engajamento para a realização de suas atividades técnicas e desenvolvimento de práticas sustentáveis.

A identificação das sinergias e dissonâncias é um fator fundamental a partir da análise cruzada dos princípios H4.0 com os princípios da SH. Essa identificação somada a experiência dos autores, subsidiará a proposição de um conjunto de diretrizes que auxiliarão os hospitais e seus gestores na captura de todo potencial decorrente dessa análise cruzada.

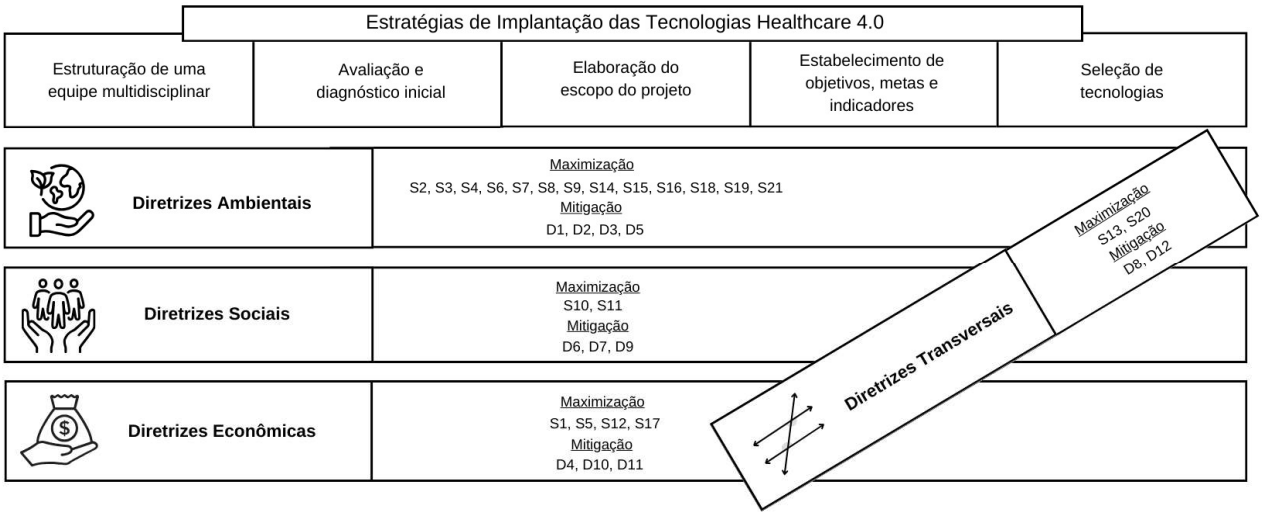
4.5. DIRETRIZES TEÓRICAS PARA O DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DA SH COM BASE NAS SINERGIAS E DISSONÂNCIAS ENTRE OS PRINCÍPIOS DA SH E H4.0

A aplicação das tecnologias H4.0 já vem modificando a realidade e trazendo expectativas promissoras para os hospitais, mas para que os resultados sejam efetivos, é importante que seus gestores tenham uma visão estratégica e contem com uma equipe multidisciplinar capacitada em tecnologias inovadoras. Neste contexto, as diretrizes propostas nessa seção sugerem iniciativas para hospitais que objetivam desenvolver e gerir de forma estruturada a sustentabilidade com o auxílio das tecnologias H4.0.

As diretrizes que compõem o framework se alinham com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) ao estabelecer iniciativas que promovem práticas responsáveis e inovadoras dentro do setor de saúde. No âmbito do ODS 3 (Saúde e bem-estar), elas incentivam a melhoria da qualidade e acessibilidade dos serviços de saúde, objetivando maior eficiência no atendimento e segurança dos pacientes. Em relação ao ODS 9 (Inovação e infraestrutura), as diretrizes impulsionam a adoção de tecnologias emergentes e a modernização da infraestrutura hospitalar, tornando-a mais resiliente e eficiente. No ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), promovem a gestão sustentável de insumos e equipamentos médicos, reduzindo desperdícios e incentivando práticas de economia circular. Por fim, no ODS 13 (Ação climática), contribuem para a redução da pegada de carbono do setor, incentivando o uso de

energias renováveis, a eficiência energética e a adoção de soluções ambientalmente responsáveis. O framework dessas diretrizes é visualizado na Figura 8.

Figura 8. Diretrizes teóricas para o desenvolvimento e gestão da SH com base nas sinergias e dissonâncias entre os princípios da SH e H4.0



Fonte: Elaborado pelo autor

Primeiramente é essencial que os gestores hospitalares planejem as estratégias de implantação das tecnologias H4.0 no ambiente hospitalar. A estruturação de uma equipe multidisciplinar composta por profissionais de TI, engenheiros, profissionais do corpo clínico, administrativo e operacional, além de outros stakeholders relevantes será útil para conduzir essa fase de implantação. Essa equipe deve realizar uma avaliação e diagnóstico inicial a partir do mapeamento das operações do hospital para identificar as principais áreas que teriam ganhos com a implantação das tecnologias H4.0 (Tortorella *et al.*, 2022). Os hospitais devem elaborar um plano detalhado que inclua o escopo do projeto, os recursos necessários, prazos e responsabilidades, considerando fatores como infraestrutura existente, compatibilidade de sistemas e necessidade de integração. Também é necessário o estabelecimento de objetivos, metas e indicadores para avaliar os resultados alcançados por meio da utilização dessas tecnologias. Ainda nessa fase de planejamento da implantação, a falta de planejamento para a aquisição de tecnologias do H4.0 sem considerar as necessidades reais da instituição e dos pacientes, pode levar à subutilização de recursos, obsolescência precoce e investimentos desnecessários. Por isso, é fundamental que os hospitais selecionem as tecnologias H4.0 por meio de uma criteriosa e minuciosa análise, buscando alinhar essas tecnologias às necessidades e metas ambientais, sociais e econômicas do hospital (Tortorella *et al.*, 2020b).

4.5.1 Diretrizes para desenvolvimento e gestão da dimensão ambiental da sustentabilidade com suporte do H4.0 em hospitais

Diretrizes relacionadas à dimensão ambiental da sustentabilidade referem-se à proposição de ações com o auxílio das tecnologias H4.0 para a maximização das sinergias S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9, S14, S15, S16, S18, S19, e S21 e para mitigação das dissonâncias D1, D2, D3, D5.

Para operacionalizar essas diretrizes e alcançar resultados mais efetivos na dimensão ambiental é importante que os gestores hospitalares considerem tecnologias mais duráveis ou que sejam compostas por materiais passíveis de reciclagem (Park et al., 2024). Outro ponto é a opção por tecnologias que oferecem atualizações de softwares no local ou remotas, em vez de terem de comprar novos equipamentos. Muitas empresas que fornecem essas tecnologias oferecem aos hospitais as mais recentes atualizações nos sistemas para auxiliar, por exemplo, no fluxo de trabalho, gerenciamento de dose, recursos clínicos e qualidade de imagem. Isso oferece aos hospitais aquisição de tecnologias com maior vida útil, e, portanto, menor impacto ambiental (D3) (Philips, 2022). Também é desejável que as tecnologias possibilitem uma boa eficiência energética e/ou utilizem fontes de energia renovável para mitigar o aumento no consumo de energia, de forma a minimizar os impactos ambientais e buscar a sinergia entre demanda e pegada ambiental (D2 e S6) (Pandey *et al.*, 2023). Nesse contexto, há oportunidade de melhoria com a utilização da IA que pode ser aplicada para prever padrões de consumo, otimizando o uso de energia com base em dados históricos. É importante que os hospitais planejem a adaptação de seus prédios para essas novas tecnologias. Isso pode ser feito por meio da avaliação abrangente da infraestrutura existente para determinar as necessidades de atualização e adaptação (D5) (García-Sanz-Calcedo; Gómez-Chaparro, 2017). É necessário garantir que a infraestrutura do hospital esteja pronta para essas novas tecnologias, o que envolve a reforma para adaptação dos prédios, upgrades de rede, implementação de servidores mais robustos e instalação de sensores (S9) (Li; Carayon, 2021).

Após a adaptação da infraestrutura predial, deve-se instalar e integrar as tecnologias selecionadas, a fim de garantir a interoperabilidade com os sistemas existentes. Apesar deste cuidado, é possível haver interrupção do fluxo da informação devido a falhas dos sistemas automatizados (Al-Jaroodi *et al.*, 2020). É importante que os hospitais implementem sistemas de backup robustos para garantir a continuidade das operações em caso desse tipo de falha; estabeleçam procedimentos de monitoramento constante para detectar problemas antes que causem interrupções significativas; incorporem protocolos de resposta a falhas; contratem

empresas de tecnologia especializadas em saúde para implementar soluções de alta tecnologia adaptada à realidade de hospitais; e priorizem soluções modulares e escaláveis para permitir futuras expansões (S8).

Com as tecnologias em funcionamento, são gerados dados que devem ser analisados pelos gestores hospitalares para inúmeras tomadas de decisão e desenvolvimento de protocolos e procedimentos que incorporem as melhores práticas de sustentabilidade ambiental (Vassolo et al., 2021). Por exemplo, o Big Data permite que hospitais emitam relatórios gerenciais voltados para a sustentabilidade ambiental, analisando consumo de recursos naturais (água, energia e gases medicinais), gestão de resíduos (quantidade e descarte correto), pegada de carbono (emissões de CO_2), uso de materiais sustentáveis (biodegradáveis e recicláveis) e eficiência energética (uso de fontes renováveis). Esses relatórios ajudam na identificação de desperdícios, otimização de processos e implementação de práticas sustentáveis, reduzindo custos operacionais e garantindo conformidade com normas ambientais. Os hospitais devem garantir que os sistemas de informações de saúde (HIS- Hospital Information System) estejam bem integrados para fornecer acesso preciso a esses relatórios (S2).

O monitoramento dos resultados pode ser feito por meio de tecnologias H4.0 que analisam e controlam dados, acompanhando o desempenho e identificando oportunidades de melhoria. Ao identificar problemas ou oportunidades de melhoria, deve-se fazer os ajustes necessários tanto nos equipamentos quanto nos processos sejam eles clínicos, administrativos ou operacionais para potencializar os resultados ambientais e assim garantir o sucesso a longo prazo no desenvolvimento da sustentabilidade em hospitais (S3 e S19) (Haleem; Javaid, 2020). As tecnologias H4.0 estão sempre evoluindo e se tornando obsoletas rapidamente, portanto, é de fundamental importância implementar estratégias de gestão de resíduos eletrônicos mais eficientes e realizar a revisão e atualização regularmente dessas tecnologias (D1 e S7) (Dhir *et al.*, 2021).

A sensibilização de todos os stakeholders envolvidos (acionistas, funcionários, pacientes e acompanhantes) sobre a importância e os resultados das tecnologias H4.0 é outro importante ponto a ser operacionalizado para o desenvolvimento e gestão da sustentabilidade ambiental em hospitais (Sony *et al.*, 2023). Em relação aos acionistas, é fundamental que os hospitais os mantenham informados sobre os progressos, sucessos e desafios; realize reuniões para garantir que eles estejam alinhados às estratégias, o que permite construir a confiança e promover a cultura da sustentabilidade ambiental do hospital (S18) (Vassolo et al., 2021). Em relação aos funcionários, é comum haver resistência às mudanças acarretadas pela implantação de novas tecnologias, gerando conflitos e acarretando ausência de engajamento

em suas atividades profissionais e práticas de sustentabilidade ambiental. Por isto promova programas educacionais e de sensibilização direcionados a toda a equipe hospitalar, enfatizando a importância da dimensão ambiental e a contribuição das tecnologias H4.0 nesse escopo (S14, S16, e S21) (Tortorella *et al.*, 2022). Em relação a pacientes e acompanhantes, é muito importante que também estejam incluídos no processo de desenvolvimento da sustentabilidade ambiental para que eles não sejam apenas passivos nesse processo, mas engajados a tal ponto, de darem sua contribuição de forma ativa fazendo o uso racional de água e energia e sempre que possível optar por atendimentos virtuais para mitigação dos gases de efeito estufa causados por deslocamentos para a realização de atendimentos presenciais (S4 e S15) (Mashallahi *et al.*, 2022).

Portanto, as diretrizes supracitadas referem-se à proposição de ações para o uso eficiente de recursos, redução de desperdícios, minimização de deslocamentos, mitigação de emissões de gases de efeito estufa, aprimoramento na gestão de resíduos, e fomento à educação sobre práticas verdes, respondendo, portanto, a questão de questão de pesquisa "como os hospitais podem maximizar os benefícios e mitigar os riscos ao implementar as tecnologias do H4.0 para desenvolver e gerir a sustentabilidade" na sua dimensão ambiental.

4.5.2 Diretrizes para desenvolvimento e gestão da dimensão social da sustentabilidade com suporte do H4.0 em hospitais

Diretrizes relacionadas à dimensão social da sustentabilidade referem-se à proposição de ações com o auxílio das tecnologias H4.0 para a maximização das sinergias S10 e S11 e para mitigação das dissonâncias D6, D7, e D9. A dimensão social está relacionada a como gerenciar o hospital de maneira a criar um impacto social positivo de forma contínua e sistêmica. Isso envolve considerar esses impactos ao longo do ciclo de vida dos seus serviços, e a gestão das condições de trabalho dos funcionários visando melhorar a segurança e gerar mais conforto tanto físico como mental (Ejsmont *et al.*, 2020).

Para operacionalizar essas diretrizes da dimensão social da sustentabilidade é fundamental que os gestores hospitalares priorizem o fornecimento de condições de trabalho seguras e saudáveis, oportunidades de desenvolvimento profissional, promoção da diversidade e inclusão para seus funcionários (Stević *et al.*, 2020). Recomenda-se que os gestores hospitalares considerem as seguintes iniciativas: invistam em tecnologias para melhorar as condições de trabalho insalubres existentes em alguns setores do hospital, ou seja, as que apresentam riscos à saúde e à segurança dos funcionários; e promovam treinamentos para

capacitação da utilização das tecnologias H4.0, visando inclusão e oportunidades de desenvolvimento profissional na operacionalização dessas tecnologias.

As condições de trabalho insalubres englobam a exposição a uma variedade de patógenos, como vírus, bactérias e fungos, com risco de infecções; áreas com temperatura inapropriada; ambientes ruidosos; situações que envolvem riscos ergonômicos, carga excessiva de trabalho; e outros elementos que possam comprometer o bem-estar dos funcionários (Mousa; Othman, 2020).

Para colaborar com a melhoria de algumas dessas condições insalubres os gestores hospitalares devem desenvolver protocolos de prevenção de infecções e utilizar a Internet das Coisas por meio de sensores e dispositivos que podem monitorar e alertar sobre a higienização de mãos, a limpeza de equipamentos médicos e a qualidade do ar, contribuindo para a prevenção de infecções hospitalares (Moro Visconti; Morea, 2019). Além disso, os gestores devem considerar a gestão inteligente de ambientes com o auxílio de sistemas de automação para monitorar e ajustar as condições prediais como temperatura, umidade, e iluminação criando um ambiente de trabalho mais confortável e promovendo o bem-estar físico e emocional tanto dos profissionais de saúde como dos pacientes e acompanhantes, pois hospitais são locais de cuidado e cura, onde a preocupação com o bem-estar social é crucial (S10 e S11) (Brambilla; Capolongo, 2019).

Da mesma forma, os hospitais também devem adotar medidas de eliminação do ruído excessivo e interferências eletromagnética. Para isso, os hospitais devem realizar testes de compatibilidade eletromagnética para garantir que os dispositivos cumpram os padrões e não causem interferências prejudiciais. Além disso, projetos de instalação e configuração das tecnologias H4.0 adequados podem ajudar a minimizar as chances de interferência (D6 e D7) (Serkov et al., 2020).

Outro ponto importante no desenvolvimento da dimensão social da sustentabilidade em hospitais é a possível resistência à mudança sentida pela equipe quando a implementação das tecnologias do H4.0 não for bem gerenciada. Isso ocorre porque utilizar essas tecnologias demanda profissionais com habilidade específicas e evidencia as desigualdades no acesso ao aprendizado e no desenvolvimento de habilidades, podendo aumentar a rotatividade de pessoal e criar prejuízos ao amadurecimento da cultura organizacional. A inclusão e promoção de oportunidades de desenvolvimento profissional para a operacionalização das tecnologias H4.0 é uma forma de melhorar as desigualdades no acesso ao aprendizado, sendo, portanto, uma ação fortemente recomendada aos gestores hospitalares. Isso pode ser feito por meio da promoção da capacitação através de cursos, treinamentos, e workshops **(**D9**)** (Jayaraman *et al.*, 2020).

Portanto, as diretrizes supracitadas referem-se à proposição de ações para a inserção da responsabilidade social nas estratégias de negócios do hospital e nas suas operações internas, respondendo, portanto, a questão de questão de pesquisa "como os hospitais podem maximizar os benefícios e mitigar os riscos ao implementar as tecnologias do H4.0 para desenvolver e gerir a sustentabilidade" na sua dimensão social.

4.5.3 Diretrizes para desenvolvimento e gestão da dimensão econômica da sustentabilidade com suporte do H4.0 em hospitais

Diretrizes relacionadas à dimensão econômica da sustentabilidade referem-se à proposição de ações com o auxílio das tecnologias H4.0 para a maximização das sinergias S1, S5, S12, e S17 e para mitigação das dissonâncias D4, D10, D11.

Gerir e desenvolver a sustentabilidade em hospitais com o suporte das tecnologias H4.0 necessita de investimento financeiro considerável com custos em aquisição, treinamentos e integração de sistemas (D4) (Marincola *et al.*, 2024). Para operacionalizar essas diretrizes alcançando resultados mais efetivos é essencial que os gestores hospitalares façam estudos de viabilidade financeira alinhados aos objetivos estratégicos do hospital à curto, médio e longo prazo. Uma vez que os estudos de viabilidade financeira estejam concretizados, os hospitais devem buscar aporte de capital nas mais variadas esferas para o investimento necessário.

Os hospitais públicos podem, por exemplo, realizar Parcerias Público-Privadas (PPPs) que têm se mostrado um modelo de negócio para impulsionar investimento em projetos que atendam a demandas emergentes da sociedade. Nesse modelo, hospitais públicos recebem recursos de empresas privadas para construção e modernização, expansão da sua capacidade de atendimento, melhoria da infraestrutura, e aquisição de tecnologias H4.0, possibilitando uma gestão mais inteligente, diagnósticos mais precisos e tratamentos mais eficientes (Moro Visconti *et al.*, 2019). Já os hospitais privados podem obter aporte de capital por meio de investidores privados, que recebem em troca participação no lucro da instituição, também por fundos de capital de risco especializados em saúde, empréstimos bancários, e emissão de títulos. Além disso, os hospitais privados podem buscar financiamento através de programas governamentais de incentivo à modernização da infraestrutura de saúde.

Tanto hospitais públicos como privados devem elaborar projetos estruturados para a captação de recursos financeiros visando investir em sua sustentabilidade econômica (Wang *et al.*, 2018). É importante que eles demonstrem claramente nesses projetos os impactos positivos que as tecnologias H4.0 podem possibilitar à gestão da sustentabilidade econômica dos

negócios por meio dos seguinte pontos: 1) É essencial que o projeto forneça uma visão clara dos seus objetivos, destacando como essas tecnologias podem melhorar a eficiência operacional, a qualidade do atendimento ao paciente e a experiência geral no hospital; 2) Apresente uma análise detalhada de viabilidade financeira (estudos de viabilidade) que aborde Retorno sobre o Investimento (ROI), a redução de custos operacionais e aumento da receita em função da melhoria da produtividade, diminuição de erros médicos, alocação otimizada de recursos, melhoria nos tempos de espera, aumento da reputação do hospital e atração e retenção de talentos; 3) Descreva detalhadamente o plano de implementação das tecnologias H4.0, incluindo cronogramas, recursos necessários, responsabilidades das partes envolvidas e métricas de acompanhamento. Isso demonstrará que há um caminho claro para a execução bem-sucedida; 4) Identifique os principais riscos associados à implementação das tecnologias H4.0 e descreva estratégias para mitigá-los. Isso mostrará aos investidores que os desafios potenciais também foram considerados; e 5) Enfatize o impacto na qualidade do atendimento ao paciente com a utilização das tecnologias H4.0 proporcionando diagnósticos mais precisos, tratamentos mais eficazes e uma experiência mais personalizada e centrada no paciente.

Um projeto bem elaborado contribui para evidenciar o compromisso do hospital com a inovação e a busca contínua pela excelência. Ao incluir esses elementos haverá uma visão convincente dos benefícios em investir em tecnologias H4.0, o que aumentará a probabilidade de apoio e investimento.

A escalabilidade das tecnologias Healthcare 4.0 em hospitais de diferentes tamanhos e recursos depende, além de capacidade de investimento, de fatores como infraestrutura digital e maturidade na gestão de dados. Grandes hospitais tendem a integrar essas soluções de forma mais abrangente e em menores intervalos de tempo, enquanto hospitais menores podem enfrentar desafios na adoção devido às limitações financeiras e de pessoal qualificado. No entanto, modelos modulares permitem uma implementação progressiva, possibilitando que hospitais de menor porte acessem funcionalidades mais simples sem demandar investimentos iniciais elevados, e à medida que vão adquirindo mais recursos, eles podem adquirir funcionalidades mais complexas. Portanto, para garantir que hospitais de qualquer porte possam se beneficiar dessas inovações é essencial que eles priorizem soluções modulares e escaláveis para permitir futuras expansões.

Investir nas tecnologias H4.0 possibilita aos hospitais tomada de decisão mais embasada e assertiva, o que impacta diretamente em sua sustentabilidade econômica (Karim *et al.*, 2023). Por exemplo, processos operacionais como manutenção de equipamentos necessários ao funcionamento dos hospitais, desde caldeiras a equipamentos clínicos, podem ser melhorados

por meio da utilização da internet das coisas nos programas de manutenção preditiva, possibilitando a identificação de padrões e tendências de falhas. O uso dessa tecnologia reduz os reparos não programados, a interrupção do serviço, a frequência do retrabalho e os custos relacionados (Al-Jaroodi *et al.*, 2020).

Processos administrativos também são impactados positivamente pois as tecnologias H4.0 integram as informações de forma ágil e segura para embasar a tomada de decisão. Essa conectividade gerada pelas tecnologias H4.0 transforma a maneira como os hospitais operam, possibilitando agilidade do tempo (Tortorella *et al.*, 2022).

Da mesma forma, os processos clínicos tornam-se mais eficazes por meio das tecnologias H4.0, permitindo uma integração avançada de sistemas e dados que resultam em uma assistência médica mais eficiente e personalizada. A adoção de dispositivos IoT, por exemplo, permite monitoramento remoto dos pacientes, otimizando a gestão de leitos e reduzindo as taxas de readmissão. Além disso, sistemas de inteligência artificial e análise de big data auxiliam os profissionais de saúde a tomarem decisões mais embasadas, identificar de forma mais assertiva padrões de doenças, personalizar tratamentos e antecipar possíveis complicações. Com a implementação de registros eletrônicos de saúde interoperáveis, há melhoria na comunicação entre equipes médicas e maior acessibilidade aos históricos dos pacientes (Pang *et al.*, 2018).

Portanto, aconselha-se que os hospitais utilizem as tecnologias H4.0 nos processos operacionais, administrativos, e clínicos para auxiliar nos processos de tomada de decisão e, assim, melhorar sua eficiência operacional, otimizar o uso de recursos, minimizar desperdícios e reduzir custos operacionais desnecessários (S1, S12, e S17).

Além disso, o uso das tecnologias H4.0 auxiliam o aperfeiçoamento do desenvolvimento profissional, pois por meio delas os hospitais podem disponibilizar a seus profissionais meios de treinamento mais interativos e personalizados para melhorar seus conhecimentos e habilidades (Arpaia *et al.*, 2021). Profissionais mais capacitados realizam atendimentos de melhor qualidade o que diminui retrabalhos, tempo de hospitalizações, utilização de recursos, e consequentemente os custos hospitalares (S5).

Por outro lado, a alta dependência das tecnologias H4.0 pode afetar negativamente a prestação de serviços, comprometendo o atendimento aos pacientes em caso de interrupções na conectividade ou problemas técnicos. É essencial ter planos de contingência adequados para evitar ou mitigar esses riscos (D10). Nesse mesmo viés estão as possíveis falhas de segurança cibernética, em que a invasão de hackers ou acesso por funcionários não autorizados pode resultar no vazamento de dados sensíveis dos pacientes como código genético, histórico

médico, detalhes de identificação e muitos outros (Argaw *et al.*, 2020). Essa vulnerabilidade expõe os hospitais a processos judiciais e indenizações de pacientes afetados, impactando sua sustentabilidade econômica (D11). Para mitigar esse risco e cumprir com regulamentações referente à proteção de dados as quais têm sido exigidas ao redor do mundo, sugere-se a adoção de tecnologias H4.0 baseadas em Blockchain, capazes de proteger a identidade dos usuários e restringir o acesso não autorizado (Larrucea *et al.*, 2020; Tanwar *et al.*, 2020). Outras recomendações para a proteção de dados pessoais incluem a elaboração de um programa de governança de segurança da informação que contenha uma política clara e transparente para a coleta e tratamento de dados e a disseminação da cultura sobre a ética e segurança de dados na instituição hospitalar (Savanović *et al.*, 2023; SISHOSP, 2024).

Portanto, as diretrizes supracitadas referem-se à proposição de ações para melhorar a performance econômica dos hospitais e aumentar sua resiliência. Com a implantação e utilização dessas tecnologias é possível reduzir custos operacionais, melhorar a utilização de recursos, aumentar a eficiência e eficácia dos processos, e a qualidade do atendimento aos pacientes, respondendo, portanto, a questão de questão de pesquisa "como os hospitais podem maximizar os benefícios e mitigar os riscos ao implementar as tecnologias do H4.0 para desenvolver e gerir a sustentabilidade" na sua dimensão econômica.

4.5.4 Diretrizes transversais para desenvolvimento e gestão da sustentabilidade por meio da implantação do H4.0 em hospitais

Diretrizes transversais à sustentabilidade hospitalar referem-se à proposição de ações com o auxílio das tecnologias H4.0 que contemplam simultaneamente mais de um dimensão da triple bottom line e melhoram a eficiência e a eficácia do gerenciamento hospitalar. Estas diretrizes abordam ações para a maximização das sinergias S13 e S20, e para mitigação das dissonâncias D8 e D12.

Para operacionalizar essas diretrizes é essencial que os gestores hospitalares utilizem as tecnologias H4.0 na predição da demanda e no planejamento da capacidade hospitalar. Ao analisar padrões históricos e em tempo real de dados clínicos, demográficos e epidemiológicos, essas tecnologias permitem uma previsão mais precisa das necessidades futuras de atendimento médico (Munavalli et al., 2021). Isso melhora a satisfação do paciente ao garantir uma resposta mais rápida e eficiente às suas necessidades, e permite uma alocação mais eficaz dos recursos hospitalares, reduzindo o desperdício e os custos operacionais. Como resultado, essa abordagem contribui para a sustentabilidade social ao melhorar o acesso à saúde e para a

sustentabilidade econômica ao otimizar o uso dos recursos disponíveis no sistema de saúde (S20).

Tecnologias H4.0 também podem ser utilizadas para a coleta, análise, armazenamento e compartilhamento de um grande volume de dados, potencializando a gestão do conhecimento e direcionando a cultura organizacional para a sustentabilidade ambiental, a eficiência financeira e a responsabilidade social. O uso do big data e da inteligência artificial, por exemplo, permite que os hospitais transformem seus dados em informações confiáveis, precisas e disponíveis para a tomada de decisão melhor embasada em todas as áreas: gerenciamento administrativo, operacional ou clínico (Aceto *et al.*, 2020c). Além disso, os resultados gerados a partir dessas tecnologias podem ser usados para desenvolver programas de treinamento e campanhas de conscientização sobre práticas sustentáveis para funcionários e pacientes, promovendo o fortalecimento da cultura organizacional rumo ao objetivo de hospitais mais verdes, rentáveis e socialmente responsáveis. Portanto, recomenda-se que os hospitais utilizem as tecnologias H4.0 para gerar valor para os hospitais e seus pacientes a partir desses dados (S13).

Um comum desafio que os gestores hospitalares enfrentam em relação à cultura organizacional é a resistência à mudança por parte de alguns funcionários durante a implementação das tecnologias H4.0, conforme já mencionado no item 4.5.2. Nem todos os membros da equipe sentem confortáveis ou estão familiarizados com o uso dessas novas tecnologias. Muitos funcionários se sentem inseguros pois temem sua substituição por alguém mais capacitado para o uso dessas tecnologias ou por serem substituídos por sistemas inteligentes e robóticos (Jose *et al.*, 2023) . Pessoas inseguras podem cometer erros, gerar retrabalhos, e diminuir o engajamento na realização de suas atividades técnicas. Tudo isso, além de afetar a sustentabilidade social, também afeta a produtividade e o desenvolvimento de práticas sustentáveis o que pode prejudicar a eficiência operacional e a sustentabilidade econômica dos hospitais.

O processo de mudança é desafiador e isso requer o direcionamento da cultura organizacional a fim de desenvolver a habilidade de abertura às mudanças (Safi *et al.*, 2018). Esse processo também exige que os hospitais adotem uma abordagem inclusiva, isto é, o desenvolvimento de políticas adequadas e o investimento em capacitação e requalificação de seus funcionários. Essas ações vão colaborar para que a equipe esteja engajada e adaptada à nova realidade durante o processo de implementação das tecnologias H4.0 (D8 e D12).

4.6 CONCLUSÃO

A gestão da sustentabilidade nos hospitais é essencial porque promove a redução de custos operacionais, melhora a saúde e o bem-estar de pacientes e funcionários, assegura o cumprimento de regulamentações, fortalece a imagem e reputação da instituição, demonstra responsabilidade social, preserva o meio ambiente e incentiva a inovação contínua, resultando em uma operação mais eficiente e benéfica para a comunidade e o planeta. As tecnologias do H4.0 podem ser um excelente canal para potencializar a gestão da sustentabilidade no ambiente hospitalar. Hospitais que conseguem integrar efetivamente tecnologias H4.0 com práticas de SH oferecem serviços de maior qualidade e mais sustentáveis, o que aumenta sua competitividade.

O objetivo deste estudo foi alcançado ao se propor diretrizes para o desenvolvimento da SH por meio das tecnologias H4.0. Dessa forma a questão de pesquisa foi respondida e o gap preenchido ao se proporem soluções estruturadas, visando maximizar as sinergias e mitigar as dissonâncias das soluções digitais de saúde na gestão da sustentabilidade ambiental, social e econômica.

A contribuição teórico-cientifica deste estudo se dá, principalmente, no acréscimo ao estado da arte de importantes, robustos e inovadores elementos sobre a relação das tecnologias com a sustentabilidade em hospitais. A proposição de diretrizes com base na discussão das sinergias e dissonâncias aprofunda e expande os trabalhos já realizados sobre o assunto, propiciando um ponto de referência para a análise e discussão para novos estudos, de modo a avançar no corpo teórico do conhecimento.

Este trabalho contribui de forma aplicada-gerencial para auxiliar os gestores dos hospitais públicos e privados a desenvolver a SH por meio das tecnologias H4.0 de forma bem-sucedida e alinhada com os objetivos estratégicos de suas organizações. Conforme evidenciado nas conclusões, a adoção estratégica dessas tecnologias pode reduzir custos operacionais, melhorar a qualidade dos serviços e fortalecer a reputação institucional, além de tornar os hospitais mais competitivos e ambientalmente responsáveis. Para maximizar esses benefícios, este trabalho apresenta diretrizes que possibilitam o avanço do conhecimento prático, pois ajudam os tomadores de decisão a superarem desafios na implementação da SH com apoio do H4.0, potencializando sinergias e minimizando dissonâncias no decorrer desse processo. À medida que os líderes se conscientizam desses desafios, eles podem prever prováveis riscos e eventuais cenários para tomada de decisão mais assertiva, permitindo que os hospitais operem com maior eficiência e responsabilidade.

A fim de desdobrar este estudo e aprofundar ainda mais seus resultados, sugere-se como estudos futuros que sejam realizados trabalho para verificar o grau e a forma de utilização das tecnologias H4.0 e como elas influenciam hospitais em diferentes contextos, como, por exemplo, em países ou blocos econômicos distintos, para que elas sejam mais customizadas. Sugere-se também estudos empíricos por meio de estudos qualitativos e/ou quantitativos para adensar as proposições feitas nesse estudo. Além disso, seria interessante a realização de trabalhos futuros que propusessem soluções para a implementação das tecnologias H4.0 de forma evolutiva, levando em consideração o grau de desenvoltura tecnológica dos hospitais, de forma que a implementação seja mais adequada a realidade de cada um deles.

5 TRANSFORMAÇÃO SUSTENTÁVEL NOS HOSPITAIS COM O APOIO DO HEALTHCARE 4.0: PROPOSTA BASEADA EM EVIDÊNCIAS TEÓRICO-EMPÍRICAS

(*Sustainable transformation in hospitals with the support of healthcare 4.0: a proposal based on theoretical and empirical evidence*)

Abstract

Os hospitais têm incorporado a Sustentabilidade Hospitalar (SH) em seus objetivos institucionais como resposta às crescentes demandas ambientais, sociais e econômicas. A adoção de tecnologias *Healthcare* 4.0 (H4.0) desempenha um papel relevante para a gestão da sustentabilidade no ambiente hospitalar, mas muitos desafios estão presentes na implantação e aplicação dessas tecnologias. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor diretrizes para o desenvolvimento da sustentabilidade no ambiente hospitalar com o apoio das tecnologias H4.0, elaboradas com base na literatura; na expertise dos autores e nos resultados de quatro estudos de casos, nos quais foram identificados as boas práticas adotadas e os desafios enfrentados. Como resultado, as diretrizes propostas estão estruturadas de acordo com o ciclo PDCA e destinadas a hospitais com diferentes níveis de desenvoltura tecnológica, desde aqueles que estão iniciando sua jornada digital até os que já possuem um nível avançado. A contribuição teórica deste estudo consiste em integrar e aprofundar conceitos pouco articulados sobre gestão da SH, oferecendo uma base teórica inédita que impulsiona o debate acadêmico e futuras pesquisas. Contribui de forma aplicada para que hospitais públicos e privados alcancem os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, promovendo avanços em saúde e bem-estar (ODS 3), eficiência energética (ODS 7), inovação digital (ODS 9), consumo responsável (ODS 12) e mitigação das mudanças climáticas (ODS 13)

Keywords: sustentabilidade; gestão; estudos de caso; *digital health*; TICs; ciclo PDCA

5.1 INTRODUÇÃO

O mundo vive uma situação crítica em relação às mudanças climáticas e o relatório do *Intergovernamental Panel on Climate Change* (IPCC) de 2023 enfatiza a importância da sustentabilidade, apontando a necessidade de ações urgentes para limitar o aquecimento global

a 1,5 °C (IPCC 2023). O setor de saúde é responsável por uma parcela significativa de emissões de gases de efeito estufa, estimada em 4,4% das emissões de gás carbônico no mundo, o que torna imprescindível a adoção de esforços para minimizar essa situação (SCHIE, 2024). Nesse sentido, o setor de saúde está se esforçando para incorporar estratégias sustentáveis na sua gestão a fim de desenvolver atividades que vão se somar aos esforços globais e melhorar sua performance operacional (BRAMBILLA *et al.*, 2022). Os hospitais, como grandes *players* deste setor, têm incorporado progressivamente a SH em seus objetivos institucionais como forma de responder às crescentes demandas relacionadas ao tripé da sustentabilidade - ambiental, social e econômico. Ao integrar essas três dimensões, a SH possibilita o alinhamento entre os interesses organizacionais e a preservação da vida humana e do planeta (KHAN *et al.*, 2018).

Para que a gestão da sustentabilidade hospitalar seja efetiva, é necessário enfrentar um conjunto de desafios que afetam diretamente a consolidação de estratégias institucionais fundamentadas na sustentabilidade. Entre os principais obstáculos estão o elevado consumo de recursos como energia e água, as dificuldades na gestão eficiente de resíduos, a obsolescência de equipamentos com alto custo operacional, a limitação orçamentária para investimentos sustentáveis, além da resistência à mudança por parte de profissionais e gestores (SIMION LUDUȘANU *et al.*, 2025). Soma-se a isso a necessidade de promover ambientes de trabalho mais seguros, inclusivos e comprometidos com a valorização e capacitação contínua das equipes, bem como a ampliação do acesso equitativo aos serviços de saúde (PINZONE *et al.*, 2016). Além disso, a conformidade com regulamentações rigorosas, embora essencial para a segurança assistencial, pode tornar mais complexa e lenta a adoção de soluções sustentáveis e inovadoras (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2022).

Superar essas barreiras com planejamento, capacitação e uso inteligente de Tecnologias Digitais (TD) é fundamental para consolidar a sustentabilidade como um eixo estruturante da gestão hospitalar (HUANG et al., 2024).Nesse contexto, a *Digital Health* é um componente-chave para hospitais sustentáveis porque atua como um motor de transformação social capaz de criar sistemas de saúde mais equitativos e inclusivos, alinhados com os compromissos globais dos ODSs, especialmente o ODS 3 (Saúde e bem-estar), ODS7 (Energia acessível e limpa), ODS 9 (Inovação e infraestrutura), ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), e ODS 13 (Ação climática) (WHO, 2021). Ela abrange um amplo espectro de inovações tecnológicas destinadas a melhorar os cuidados de saúde, desde plataformas de gestão hospitalar até dispositivos vestíveis e inteligência artificial (RICHARDSON *et al.*, 2022).

A *Digital Health* abrange diversas áreas voltadas à inovação em saúde, incluindo o *e-Health*, que utiliza as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para aprimorar os serviços oferecidos. No contexto hospitalar, a *e-Health* contribui significativamente para fortalecer a gestão da sustentabilidade e ampliar seus impactos positivos pois atua como um alicerce estratégico para integrar e modernizar processos, ampliar o acesso aos cuidados e melhorar a eficiência na utilização dos recursos disponíveis (ADMASSU; GOREMS, 2024).

A *e-Health* também incorpora o uso de TD mais avançadas que caracterizam o Healthcare 4.0 (H4.0). Entre essas tecnologias estão a Robótica, *Blockchain, Mobile Health (m-health*), Internet das coisas (IoT), *Cloud computing, Fog computing, Edge computing, Big Data*, Telemedicina, Inteligência Artificial (IA), Manufatura aditiva/impressão 3D, Realidade virtual, Realidade aumentada, Simulação, etc. (ROWAN, 2024). Com a adoção dessas tecnologias, os hospitais podem avançar em direção a um sistema de saúde mais ágil e sustentável.

Entretanto, muitos desafios estão presentes na implantação e aplicação das tecnologias H4.0 no ambiente hospitalar (SCHIE, 2024). Dentre esses desafios destacam-se as limitações orçamentárias presentes em muitos hospitais que dificultam investimentos em inovações tecnológicas e infraestrutura adequada para sustentar a transformação digital. Além disso, há questões a serem equacionadas em relação às desigualdades no acesso ao aprendizado e no desenvolvimento de habilidades dos profissionais no que diz respeito ao uso dessas tecnologias; problemas de conectividade à internet; privacidade e segurança de dados; e dificuldade de implementar registros eletrônicos de saúde interoperáveis. Esses e muitos outros desafios restringem a capacidade dos hospitais de inovar e, assim, melhorar sua eficiência operacional. (SAVANOVIĆ *et al.*, 2023; TORTORELLA *et al.*, 2020b).

A integração entre SH e H4.0 representa um passo importante e transformador para o setor da saúde, fundamental para dar condições aos hospitais de suplantarem os desafios atuais e futuros e para tornar o sistema de saúde mais adaptável e resiliente. De um lado a SH engloba pessoas, meio ambiente e lucro, promovendo um equilíbrio entre responsabilidade social, ambiental e financeira e do outro lado, o H4.0 disponibiliza ferramentas para dar melhores condições para que se alcance os objetivos da SH (MAN *et al.*, 2024).

O estudo da relação da sustentabilidade com as tecnologias H4.0 no contexto hospitalar vem sendo analisado na academia de forma ainda incipiente. Marino et al. (2024) investigaram o impacto da IA na gestão da eficiência energética em hospitais italianos e concluíram que a análise em tempo real do consumo energético, baseado em algoritmos inteligentes, pode melhorar a sustentabilidade ambiental e aumentar significativamente o desempenho operacional dos hospitais. Mohamed et al. (2024) analisaram o gerenciamento de resíduos

hospitalares por meio da IoT e propuseram um sistema de rastreabilidade para categorizar resíduos, compartilhar os dados com empresas recicladoras interessadas em materiais específicos, e alertar geradores e coletores sobre resíduos incorretamente separados. Haleem et al. (2021) investigaram como a aplicação da telemedicina em regiões rurais de difícil acesso influenciava na sustentabilidade social e ressaltaram seu potencial para promover a equidade em saúde e reduzir disparidades. Santamato et al. (2024) analisaram o papel da IA na gestão da saúde para compreender seu impacto nos processos e no atendimento ao paciente e concluíram que ela aumenta a eficiência, reduz custos e otimiza recursos nos níveis operacional, estratégico e de resposta a emergências, impactando diretamente na sustentabilidade econômica.

Embora os estudos supracitados evidenciem que o uso dessas tecnologias melhora as dimensões ambiental, social e econômica da SH, elas são analisadas separadamente sem considerar a integração entre si. No entanto, outros estudos defendem que essas dimensões são interdependentes e se influenciam mutuamente, e por isso desaconselham abordagens focadas em apenas uma das dimensões (BIRKEL; MÜLLER, 2021; OLOGEANU-TADDEI *et al.*, 2025). Nesse contexto, WHO (2021) destaca que a *Digital Health* é um componente-chave para que os sistemas de saúde melhorem sua sustentabilidade e enfatiza o *gap* de estudos sobre a necessidade de pesquisas que encontrem soluções, identifiquem e compartilhem boas práticas para a implementação da *Digital Health* de forma mais efetiva. Portanto este trabalho ajuda a preencher este *gap*, proporcionando soluções aos hospitais para implementar TD capazes de promover melhorias nas dimensões ambiental, social e econômica. A proposta apresentada nesse *paper* irá viabilizar os hospitais a utilizarem as tecnologias H4.0 para promover a sustentabilidade hospitalar, fortalecer sua resiliência, alinhar-se às diretrizes internacionais dos ODSs, e atender às necessidades crescentes de melhoria da eficiência e qualidade nos serviços de saúde.

Com base no exposto, a seguinte questão de pesquisa norteou o desenvolvimento deste trabalho: como as tecnologias H4.0 podem contribuir para o desenvolvimento da sustentabilidade em hospitais? Para respondê-la, o objetivo deste trabalho é propor diretrizes para o desenvolvimento da sustentabilidade no ambiente hospitalar com o apoio das tecnologias H4.0 desenvolvidas com base em informações empíricas e teóricas.

Após esta introdução, a Seção 5.2 apresenta uma síntese do referencial teórico sobre sustentabilidade e TD no ambiente hospitalar; a Seção 5.3 explana o método de pesquisa; a Seção 5.4 apresenta os estudos de casos e sua análise cruzada; a Seção 5.5 propõe e discute recomendações para o desenvolvimento e gestão da SH com o apoio das tecnologias H4.0. Após isso, finalmente são apresentadas a conclusão, as referências e os apêndices.

5.2 SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIAS DIGITAIS NO AMBIENTE HOSPITALAR

A sustentabilidade no ambiente hospitalar envolve a integração equilibrada de três dimensões interdependentes: ambiental, social e econômica (HUSSAIN *et al.*, 2018). A sustentabilidade ambiental envolve principalmente o uso consciente de recursos naturais, a gestão de resíduos, o consumo consciente de energia e água e o controle das emissões de gases de efeito estufa (KOCAK *et al.*, 2025).

Nesse contexto, as TD se consolidam como ferramentas de apoio à gestão ambiental ao possibilitar, por exemplo, o monitoramento em tempo real do consumo de energia e água, a rastreabilidade de resíduos, a automatização de processos e o monitoramento mais preciso de indicadores ambientais. Com isso, os hospitais tornam-se mais capazes de identificar desperdícios, tomar decisões baseadas em dados e implementar práticas sustentáveis de forma eficaz, contribuindo não apenas para a proteção ambiental, mas também para a eficiência operacional e a conformidade regulatória (ACETO et al., 2020).

A sustentabilidade social no contexto hospitalar está diretamente relacionada à qualidade do atendimento, à valorização dos profissionais de saúde, a maior inclusão e acesso equitativo da população, e à promoção do bem-estar coletivo (KHAN *et al.*, 2018). Nesse cenário, o uso de TD desempenha um papel fundamental, pois amplia o alcance e a eficiência dos serviços, promove ambientes mais colaborativos por meio de plataformas integradas de comunicação interna, facilita a gestão de pessoas e possibilita o monitoramento de indicadores sociais relevantes. Além disso, essas ferramentas contribuem para a redução de barreiras de acesso, promovem capacitação contínua das equipes e melhoram a experiência do paciente, favorecendo ambientes mais humanos, seguros e socialmente responsáveis (POLARY-PEREIRA, 2025).

A sustentabilidade econômica no setor hospitalar está relacionada à gestão eficiente dos recursos financeiros, à redução de desperdícios, ao controle de custos e à garantia da viabilidade operacional dessas instituições a longo prazo (CARVALHO; TONTINI, 2025). Nesse cenário, as TD exercem um papel estratégico ao viabilizar a automatização de processos, a melhoria na alocação de recursos humanos e materiais, o monitoramento inteligente de estoques, o controle de faturamento mais preciso, a integração de dados clínicos e financeiros, etc. Essas ferramentas permitem maior agilidade na tomada de decisão, redução de erros e retrabalho, além de favorecer o planejamento orçamentário com base em dados confiáveis, fortalecendo a governança e contribuindo diretamente para a sustentabilidade financeira dos hospitais (XAMES; TOPCU, 2025).

Nesse contexto, a *Digital Health* tem potencial de melhorar a eficiência ambiental, social e econômica dessas instituições e transformar profundamente os modelos de cuidado e gestão hospitalar (WHO, 2021). A seguir, são descritos grupos de TD aplicadas ao setor hospitalar, destacando suas principais características e funcionalidades, conforme Quadro 1.

Quadro 1- Grupos de tecnologias digitais na saúde

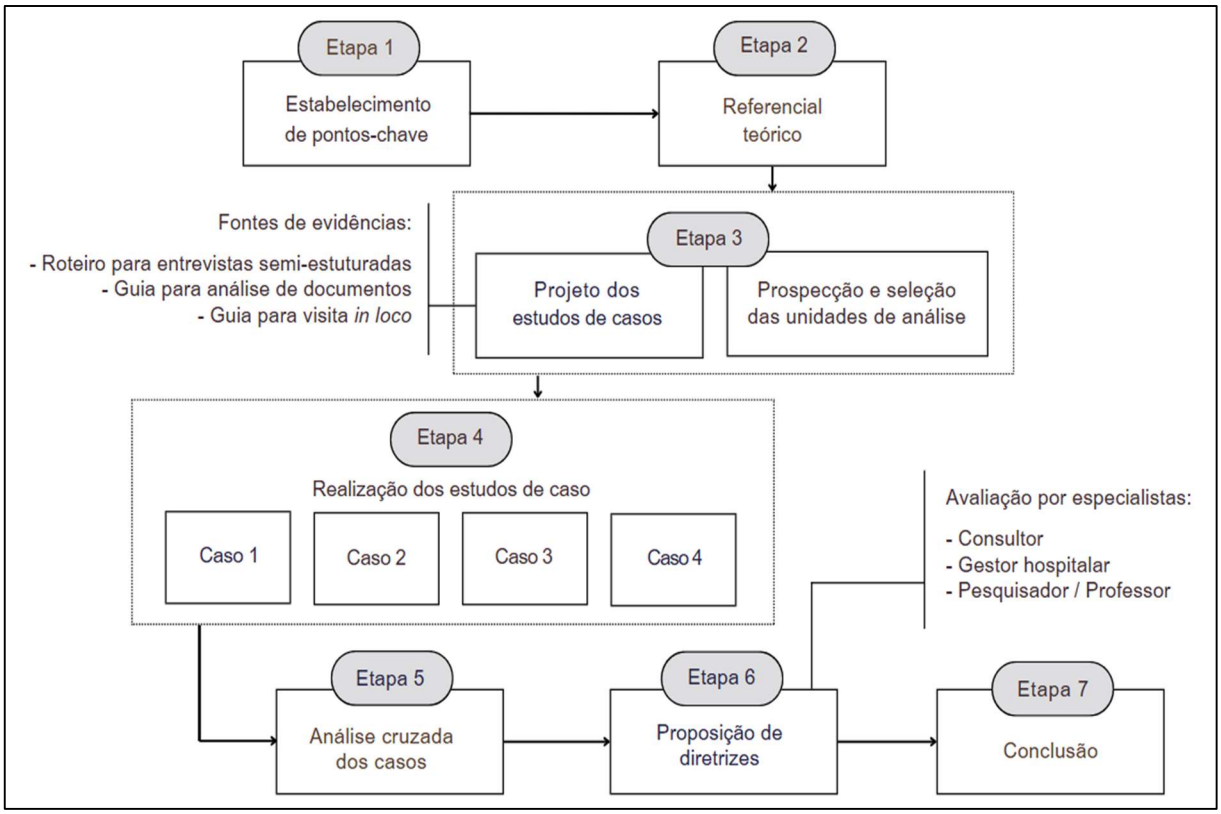
Grupo	**Descrição**	**Tecnologia**
Digital Health	A *digital health* é um conceito abrangente que engloba todas as tecnologias que transformam e otimizam os cuidados de saúde. Ela tem o potencial de melhorar a prevenção, o diagnóstico, o tratamento e o monitoramento da saúde dos pacientes e auxiliar na gestão hospitalar	Inclui desde plataformas de análise de dados até dispositivos de monitoramento vestíveis e aplicativos móveis voltados ao bem-estar dos pacientes
E-health	É uma subcategoria dentro da digital health, englobando o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) na saúde que facilitam o gerenciamento de informações e contribuem para a gestão mais eficiente dos hospitais	Abrange uma variedade de soluções tecnológicas como plataformas, aplicativos, sistemas e dispositivos de saúde
TICs	As TICs aplicadas à saúde fazem parte da E-health e incluem tecnologias específicas de comunicação e sistemas de informação que possibilitam a troca de dados e a integração de sistemas em saúde	Prontuário eletrônico do paciente, Philips Tasy®, MV®, MedPortal®, GTPlan Supply Chain 4.0®, SHIFT®, Eluxeo®, Plannexo®; GIF®; Weknow Healthtech®; Effort®; Power BI®, RapidPlan®, Interact Soluctions®, OnBase®, HMED®
Healthcare 4.0	*Healthcare* 4.0 é um avanço das TICs em saúde. Esse conceito envolve a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor de saúde para possibilitar conectividade, assertividade e agilidade na entrega da prestação de serviços	*Blockchain; Mobile Health* (m-health); Internet das coisas (IoT); *Cloud computing; Fog computing; Edge computing; Big Data*; Telemedicina; Inteligência artificial (IA); *Healthcare Robotics*; Manufatura aditiva/impressão 3D; Realidade virtual e Realidade aumentada; Simulação, etc.

Fonte: Bongomin et al. (2020)

5.3 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho foi conduzido por meio de uma abordagem qualitativa, com fins descritivos e exploratórios, realizada por meio de estudos de caso múltiplos. O fluxo metodológico de sua execução é composto por 7 etapas (Figura 9).

Figura 9 - Fluxo metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

Na etapa 1 foram estabelecidos os pontos chaves da pesquisa: definição do tema, questão de pesquisa, objetivos, delimitação, e método de pesquisa. Na etapa 2 foi elaborado o referencial teórico sobre sustentabilidade e saúde digital, que subsidiou a elaboração do projeto dos estudos de caso (Apêndice C). A etapa 3 foi dividida em duas sub etapas: etapa 3.1- projeto dos estudos de casos e 3.2- prospecção e seleção das unidades de análise (casos). Em relação a etapa 3.1, os estudos de caso foram planejados levando-se em consideração os seguintes critérios propostos por Yin (2018): validade do construto, validade interna, validade externa e confiabilidade. Esses critérios auxiliam assegurar o rigor metodológico e a credibilidade dos resultados da pesquisa qualitativa baseada em estudo de caso.

Os parâmetros do trabalho que atendem esses critérios são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios para julgar a qualidade do projeto dos estudos de casos

Critério	**Ação recomendada pela literatura**	**Descrição da aplicação dos critérios**
1.Validade do constructo	1.1 Usar múltiplas fontes de evidência	Três fontes de evidência foram utilizadas: roteiro para entrevistas semiestruturadas, guia para análise de documentos e guia para observação in loco
	1.2 Estabelecer sinergias entre as evidências	A sinergia entre as evidências foi construída por meio de um processo de triangulação analítica, que buscou identificar convergências, complementariedades e contrastes entre os dados obtidos por diferentes fontes de evidências
	1.3 Revisar o relatório preliminar dos estudos de caso por informantes-chave	Os relatórios dos estudos de casos foram revisados por especialistas: consultor, gestor hospitalar e professor pesquisador
2. Validade interna	2.1 Testar relações de causa e efeito quando o estudo tem objetivo explicativo	Não foi aplicável neste trabalho pois em estudos exploratórios e descritivos como esse, o objetivo é delinear os elementos de um fenômeno sem propor ligações causais
3.Validade externa	3.1 Usar a lógica da replicação teórica em estudos de casos múltiplos	Foram conduzidos quatro estudos de caso com o objetivo de aumentar a robustez analítica por meio da lógica de replicação teórica, e identificar padrões recorrentes ou contrastantes entre os casos analisados
4. Confiabilidade	4.1 Usar um roteiro de estudos de casos	Foi elaborado um projeto para a condução dos estudos de caso com o objetivo de garantir padronização metodológica e alinhamento teórico durante toda a investigação
	4.2 Desenvolver um banco de dados	Um banco de dados foi construído visando permitir verificação independente dos dados por parte de outros pesquisadores, manter a transparência entre o que foi observado e o que foi reportado e separar as evidências brutas das interpretações analíticas

Fonte: Baseado em Yin (2018)

Na etapa 3.2 foi feita a prospecção e seleção das unidades de análise para realização dos estudos de caso. Segundo Yin (2018), os estudos de caso múltiplos buscam construir teoria a partir de diferentes evidências empíricas. A análise de dois ou três casos tende a gerar replicação literal, confirmando resultados semelhantes e consistentes, enquanto a investigação de quatro a seis casos favorece a replicação teórica, possibilitando a identificação de resultados divergentes

e, assim, a formulação de explicações mais amplas que considerem tanto convergências quanto diferenças entre os casos. Sendo assim, foram objeto dos estudos de caso quatro hospitais brasileiros. Eles foram selecionados segundo os seguintes critérios: atuação em ações relacionadas à sustentabilidade, desenvolvimento de iniciativas alinhadas ao conceito H4.0 e manifestação formal de concordância para participação na pesquisa.

Na etapa 4 foram realizados os estudos de casos. Em cada hospital analisado, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com duração de duas horas com representantes de três diferentes níveis hierárquicos - estratégico, gerencial e operacional - com o objetivo de compreender a realidade institucional sob múltiplas perspectivas. Além disso, foram examinados documentos digitais e registros físicos relacionados às TD utilizadas e as práticas de sustentabilidade desenvolvidas. A observação presencial nos ambientes hospitalares teve papel fundamental ao revelar aspectos não mencionados nas entrevistas ou documentos, além de contribuir para a validação das informações coletadas por meio dos demais instrumentos.

Na etapa 5 os dados obtidos por essas diferentes fontes de evidência foram integrados por meio da técnica de triangulação, com o propósito de promover a consistência entre os dados e os constructos teóricos e garantir coerência interpretativa dos casos investigados, conforme recomenda Yin (2018). Na etapa 6 foram elaboradas as diretrizes para o desenvolvimento da sustentabilidade no ambiente hospitalar com o apoio das tecnologias H4.0. Estas diretrizes foram embasadas nos resultados dos estudos de casos, na literatura científica e na experiência dos autores deste artigo. Finalmente na etapa 7 foi elaborada a sua conclusão.

Esta pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), no Brasil, do Centro Universitário Teresa D'ávila – UNIFATEA para aprovação ética dos procedimentos realizados em estudos envolvendo participantes humanos. Após a análise do CEP, foi emitido o parecer de aprovação número 7.248.791 atestando que esta pesquisa é pertinente e exequível, que todos os termos exigidos pelo CEP foram devidamente apresentados e que os riscos e benefícios foram descritos perfeitamente.

5.4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE CRUZADA DOS ESTUDOS DE CASO

A análise cruzada a seguir visa apresentar e comparar os hospitais analisados destacando as TD utilizadas e seus impactos nas dimensões econômica, social e ambiental da sustentabilidade. As informações comparativas estão organizadas e detalhadas no Apêndice D. Para essa análise, foram selecionados hospitais capazes de representar diferentes características de organizações hospitalares conforme sua classificação. Os hospitais foram classificados

segundo os parâmetros apresentados pelos autores Filho e Barbosa (2014). O Quadro 3 apresenta as principais características dos hospitais participantes deste estudos de caso.

Quadro 3 - Características dos hospitais analisados

		Hospitais			
Características		**A**	**B**	**C**	**D**
	Porte	Médio (70 leitos)	Grande (356 leitos)	Grande (507 leitos)	Grande (388 leitos)
	Perfil assistencial	Hospital Geral	Hospital Geral	Hospital Geral	Hospital Geral
	Número de funcionários	620	2750	5000	2500
	Nível de complexidade dos atendimentos prestados	Média complexidade	Alta complexidade	Alta complexidade	Média complexidade
	Papel do estabelecimento	Referência local	Referência nacional	Referência nacional	Referência regional
	Regime de propriedade	Privado com fins lucrativos	Privado sem fins lucrativos	Privado sem fins lucrativos	Público com gestão privada
	Prêmios*	-	171ª posição no ranking do prêmio World's Best Hospitals 2024	132ª posição no ranking do prêmio World's Best Hospitals 2024	-

Fonte: Elaborado pelo autor

*Prêmio *World's Best Hospitals* 2024, da revista *Newsweek*, que reconhece instituições de 28 países por sua excelência em telemedicina, funcionalidades eletrônicas, imagem digital, inteligência artificial e robótica

5.4.1 Sustentabilidade Ambiental

Entre os hospitais analisados, observa-se que todos adotam práticas de sustentabilidade ambiental com apoio de TD, ainda que com níveis distintos de complexidade e abrangência. Essa variação evidencia diferentes estágios de desenvoltura digital na gestão ambiental hospitalar, o que aponta tanto para avanços relevantes quanto para oportunidades de fortalecimento das estratégias ambientais por meio da transformação digital.

Esta análise será estruturada a partir de seis subtemas principais: 1. Redução de deslocamentos; 2. Gestão inteligente de insumos, equipamentos e recursos hospitalares; 3. Monitoramento e controle de recursos naturais; 4. Gestão e reaproveitamento de resíduos com foco em economia circular; 5. Controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE); e 6. Digitalização de processos e redução do uso de papel.

5.4.1.1 Redução de deslocamentos

Todos os hospitais estudados utilizam a telemedicina, que é uma tecnologia que permite a realização de atendimentos médicos a distância. Essa tecnologia reduz significativamente a necessidade de deslocamentos, especialmente aqueles feitos por automóveis, o que contribui para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e, consequentemente, para a promoção da sustentabilidade ambiental (SANTAMATO *et al.*, 2024).

Os Hospitais A, C e D utilizam a telemedicina em teleconsultas e teleinterconsultas. O hospital A utiliza as teleconsultas por meio de um aplicativo onde são feitos os atendimentos por vídeo e também são enviadas as receitas eletrônicas após as teleconsultas. Isso resultou na redução de 10% das consultas presenciais. Já as teleinterconsultas, médicos da unidade de terapia intensiva - desse hospital realizam atendimentos em conjunto com especialistas de um hospital de grande porte de referência nacional à beira leito do paciente.

No hospital C, a telemedicina é utilizada para teleinterconsultas em dois contextos distintos. O primeiro refere-se aos programas corporativos de saúde, que oferecem atendimento médico especializado remoto a empresas, contribuindo para a redução de absenteísmo e de custos operacionais. O segundo contexto é voltado ao atendimento de pacientes do Sistema Único de Saúde (SUS), sistema público brasileiro de saúde gratuito, que disponibiliza acesso integral à saúde para toda a população. Esse segundo eixo é desenvolvido por meio do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Institucional do Sistema Único de Saúde (PROADI-SUS), uma iniciativa do Ministério da Saúde brasileiro em parceria com seis hospitais de excelência localizados em diferentes regiões do Brasil, sendo o Hospital C um deles. Esse programa utiliza a telemedicina para conectar especialistas desses hospitais a equipes assistenciais em regiões com acesso limitado à saúde. No hospital D, a telemedicina é utilizada para realizar teleinterconsultas voltadas aos pacientes atendidos nas Unidades Básicas de Saúde (UBSs) da rede municipal. Por meio dessa estratégia, especialistas do hospital se conectam remotamente com os médicos das UBSs para discutir casos clínicos, o que evita que os pacientes precisem

se deslocar até o hospital para consultas especializadas e contribui para a redução da demanda por atendimentos presenciais com especialistas.

5.4.1.2 Gestão inteligente de insumos, equipamentos e recursos hospitalares

O uso de TD tem contribuído para o consumo mais racional de materiais e insumos hospitalares, promovendo melhor controle de estoques, redução de desperdícios e uso eficiente de recursos como medicamentos, anestésicos e equipamentos (FURSTENAU *et al.*, 2022). Todos os hospitais analisados vêm adotando soluções com esse objetivo, incorporando tecnologias como os softwares Plannexo®, GTPlan Supply Chain 4.0®, e Effort®.

Os hospitais A e D utilizam o Plannexo®, enquanto os hospitais B e D adotam a plataforma GTPlan Supply Chain 4.0® como estratégia para a prevenção de desperdícios de insumos hospitalares. Essas tecnologias, com funcionalidades bem semelhantes, permitem o planejamento preciso das compras com base em consumo histórico e previsões futuras, além do monitoramento contínuo dos estoques e da validade dos materiais.

Os hospitais B e C utilizam o software Effort® na engenharia clínica para prolongar o ciclo de vida dos equipamentos médicos, permitindo funções como o gerenciamento do cadastro, calibração e manutenções preventivas e corretivas. Essa gestão parametrizada contribui para a redução da substituições desses equipamentos e, consequentemente, da geração de resíduos e os impactos ambientais associados ao seus descartes.

5.4.1.3 Monitoramento e controle de recursos naturais

O uso de TD contribui de forma significativa para o monitoramento e controle do consumo de energia elétrica e de recursos naturais, como a água e o gás natural, nos ambientes hospitalares. Essas tecnologias permitem acompanhar o uso desses recursos em tempo real, identificar padrões de consumo, prever demandas e implementar medidas para seu uso mais eficiente (SIMION LUDUȘANU *et al.*, 2025).

Em relação à gestão energética, o hospital D se destaca, pois utiliza o *software* Smart Energy® para o monitoramento em tempo real do consumo de energia, identificando picos, padrões e desperdícios. Com isso, o hospital tem conseguido reduzir custos, prevenir falhas e tomar decisões mais precisas, promovendo uma gestão energética mais eficiente. Além disso, esse hospital utiliza energia limpa e renovável por meio da aquisição no Mercado Livre de Energia, uma modalidade de compra que permite a escolha de fornecedores de energia limpa,

negociando preços, volumes e condições mais vantajosas, com previsibilidade de custos e menor impacto ambiental. Os hospitais A e B também utilizam o Mercado Livre de Energia e o hospital C, por outro lado, investe na geração própria de energia limpa por meio de energia eólica e de painéis fotovoltaicos.

Embora os hospitais A, B e C apresentem iniciativas relevantes voltadas à redução do consumo energético como a adoção de medidas estruturais, contratos diferenciados e metas institucionais, verifica-se a ausência de TD específicas voltadas ao monitoramento e controle automatizado desse recurso. Tal lacuna representa uma limitação significativa, uma vez que restringe a aplicação de análises preditivas e a implementação de estratégias contínuas de otimização.

Em relação a gestão hídrica, embora o hospital A não utilize TD para esse fim, ele adotou estratégias contratuais e operacionais para promover o uso consciente da água e reduzir custos. Entre elas, está o "contrato de demanda firme" com a fornecedora, que estabelece um volume fixo com tarifas diferenciadas, incentivando a previsibilidade orçamentária. Além disso, realiza análises regulares da água residual para garantir conformidade ambiental e obter descontos na tarifa de esgoto, unindo responsabilidade ambiental e benefício econômico.

Os demais hospitais analisados adotaram medidas operacionais para promover o uso racional da água, como instalação de dispositivos economizadores (estabilizadores e arejadores), sua reutilização em setores específicos e seu monitoramento por indicadores de desempenho. Entretanto nenhum dos hospitais investigados utiliza tecnologias H4.0 para a gestão hídrica, evidenciando uma oportunidade de avanço rumo à sustentabilidade inteligente.

5.4.1.4 Gestão e reaproveitamento de resíduos com foco em economia circular

A gestão de resíduos hospitalares vem se tornando cada vez mais estratégica nos modelos de sustentabilidade institucional, especialmente quando associada aos princípios da economia circular, que buscam reduzir, reutilizar e transformar resíduos em novos recursos (SEPETIS *et al.*, 2025). Entre os hospitais analisados, destacam-se ações, ainda sem suporte de TD, como segregação de resíduos, logística reversa, reutilização de materiais, e até transformação de resíduos em novos produtos. Tais iniciativas contribuem para a diminuição do volume de resíduos enviado a aterros sanitários, reduzem o impacto ambiental do descarte e promovem ciclos produtivos mais sustentáveis.

Ainda que essas práticas representem progressos importantes, a incorporação de soluções digitais seria relevante para tornar a gestão de resíduos mais eficiente, segura e integrada, além

de potencializar estratégias de redução, reutilização e reciclagem alinhadas aos princípios da economia circular e da sustentabilidade ambiental (SHARMA *et al.*, 2025). A ausência de tecnologias H4.0 para suportar essas atividades é uma lacuna que limita a capacidade de monitorar seus resíduos em tempo real, rastrear fluxos com precisão e tomar decisões baseadas em dados.

5.4.1.5 Controle das emissões de gases de efeito estufa

A redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) tem ganhado destaque nas estratégias de sustentabilidade ambiental em hospitais, especialmente em virtude dos impactos gerados por deslocamentos, uso de anestésicos, destinação inadequada de resíduos, dentre outros (QUITMANN *et al.*, 2021). O uso de TD é um diferencial importante nesse processo, pois além de reduzir as emissões do GEE, permitem o monitoramento automatizado do consumo dos gases anestésicos usados em cirurgias, a rastreabilidade dos dados de emissão e a geração de indicadores ambientais mais precisos (SCHMIDT; BOHNET-JOSCHKO, 2022).

Todos os hospitais analisados contribuem para a redução do GEE por meio da telemedicina em função da diminuição dos deslocamentos. O hospital B também atua na redução dessa emissão, ao utilizar nos centros cirúrgicos a ficha anestésica digital integrada a plataforma MV® e ao monitor de sinais vitais. A integração dessas tecnologias possibilita o controle da dosagem exata de gases anestésicos usados nas cirurgias. Esses gases, como o óxido nitroso e o desflurano, frequentemente são liberados no ambiente com impactos no aquecimento global. Porém ao ajustar com precisão sua liberação, o sistema ajuda a minimizar a emissão desses gases e seu desperdício.

Os hospitais C e D utilizam respectivamente as plataformas MV® e Philips Tasy® para coletar automaticamente dados operacionais (emissões diretas e indiretas de GEE, como as provenientes do uso de anestésicos, energia, transporte e resíduos) e enviá-los aos sistemas de cálculo em uma plataforma digital ambiental denominada *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol). Essa plataforma oferece diretrizes e ferramentas internacionais padronizadas para a mensuração, reporte e gestão das emissões de GEE (KEIL, 2023). Os hospitais utilizam essa plataforma para calcular suas emissões a fim de elaborar inventários anuais, identificar suas fontes de emissão e implementar ações de redução e compensação ambiental, como por exemplo, o plantio de árvores para neutralização de carbono. Essa prática fortalece a sustentabilidade institucional e permite maior transparência e alinhamento com políticas ambientais globais.

5.4.1.6 Digitalização de processos e redução do uso de papel

O uso de TD permite a digitalização de diversos processos hospitalares, reduzindo significativamente o consumo de papel e os impactos associados à sua produção e descarte, que são o uso intensivo de água, energia e geração de resíduos sólidos (AMANTEA; QUARANTA, 2024). Nesse contexto, os hospitais analisados vêm incorporando TD como Philips Tasy®, MV®, OnBase®, Qlik Sense®, e Interact®.

Os hospitais B, C e D se destacam por substituir documentos físicos por fluxos digitais automatizados, o que reforça o cenário de transformação digital voltada à sustentabilidade ambiental. No hospital B, por exemplo, a ficha anestésica digital é integrada a plataforma MV® e aos monitores de sinais vitais, o que permite o registro automático das informações clínicas durante os procedimentos cirúrgicos, eliminando a necessidade de anotações manuais. No hospital C, as tecnologias MV® e OnBase® são utilizados para consolidar a digitalização das rotinas clínicas e administrativas. O MV® é empregado na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) para integrar os monitores de sinais vitais ao prontuário eletrônico, permitindo o registro automático dos dados clínicos em tempo real e eliminando a necessidade de anotações manuais e do uso diário de folhas impressas. Já o OnBase® viabiliza a assinatura digital de documentos clínicos e administrativos, substituindo os registros em papel por fluxos digitais seguros e rastreáveis. O hospital D utiliza o software Interact Soluctions® para a centralização de normas e procedimentos operacionais padrão em um repositório digital.

5.4.2 Sustentabilidade Social

Todos os hospitais utilizam, em alguma medida, soluções tecnológicas aplicadas à gestão da sustentabilidade social, embora com diferentes níveis de abrangência e desenvoltura digital. Esta análise será estruturada a partir de três subtemas principais: (1) Equidade e democratização no atendimento, (2) Melhoria da qualidade dos atendimentos e segurança do paciente, e (3) Capacitação e assistência aos profissionais.

5.4.2.1 Equidade e democratização no atendimento

Equidade em saúde é o princípio que assegura a todas as pessoas o acesso justo e adequado aos serviços de saúde, levando em conta suas necessidades específicas. Já a democratização do atendimento diz respeito à ampliação do alcance desses serviços. Nesse

contexto, o uso de TD torna-se essencial, pois possibilita um sistema de saúde mais inclusivo e acessível (RIZOS *et al.*, 2025).

O uso da telemedicina, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental - conforme discutido anteriormente - também exerce um papel relevante na sustentabilidade social, eliminando barreiras geográficas e ampliando a conectividade entre pacientes e profissionais da saúde. Entre os hospitais analisados, observa-se que a telemedicina tem sido adotada como uma estratégia eficaz para ampliar o acesso aos serviços de saúde, com especial destaque para as populações atendidas por programas públicos, como o SUS.

Os hospitais C e D evidenciam maior compromisso com a equidade por atuarem diretamente com o SUS e promoverem integrações entre diferentes níveis da rede pública. O hospital C realiza interconsultas a pacientes do SUS por meio do PROADI-SUS, conectando especialistas a regiões com acesso limitado à saúde. Essa atuação em parceria com o Ministério da Saúde amplia significativamente a democratização do cuidado de saúde. O hospital D realiza teleinterconsultas entre médicos especialistas do hospital e clínicos gerais das UBS da prefeitura municipal, reduzindo desigualdades no acesso a especialistas.

5.4.2.2 Melhoria da qualidade dos atendimentos e segurança do paciente

A qualidade e a segurança do atendimento são pilares fundamentais na assistência hospitalar pois impactam diretamente os desfechos clínicos, a confiança dos pacientes e a eficiência dos serviços de saúde. Reduzir riscos, prevenir falhas e garantir processos assistenciais bem coordenados são desafios centrais para instituições que buscam excelência. Nesse cenário, o uso de TD tem se mostrado um recurso importante para aprimorar a qualidade e a segurança (TIRITEU *et al.*, 2024).

O hospital C apresenta um ecossistema robusto voltado à qualidade e segurança. Utiliza a plataforma Eluxeo®, uma tecnologia de processamento avançado de imagem aplicada à endoscopia para aumentar a precisão diagnóstica e a efetividade de tratamentos. Também utiliza o software RapidPlan® baseado em IA, utilizado para planejamento automatizado de tratamentos de radioterapia. Ele usa *machine learning* e aplica o conhecimento a partir dele gerado para criar novos planos otimizados, melhorando a precisão dos tratamentos radioterápicos e aumentando a segurança do paciente. Somado a isso, o hospital C utiliza IoT para aprimorar a segurança de recém-nascidos, por meio de um sistema de *beacons* (pequenos dispositivos de transmissão de sinal por tecnologia *Bluetooth* de Baixa Energia que enviam sinais a curta distância para outros dispositivos, como *smartphones*, *tablets* ou sensores

próximos) instalados em pulseiras, uma para a mãe e outra para o bebê. Esse sistema permite rastrear a localização do bebê em tempo real e, caso ele se afaste mais de 3 metros da mãe ou tenha sua pulseira violada, o sistema detecta a mudança e aciona automaticamente um alarme, onde as portas do hospital são trancadas para evitar a saída não autorizada do bebê. Além disso, o hospital C emprega tecnologias robóticas em procedimentos cirúrgicos, prática também adotada pelo hospital B, que conferem maior segurança, tornam as intervenções menos invasivas e reduzem a incidência de complicações pós-operatórias, contribuindo para a melhora na experiência e satisfação dos pacientes.

O hospital D utiliza a tecnologia de *m-health* por meio de dispositivos móveis denominado *Personal Digital Assistant* (PDA) integrados às pulseiras de identificação dos pacientes com códigos de barras. Essa tecnologia permite que os profissionais de enfermagem acessem instantaneamente o prontuário eletrônico do paciente, visualizem as medicações prescritas e registrem a administração dos medicamentos em tempo real, diretamente no dispositivo. Além disso, cada unidade de medicação é identificada individualmente, possibilitando a rastreabilidade completa de informações como princípio ativo, lote e validade. Essa integração promove maior segurança na administração dos medicamentos, reduz erros, agiliza o atendimento e garante o controle automatizado dos estoques, contribuindo tanto para a sustentabilidade social quanto para a eficiência operacional do hospital.

O hospital A utiliza o software SHIFT® no setor de laboratório para gerenciar atividades operacionais e administrativas, contribuindo significativamente para a qualidade e segurança do atendimento. Sua funcionalidade de rastreabilidade das amostras, aliada à integração direta com equipamentos de análise, reduz a ocorrência de erros manuais e retrabalhos, assegurando maior precisão nos resultados. Além disso, ao agilizar os processos e garantir a integridade das informações laboratoriais, o sistema fortalece a confiabilidade dos diagnósticos.

5.4.2.3 Capacitação e assistência aos profissionais

A qualificação contínua das equipes de saúde é fundamental para assegurar qualidade, segurança e inovação no ambiente hospitalar. Em contextos complexos como os hospitais, a capacitação dos profissionais não apenas fortalece as competências clínicas e administrativas, mas também promove engajamento, bem-estar e retenção de talentos. O uso de TD vem se consolidando como estratégia-chave nesse processo, ao viabilizar plataformas de ensino a distância, treinamentos personalizados, acesso remoto a conteúdos e automatização da gestão

do conhecimento (GUPTA *et al.*, 2019). No contexto da sustentabilidade social, essas tecnologias contribuem para ambientes de trabalho mais colaborativos.

O hospital B utiliza a *M-health* por meio do *software* HMED®, instalado em *tablets* e celulares da equipe médica que, integrado à plataforma MV®, facilita significativamente a rotina dos profissionais ao permitir acesso rápido e remoto aos prontuários eletrônicos dos pacientes. Com ele, médicos conseguem consultar informações clínicas, solicitar exames, prescrever medicamentos e registrar evoluções em tempo real, diretamente do leito ou de outros pontos do hospital. Essa mobilidade e integração otimizam o fluxo de trabalho, reduzem o tempo de resposta e fortalecem a continuidade dos cuidados de saúde, promovendo mais autonomia, precisão e agilidade no atendimento médico.

Para capacitar seus funcionários, o hospital B utiliza a plataforma Medportal®, que oferece cursos e trilhas de aprendizagem *online* aos seus colaboradores, promovendo sua qualificação contínua. Já os hospitais A e D utilizam a plataforma Philips Tasy®, enquanto o hospital **C** utiliza a plataforma MV® para capacitar seus profissionais. Em todos os casos, os treinamentos também são de forma *online*, organizados pelo setor de educação continuada em parceria com o setor de recursos humanos.

5.4.3 Sustentabilidade Econômica

Todos os hospitais analisados utilizam algum tipo de tecnologia digital aplicada à gestão da sustentabilidade econômica, e, diferentemente das outras dimensões da sustentabilidade, observa-se uma atuação mais consistente e estratégica nesse eixo. Esta análise será estruturada a partir de três subtemas principais: 1- Eficiência operacional; 2- Faturamento, receitas e controle financeiro; e 3- Auxílio à tomada de decisão estratégica e gerencial.

5.4.3.1 Eficiência operacional

A eficiência operacional é um elemento central para a sustentabilidade econômica no setor hospitalar, especialmente em um contexto de crescente complexidade assistencial e limitação de recursos. Otimizar processos, minimizar desperdícios e aumentar a produtividade das equipes são estratégias essenciais para garantir a continuidade dos serviços com qualidade e viabilidade financeira. Nesse cenário, o uso de TD tem desempenhado um papel decisivo ao integrar sistemas, aumentar a interoperabilidade entre os setores e promover maior controle sobre os fluxos operacionais e financeiros (TIRITEU *et al.*, 2024).

Os hospitais A e D utilizam a plataforma Philips Tasy®, enquanto os hospitais B e C operam com a plataforma MV®, ambas integradas ao prontuário eletrônico do paciente para centralizar todas as suas informações clínicas e administrativas, desde a admissão, consultas, exames e procedimentos realizados, até internações, medicações prescritas e alta hospitalar. Essas plataformas funcionam por meio de *cloud computing* (computação em nuvem), tecnologia que permite o armazenamento e o processamento de dados em servidores remotos acessados via internet. Essa estrutura garante acesso seguro, contínuo e em tempo real às informações, pois promove maior agilidade no fluxo de dados, redução de erros e retrabalhos, e evita a duplicidade de informações, o que contribui significativamente para a eficiência operacional.

O Hospital C também aplica IA na automatização das escalas de trabalho dos profissionais de enfermagem, substituindo processos manuais por algoritmos que consideram variáveis como carga horária, especialidades, disponibilidade e demanda assistencial. Essa tecnologia permite uma alocação mais eficiente dos recursos humanos, reduzindo o tempo de planejamento, minimizando conflitos de escala e evitando sobrecarga de trabalho. Como resultado, há aumento da produtividade das equipes e maior equilíbrio entre qualidade assistencial e bem-estar dos profissionais.

5.4.3.2 Faturamento, receitas e controle financeiro

A gestão eficiente do faturamento e das receitas hospitalares é essencial para a sustentabilidade econômica dos hospitais, pois impacta diretamente na viabilidade financeira, na capacidade de investimento e na qualidade dos serviços prestados. Nesse contexto, as TD exercem um papel estratégico ao automatizar processos de cobrança, reduzir erros nos registros clínicos e integrar sistemas financeiros e assistenciais. Essas soluções otimizam o ciclo de receitas, diminuem o tempo de faturamento, reduzem glosas (recusas de pagamento por parte das operadoras) e promovem maior transparência nos fluxos financeiros (ARORA et al., 2024).

O hospital A utiliza o *software* GIF® no setor de faturamento, o que tem contribuído para agilizar os processos de contas a pagar e a receber. Com essa tecnologia por exemplo, o hospital reduziu em 10 dias o tempo para faturar as despesas do paciente e diminuiu erros que levariam às glosas. O Hospital B apresenta uma estratégia eficiente de integração entre os sistemas clínicos e financeiros por meio da plataforma MV®, o que fortalece o controle sobre os dados utilizados nos processos de faturamento. As informações geradas durante os atendimentos são automaticamente transmitidas ao setor responsável pela cobrança, o que reduz

significativamente erros de codificação e inconsistências nos relatórios enviados às operadoras de saúde, e também tem contribuído para a diminuição de glosas.

O hospital C, além de utilizar a plataforma MV® para esse mesmo fim, utiliza o *software* Qlik Sense® para análises financeiras detalhadas, ajudando na avaliação de custos por setor e na gestão de contratos com as operadoras de saúde. O hospital D, por sua vez, utiliza o software KPIH®, voltado ao controle de indicadores financeiros. Essa ferramenta integra dados clínicos, administrativos e contábeis, permitindo identificar desperdícios, avaliar custos por procedimento e melhorar a gestão orçamentária com base em dados consolidados.

5.4.3.3 Auxílio à tomada de decisão estratégica e gerencial

A tomada de decisão estratégica e gerencial em ambientes hospitalares exige acesso a dados confiáveis e isso gera rapidez e precisão (CAVALLONE; PALUMBO, 2020). Nesse cenário, o uso de TD tem se mostrado fundamental ao fornecer painéis digitais de indicadores, relatórios automatizados e sistemas de apoio à decisão baseados nas informações clínicas, administrativas e financeiras. Esses recursos possibilitam uma visão sistêmica da instituição, facilitam o planejamento, otimizam recursos e aumentam a assertividade na definição de metas e ações de melhoria (ACETO et al., 2020). Nesse contexto, os hospitais analisados vêm incorporando TD como Weknow®, Qlik Sense®, Power BI® e Interact®, que são ferramentas de *Business Intelligence* com alta capacidade de integração com múltiplos sistemas, que permitem consolidar dados de diferentes setores em dashboards gerenciais interativos, promovendo análises estratégicas em tempo real e decisões mais embasadas e eficazes.

O hospital A utiliza o *software* Weknow®, que se conecta aos demais sistemas hospitalares e extrai dados gerenciais e os organiza em formato de *dashboards* interativos. Esses dados são utilizados no sistema de gestão à vista eletrônico, exibidos em monitores nos setores de internação para apresentar, em tempo real, informações como ocupação de leitos, tempo de permanência dos pacientes e responsáveis técnicos. Isso contribui para decisões operacionais mais ágeis e melhora o fluxo de internações e altas. Além disso, o Weknow® tem sido uma ferramenta estratégica no monitoramento epidemiológico. Ele vem sendo utilizado no gerenciamento de surtos de dengue ao integrar e analisar dados estatísticos como número de casos, distribuição geográfica, faixa etária dos pacientes e horários de maior demanda. Essas informações permitem ao hospital identificar gargalos no atendimento, revisar protocolos clínicos e, com base em evidências, tomar decisões como reorganizar escalas médicas ou

priorizar a liberação de exames laboratoriais, tornando a resposta institucional mais eficiente e proativa.

O hospital B utiliza o *software* Power BI® para gerar análises estratégicas que apoiam os gestores clínicos, administrativos e operacionais, por meio de relatórios dinâmicos e interativos. A ferramenta também tem sido essencial para a avaliação detalhada do desempenho financeiro de cada operadora de saúde, facilitando a identificação das que mais glosam e daquelas que proporcionam maior receita. Com base nessas análises, o hospital tem embasado suas decisões na renegociação e gestão de contratos. Os hospitais C e D utilizam o *software* Qlik Sense® para integrar e analisar grandes volumes de dados provenientes de diferentes setores e a partir disso, auxiliar na tomada de decisão. Já o hospital D utiliza o *software* Interact Solutions® para o *benchmarking* com outros hospitais. A plataforma possibilita que gestores comparem o desempenho de seus indicadores-chave com os de organizações semelhantes em tamanho e setor, por meio de análises em tempo real. Essa capacidade de *benchmarking* auxilia na identificação de oportunidades de melhoria, promovendo decisões estratégicas mais embasadas.

5.5 DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO E GESTÃO DA SH COM BASE EM IMPUTS TEÓRICOS E EMPÍRICOS

A incorporação das tecnologias H4.0 tem se destacado como um fator crucial para a modernização dos hospitais, o que contribui para sua sustentabilidade (TORTORELLA *et al.*, 2020b). Nesse contexto, as diretrizes apresentadas nessa seção foram elaboradas para apoiar hospitais com diferentes níveis de desenvoltura tecnológica, desde aqueles que estão iniciando sua jornada digital até os que já possuem um nível avançado. Essas evoluções tecnológicas permitirão aos hospitais aprimorarem sua gestão, aumentar a qualidade do atendimento e avançar rumo a uma desenvoltura digital, promovendo impactos positivos ambientais, sociais e econômicos.

Hospitais com Baixa Desenvoltura Tecnológica (HBDT) geralmente possuem pouca ou nenhuma infraestrutura digital implantada. Realizam a maioria dos processos de forma manual ou com uso limitado de tecnologias básicas. Esses hospitais geralmente enfrentam limitações de recursos humanos e financeiros, o que dificulta a adoção tecnológica. Para esse grupo, o foco deve estar na construção de uma base tecnológica sólida, começando pela digitalização de processos essenciais e pela implementação de sistemas simples, mas estratégicos, que possam gerar valor imediato e fortalecer o desenvolvimento da sustentabilidade.

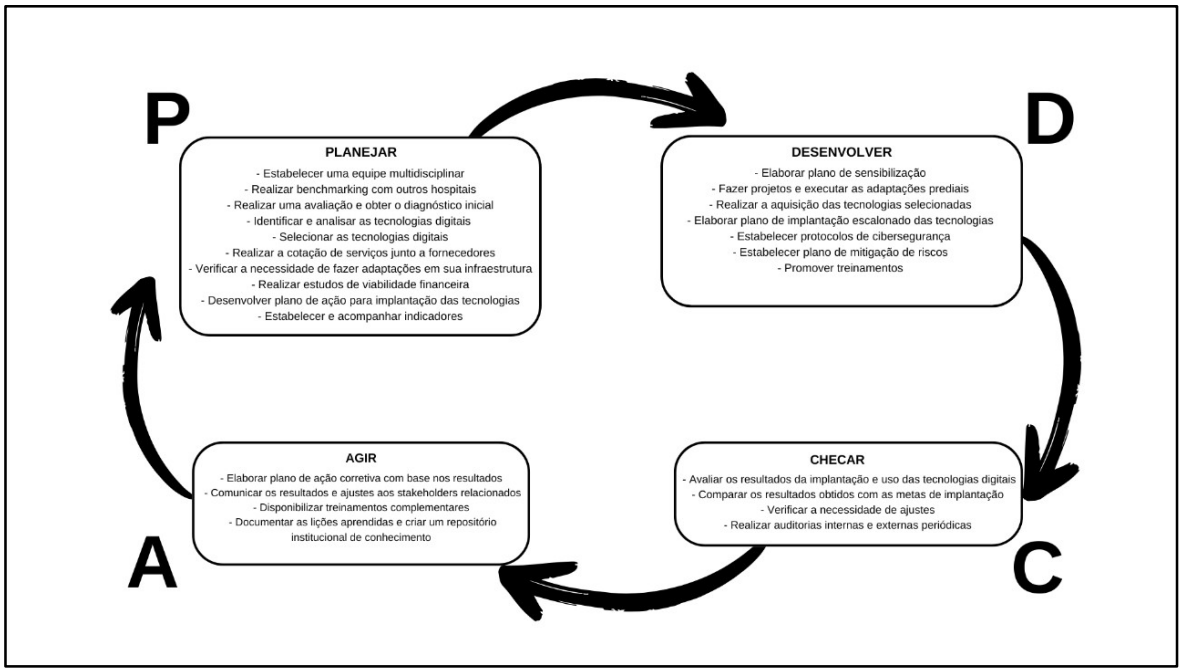
Hospitais com Média Desenvoltura Tecnológica (HMDT) geralmente já adotaram algumas soluções digitais em áreas específicas. Utilizam tecnologias menos avançadas como as TICs, que embora relevantes, ainda são restritas em várias funcionalidades se comparadas às tecnologias H4.0. Por isso, ainda enfrentam desafios na integração entre sistemas e na automação de processos. Além da expansão das TICs, o foco para esses hospitais deve estar no avanço tecnológico com o apoio das tecnologias H4.0, que permitem soluções mais robustas e integradas para aperfeiçoar significativamente a gestão da sustentabilidade nos hospitais.

Hospitais com Desenvoltura Tecnológica Avançada (HDTA) geralmente possuem uma infraestrutura digital consolidada e utilizam tecnologias sofisticadas para gestão, diagnóstico, tratamento e operação. Contudo, apesar desse nível de desenvoltura tecnológica, muitos ainda não exploram plenamente o potencial das tecnologias H4.0 para a gestão integrada e eficaz da sustentabilidade ambiental, social e econômica. Por isso, as diretrizes apresentadas também se destinam a esses hospitais, visando orientar a maximização do uso das tecnologias H4.0 para avançar a gestão da sustentabilidade.

Nesse cenário, o apoio de tecnologias H4.0 tem impulsionado os hospitais rumo a um modelo de gestão mais eficiente e sustentável. No entanto, para que essa transformação seja realmente eficaz e de fato contribua para a sustentabilidade, é essencial que os gestores se apoiem em orientações robustas para a implantação dessas tecnologias de maneira sistematizada. Neste contexto, as diretrizes apresentadas estão estruturadas de acordo com o ciclo PDCA (Planejar, Executar, Checar e Agir) (CHEN *et al.*, 2024), uma ferramenta de gestão que, nesse caso, aplicada aos processos hospitalares, permite estruturar, executar, monitorar e aperfeiçoar continuamente as atividades relacionadas à implantação das tecnologias H4.0 de forma a auxiliar o desenvolvimento da sustentabilidade.

Essas diretrizes foram estruturadas em cada fase do ciclo PDCA de forma evolutiva, o que significa que elas começam direcionadas aos hospitais com baixa desenvoltura tecnológica e, progressivamente, avançam para os níveis médio e alto. Dessa forma, cada hospital pode avaliar seu estágio atual de desenvoltura digital e aplicar as orientações mais adequadas ao seu contexto específico. Com isso, busca-se promover a melhoria contínua na gestão da sustentabilidade, permitindo que as instituições avancem de acordo com sua desenvoltura tecnológica para gerar impactos positivos ambientais, sociais e econômicos. A formulação dessas diretrizes considerou esses diferentes níveis de desenvoltura tecnológica e está fundamentada na literatura científica e nos estudos de caso. O resumo de todos estes elementos e a apresentação das diretrizes é visualizado na Figura 10.

Figura 10 - Diretrizes para o desenvolvimento e gestão da SH com base em *inputs* teóricos e empíricos



Fonte: Elaborado pelo autor

5.5.1 Planejar

As diretrizes que compõem esse item são:

- Estabelecer uma equipe multidisciplinar composta por profissionais do corpo clínico, administrativo e operacional. Essa equipe será responsável pelo planejamento, coordenação, monitoramento e avaliação das etapas de implantação de TD básicas, criando as condições essenciais para o desenvolvimento sustentável no ambiente hospitalar e avançar para o próximo nível. Para HMDT, acrescentar à equipe especialistas em Tecnologia da Informação (TI) focados em interoperabilidade de sistemas, analistas de dados em saúde, gestores de governança digital e representantes das áreas de inovação e sustentabilidade, assegurando conhecimento técnico especializado para impulsionar a gestão sustentável e a transformação digital. Para HDTA, capacitar sua equipe de profissionais de TI em cibersegurança avançada, análise preditiva de dados e gestão de sistemas inteligentes, visando promover a inovação contínua e a sustentabilidade de forma integrada. É fundamental o estabelecimento de equipes multidisciplinares garantindo a representatividade de todas as áreas impactadas (CHEN *et al.*, 2024).

- Realizar *benchmarking* com outros hospitais, buscando compreender o processo de implantação, boas práticas, principais desafios e seus resultados em relação à gestão da sustentabilidade. Para HMDT, realizar *benchmarking* com instituições mais maduras na integração de sistemas, automação e iniciativas sustentáveis. Para HDTA, realizar *benchmarking* com líderes do setor para aprimorar governança digital, inovação contínua e práticas avançadas de sustentabilidade. A utilização do *benchmarking* na gestão hospitalar permite a comparação imediata entre diferentes hospitais, informando se as estratégias adotadas são adequadas e efetivas (GONZÁLEZ et al., 2018).
- Realizar uma avaliação e obter o diagnóstico inicial com base no mapeamento das áreas prioritárias a serem implantadas as TD. Considerando que HMDT e HDTA já dispõem desse diagnóstico preliminar, recomenda-se que revisem e atualizem continuamente sua avaliação, aprofundando o mapeamento para identificar novas oportunidades de integração, expansão e inovação sustentável, alinhadas às suas capacidades tecnológicas crescentes. O mapeamento das áreas prioritárias é importante para identificar as operações/processos com maior potencial de impacto positivo na implementação de projetos (CORREIA et al., 2025).
- Identificar e analisar as TD básicas disponíveis no mercado para subsidiar a decisão de quais delas serão implantadas; considerando suas contribuições para a gestão da sustentabilidade. Para HMDT, recomenda-se a adoção de tecnologias H4.0, visando fortalecer a interoperabilidade dos sistemas com foco na ampliação dos benefícios sustentáveis. Importante ressaltar que a escolha das tecnologias deve estar diretamente relacionada aos objetivos e metas que o hospital estabelecer, sejam eles, ambientais, sociais ou econômicos. HDTA devem planejar a expansão das tecnologias H4.0, promovendo inovação constante para consolidar a sustentabilidade. A análise criteriosa das tecnologias a serem adquiridas contribui para maior efetividade de sua implementação (TORTORELLA et al., 2021).
- A seleção das TD, sejam elas básicas, intermediárias ou avançadas, deve estar diretamente alinhada aos resultados da avaliação e diagnóstico inicial, para a partir disso, subsidiar a escolha das soluções tecnológicas mais adequadas à realidade do hospital e seu potencial de contribuição para a gestão da sustentabilidade. Durante essa seleção, é importante levar em consideração tecnologias que atendam os pilares da sustentabilidade, priorizando aquelas com maior vida útil, baixo impacto ambiental, alta eficiência energética e compatibilidade com fontes renováveis. Além disso, deve-se dar preferência a soluções modulares (sistemas estruturados em partes independentes, ou módulos, que podem ser

implementados de forma gradual. Isso significa que hospitais, especialmente os de menor porte ou com recursos limitados, podem começar utilizando funcionalidades básicas e essenciais sem a necessidade de um grande investimento inicial) e soluções escaláveis (capacidade do sistema de crescer e suportar um aumento na demanda como mais usuários, dados ou funcionalidades, sem perda de desempenho ou necessidade de substituição total). Esses quesitos proporcionam maior flexibilidade na implantação e expansão das tecnologias (NAIK *et al.*, 2021), e são direcionados tanto para HBDT como HMDT e HDTA.

- Realizar a cotação de serviços junto a fornecedores especializados em TD, ajustando os critérios conforme o nível de desenvoltura tecnológica do hospital: para HBDT, priorizar custo-benefício, compatibilidade, suporte básico, usabilidade intuitiva e treinamentos acessíveis. Para HMDT, focar em soluções escaláveis, interoperáveis, personalizáveis e suporte avançado. Para HDTA, buscar fornecedores com expertise em segurança cibernética robusta, suporte especializado, treinamentos avançados e flexibilidade para customização contínua conforme demandas complexas. As organizações devem procurar fornecedores que ofereçam o máximo de eficiência nos resultados (SAHOO et al., 2024).
- Verificar a necessidade de fazer adaptações em sua infraestrutura como reforma de seus prédios para *upgrades* de rede e implementação de servidores robustos que suportem as demandas iniciais das TD. Em HMDT, realizar uma avaliação mais detalhada e abrangente das adaptações necessárias, contemplando também a integração de redes avançadas e expansão da capacidade de armazenamento e processamento, garantindo suporte eficiente. Para HDTA, planejar adaptações contínuas focadas em infraestrutura resiliente, assegurando disponibilidade necessária para suportar tecnologias avançadas. Adaptar continuamente a infraestrutura é essencial para garantir que a estrutura predial suporte eficazmente as demandas das tecnologias digitais (PEDRAL SAMPAIO *et al.*, 2023).
- Realizar estudos de viabilidade financeira para a aquisição de TD básicas, incluindo custos de manutenção, atualização e capacitação, assegurando que os investimentos contribuam para a gestão sustentável do hospital e, se necessário, buscar parcerias e financiamentos públicos ou privados para viabilizar o início do projeto. As parcerias público-privadas têm se mostrado fundamentais para o avanço da infraestrutura dos hospitais onde as restrições de recursos exigem soluções colaborativas (SEPETIS *et al.*, 2025). Para HMDT, o objetivo é assegurar a viabilidade econômica a longo prazo, considerando a expansão das tecnologias já implantadas ou a aquisição de soluções H4.0, também podendo recorrer a parcerias e financiamentos externos. Para HDTA, esses estudos devem ser aprofundados e

estratégicos, reconhecendo que os potenciais benefícios e riscos aumentam conforme a escala e complexidade dos investimentos.

- Desenvolver plano de ação para implantação das tecnologias, incluindo cronograma, prazos, responsáveis, objetivos e metas de forma alinhada às prioridades identificadas na avaliação e diagnóstico inicial. Considerando que os HMDT e HDTA já dispõem desse plano, recomenda-se que o revisem e o atualizem continuamente com base em evidências concretas e alinhadas com o desenvolvimento tecnológico contínuo e os objetivos de sustentabilidade institucional. Entender quais são as necessidades, requisitos e quem irá atuar com o projeto é fundamental na fase do planejamento (ȘTEFAN et al., 2024).
- Estabelecer e acompanhar indicadores de sustentabilidade ambiental, social e econômica antes da implantação das TD, visando criar uma linha base que possibilite a comparação dos resultados antes e depois da implantação. Para hospitais HMDT e HDTA, que já possuem indicadores estabelecidos, recomenda-se revisar, aprimorar e ampliar esses indicadores para capturar de forma mais precisa os resultados das tecnologias H4.0, possibilitando uma avaliação contínua dos resultados obtidos com foco na melhoria constante da gestão sustentável. O estabelecimento desses indicadores é extremamente importante para avaliar os projetos de sustentabilidade (MOLDOVAN et al., 2023).

5.5.2 Desenvolver/ Executar

As diretrizes que compõem esse item são:

- Elaborar plano de sensibilização direcionado a acionistas, gestores e funcionários, destacando a importância da transformação digital com o apoio das tecnologias H4.0, os benefícios esperados em termos de sustentabilidade e as contribuições para o desenvolvimento sustentável. Contribuir para os ODS na era da digitalização depende da capacidade coletiva e colaborativa de utilizar a tecnologia digital como uma ferramenta para promover práticas inovadoras, eficientes e alinhadas aos objetivos ambientais, sociais e econômicos globais (SAHA *et al.*, 2025). Esse plano deve incluir ações como palestras, reuniões, treinamentos e participação ativa, visando alinhamento estratégico, engajamento e apoio contínuo ao processo de implantação. Para HMDT, embora esses *players* já estejam sensibilizados, é fundamental fomentar o engajamento contínuo por meio de *workshops* interativos e fóruns de inovação, por exemplo, para promover maior envolvimento e cultura de inovação. Para HDTA, recomenda-se incorporar também programas de liderança em

inovação e painéis com especialistas em saúde, tecnologia, gestão e sustentabilidade para debater desafios, tendências e soluções relacionadas à transformação digital voltada para a gestão da sustentabilidade.

- Fazer projetos e executar as adaptações prediais para comportar os *upgrades* necessários como melhorias na rede elétrica, cabeamento estruturado e adequação de espaços físicos, garantindo, assim, a viabilidade da implantação das TD básicas. Já para HMDT, os projetos devem contemplar intervenções mais sofisticadas, incluindo a modernização das redes de comunicação, ampliação da capacidade de armazenamento e implementação de sistemas de *backup*, assegurando suporte adequado para a integração e expansão das tecnologias H4.0 já iniciadas. Para HDTA, as adaptações prediais devem ser realizadas para incorporar infraestruturas avançadas, como redes de tecnologia móvel de quinta geração (5G) e ambientes preparados para tecnologias emergentes, visando a continuidade da inovação e a escalabilidade dos sistemas. Tornar os edifícios interativos e imersivos é uma transformação inevitável para os sistemas inteligentes de edifícios hospitalares (PEDRAL SAMPAIO et al., 2023).
- Realizar a aquisição das tecnologias selecionadas, sejam elas para HBDT, HMDT ou HDTA, garantindo que os processos de compra estejam alinhados aos objetivos estratégicos, planejamento financeiro, critérios de escalabilidade e compatibilidade com a infraestrutura existente do hospital e aos requisitos de sustentabilidade estabelecidos na etapa de planejamento do ciclo PDCA. Incorporar as aquisições da organização aos propósitos da sustentabilidade é fundamental para assegurar que seus investimentos promovam impactos positivos ambientais, sociais e econômicos (RAJAGOPALAN et al., 2023).
- Elaborar plano de implantação escalonado das TD básicas, iniciando por um projeto piloto, e testando a aplicação dessas tecnologias antes de expandi-la para outros setores. Por exemplo, a implementação do Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP) deve ser iniciada nos processos clínicos. Posteriormente ele pode ser integrado às possíveis novas TICs ou a tecnologias H4.0 e implantado nas áreas administrativas de forma conectada com as áreas clínicas. Isso gera mais impactos positivos para a gestão da sustentabilidade. A transição para os registros eletrônicos de saúde pode ajudar a armazenar, classificar e acelerar o processamento dos dados dos pacientes (SENBEKOV *et al.*, 2020). Para HMDT, o PEP deve ser integrado com as tecnologias H4.0 adquiridas, visando estabelecer bases sólidas para avanços progressivos a fim de melhorar processos e aprimorar a gestão sustentável. Em HDTA, o plano deve contemplar a integração avançada do PEP com tecnologias H4.0. Essa integração avançada possibilitará o acesso a mais funcionalidades e resultará em análises de

dados mais complexos para gerar *insights* preditivos e capacidade de adaptação dinâmica às necessidades clínicas e organizacionais.

- Estabelecer protocolos de cibersegurança que garantam a proteção dos dados dos pacientes, assegurando a confidencialidade, integridade e disponibilidade das informações, fundamentais para reforçar a segurança do paciente, contribuindo para a sustentabilidade social. Para HMDT, recomenda-se aprimorar esses protocolos com controles de acesso mais rigorosos, monitoramento contínuo e capacidade de resposta rápida a incidentes, ampliando a segurança e promovendo também a sustentabilidade econômica. Já para HDTA, é essencial adotar uma governança robusta de segurança cibernética, com auditorias regulares, utilização de inteligência artificial para detecção proativa de ameaças e estrito *compliance* com normas internacionais, fortalecendo assim a resiliência institucional diante de ambientes digitais complexos e dinâmicos. Os hospitais precisam investir capital e esforços consideráveis na proteção de seus sistemas pois os hospitais são organizações com alta complexidade de tecnologias (JALALI; KAISER, 2018).
- Estabelecer plano de mitigação de riscos considerando desafios como resistência à mudança, falhas de infraestrutura, limitações orçamentárias, problemas de interoperabilidade e riscos à segurança da informação. O plano deve incluir ações preventivas, planos de contingência, definição de responsáveis e mecanismos de monitoramento contínuo, com o objetivo de promover maior resiliência e eficiência financeira ao longo do processo de transformação digital, assegurado assim a sustentabilidade econômica. Para HMDT e HDTA, é imprescindível implementar estratégias de mitigação de riscos mais robustos, por meio de, por exemplo, monitoramento contínuo e proativo e planos de contingência minuciosos, visando obter respostas ágeis e eficazes frente a desafios mais complexos. É fundamental que os hospitais tenham um plano de mitigação de riscos contra-ataques cibernéticos para proteger dados sensíveis, garantir a continuidade das operações e preservar a confiança de usuários e parceiros (SIMION LUDUȘANU *et al.*, 2025).
- Promover treinamentos voltados ao desenvolvimento das habilidades essenciais para a adoção gradual das TD básicas às tecnologias H4.0, preparando os profissionais do hospital para as novas demandas do ambiente digital ao mesmo tempo em que fortalece a cultura organizacional em torno dos benefícios da inovação tecnológica em prol da sustentabilidade. Para HMDT, recomenda-se treinamentos com foco em interoperabilidade de sistemas, análise avançada de dados e gestão de inovação sempre alinhada à promoção dos pilares da sustentabilidade. Para HDTA, os programas de treinamento devem ser ainda mais complexos, abrangendo competências avançadas em segurança cibernética, automação

inteligente e governança digital, além de estimular uma cultura organizacional proativa voltada para a inovação contínua e a excelência na gestão sustentável. Em todos os níveis de desenvoltura tecnológica dos hospitais, o desenvolvimento das habilidades dos profissionais é fundamental para garantir a adoção efetiva das tecnologias que potencializam a sustentabilidade no ambiente hospitalar (JOSE et al., 2023).

5.5.3 Checar

- Avaliar os resultados da implantação e uso das TD com base nos indicadores de sustentabilidade ambiental, social e econômica definidos na fase de planejamento. Para isso, os hospitais devem medir esses indicadores tanto antes quanto depois da implantação de cada tecnologia, permitindo uma comparação precisa dos impactos gerados. É importante ressaltar que os indicadores devem ter um grau de complexidade proporcional ao nível de funcionalidades das tecnologias adquiridas, garantindo que os objetivos e os respectivos indicadores reflitam adequadamente o impacto esperado conforme a solução digital implementada. Por exemplo, HBDT ao iniciarem sua jornada digital pela implementação do prontuário eletrônico do paciente, podem instituir indicadores específicos para mensurar os impactos dessa digitalização. Por exemplo, podem estabelecer o indicador ambiental "Volume de resíduos sólidos" para mensurar o uso de papel, uma vez que a digitalização substitui registros em papel por arquivos eletrônicos, reduzindo significativamente o consumo de papel e a geração de resíduos sólidos no hospital. Consequentemente, o indicador social "Tempo médio de atendimento" pode ser utilizado para avaliar a agilidade dos processos clínicos decorrente dessa digitalização, e o indicador econômico "Percentagem de retrabalho" pode ser aplicado para avaliar a produtividade, já que se espera uma diminuição de erros e retrabalhos com a adoção dessa tecnologia. Em HMDT, esses podem adquirir, por exemplo, tecnologias H4.0 como IoT, *Big Data* e IA para melhorar sua eficiência energética. A partir disso, eles podem estabelecer o indicador ambiental "Consumo de Energia por metro quadrado" para mensurar a redução do uso energético decorrente das funcionalidades de monitoramento inteligente e automação dos sistemas elétricos proporcionados pela tecnologias supracitadas. Consequentemente, o indicador social "Índice de satisfação dos usuários quanto ao conforto ambiental" pode ser utilizado para avaliar a melhoria nas condições ambientais internas, refletindo no bem-estar de pacientes e colaboradores. Além disso, o indicador econômico "Custos com energia elétrica" pode ser adotado para medir a economia financeira decorrente da otimização do consumo

energético. Esses indicadores permitem uma avaliação de sustentabilidade integrada proporcionada pelo apoio dessas tecnologias. Em HDTA, a adoção da tecnologia H4.0 Healthcare Robotics, por exemplo, pode proporcionar avanços significativos na automação de procedimentos clínicos, contribuindo para a melhoria da sustentabilidade hospitalar. Para avaliar esses benefícios, pode-se estabelecer o indicador ambiental "Consumo de materiais descartáveis", que quantifica a utilização de insumos médicos, evidenciando como a precisão e eficiência proporcionadas pela robótica contribuem para a redução do desperdício e minimizam o impacto ambiental. No aspecto social, o indicador "Índice de segurança e satisfação dos pacientes" pode ser utilizado para avaliar a melhoria na qualidade e segurança do atendimento, decorrente da redução de erros e da maior precisão nos procedimentos assistidos pela robótica. Do ponto de vista econômico, o indicador "Tempo médio de internação após cirurgia assistida por robôs" é fundamental para mensurar a eficiência desse processo, uma vez que a redução do tempo de internação implica em menor ocupação de leitos, diminuição de custos hospitalares e otimização de recursos. Mensurar os efeitos da implementação do H4.0 no desempenho dos hospitais é essencial para avaliar a eficácia das tecnologias adotadas, identificar oportunidades de melhoria e garantir o alinhamento com os objetivos de sustentabilidade (TORTORELLA et al., 2022).

- Comparar os resultados obtidos com as metas do plano de implantação estabelecidas, identificando inconsistências, limitações ou obstáculos que possam comprometer a eficiência da implantação e o desempenho organizacional. Essa avaliação deve ser realizada em todos os níveis de desenvoltura tecnológica pois é essencial para ajustar estratégias e garantir o alcance dos objetivos institucionais (ȘTEFAN et al., 2024).
- Verificar a necessidade de ajustes em termos de prazos, recursos e metas durante o desenvolvimento do plano de implantação tecnológica para garantir que esse processo continue alinhado aos objetivos ambientais, sociais e econômicos e às reais capacidades do hospital. Essa diretriz pode ser generalizada para todos os níveis de desenvoltura tecnológica pois a necessidade de ajustes contínuos no planejamento é uma prática fundamental em qualquer processo de implantação para futuras ações, independentemente do seu nível digital. Monitoramento contínuo e avaliações pós-implantação robustas e detalhadas são necessárias para garantir a efetividade e o alinhamento constante da transformação digital com as necessidades específicas de cada hospital (KOCAK *et al.*, 2025).
- Realizar auditorias internas periódicas para verificar a conformidade dos processos hospitalares que tiveram modificações em função das tecnologias implantadas e identificar oportunidades de melhoria. Esse objetivo é comum a todos os níveis de desenvoltura

tecnológica dos hospitais. No entanto, a abrangência e a profundidade dessas auditorias variam conforme o nível de cada instituição. Nos HBDT, as auditorias devem subsidiar a avaliação do desempenho das tecnologias básicas, considerando sua adequação às necessidades identificadas, o nível de usabilidade e a aceitação dos profissionais. Para HMDT e HDTA, recomenda-se avaliar a conformidade dos processos relacionados à integração entre diferentes tecnologias, interoperabilidade e aspectos fundamentais de segurança cibernética. Essas auditorias devem considerar critérios mais detalhados, como a eficiência na automação de processos, o grau de adesão dos usuários, a usabilidade aprimorada das ferramentas digitais e aspectos de segurança cibernética. Importante ressaltar que os HMDT e HDTA devem também realizar auditorias externas para validação independente da segurança, conformidade normativa e governança tecnológica, fortalecendo a transparência e a credibilidade perante órgãos reguladores, pacientes e demais *stakeholders*. Essa prática é especialmente recomendada devido à complexidade dos sistemas, à quantidade de dados sensíveis e às maiores exigências regulatórias (HUT-MOSSEL *et al.*, 2017).

5.5.4 Agir

- Elaborar plano de ação corretiva com base nos resultados dos indicadores, avaliações e auditorias, priorizando a resolução de inconsistências, limitações e obstáculos que comprometam o desempenho das tecnologias implantadas para contribuir de forma efetiva para a gestão da sustentabilidade. Essa diretriz é aplicável para todos os níveis de desenvoltura tecnológica pois a necessidade de identificar e corrigir falhas para aprimorar continuamente o desempenho dos sistemas é uma prática essencial independentemente do estágio de desenvoltura digital do hospital. Esse plano deve ser elaborado e aplicado de forma integrada nas esferas estratégica, tática e operacional, garantindo alinhamento institucional

  para efetiva adaptação às demandas ambientais, sociais e econômicas. O plano de ação corretiva é uma ação como forma de resposta após a revisão de resultados (LEE, 2022).
- Comunicar os resultados e ajustes aos *stakeholders* relacionados, assegurando transparência no processo de implantação e ampliando o apoio às próximas fases da transformação digital. Para HMDT recomenda-se a adoção de *dashboards* interativos e reuniões periódicas com painéis multidisciplinares, para fomentar a participação ativa, facilitar a tomada de decisão informada e promover o suporte necessário para a expansão e aprimoramento dos sistemas.

Já em HDTA, essa comunicação deve incluir relatórios detalhados que evidenciem os impactos das tecnologias implantadas na sustentabilidade ambiental, social e econômica, para consolidar o compromisso institucional com a inovação contínua e a gestão sustentável. Nos hospitais, o envolvimento dos *stakeholders* é essencial, dada a intersecção entre esferas de conhecimento especializado e autoridade para a tomada de decisão estratégica (DE CARVALHO; TONTINI, 2025).

- Disponibilizar treinamentos complementares específicos para as áreas que apresentaram menor adesão, desempenho ou entendimento das ferramentas digitais, abordando as dificuldades detectadas entre os profissionais e enfatizando a contribuição dessas tecnologias para o fortalecimento dos pilares ambiental, social e econômico da sustentabilidade. Para HMDT, esses treinamentos devem focar em resolver problemas práticos no uso cotidiano das tecnologias H4.0, aprimorar a colaboração entre equipes e promover a correta aplicação dos sistemas integrados para potencializar os ganhos em sustentabilidade. Já para HDTA, recomenda-se a oferta de capacitações avançadas e contínuas, com foco na atualização frente às novas funcionalidades, resolução de desafios complexos e aprimoramento da segurança da informação. Esses treinamentos são importantes para a adaptação das equipes às mudanças tecnológicas e às demandas da sustentabilidade integrada (JOSE *et al.*, 2023) .
- Documentar as lições aprendidas e criar um repositório institucional de conhecimento sobre o processo de implantação que possa orientar futuras iniciativas tecnológicas para auxiliar a gestão da sustentabilidade. Essa diretriz é aplicável para todos os níveis de desenvoltura tecnológica, pois a organização e sistematização dessas lições em um repositório acessível assegura a preservação e o uso contínuo dos aprendizados, além de garantir a transferência de conhecimento e a padronização das melhores práticas. O repositório deve ser elaborado como uma ferramenta institucional que organiza, formaliza e dissemina essas lições, identificando boas práticas, dificuldades enfrentadas e oportunidades de melhoria para o próximo nível de desenvoltura, institucionalizando o conhecimento e apoiando decisões futuras. Ele deve transcender a equipe atual, servindo como referência para projetos futuros de outras áreas e até mesmo outros hospitais de uma mesma corporação. Documentar lições aprendidas registra de forma inequívoca os resultados organizacionais, e a partir disso, o conhecimento está “cristalizado” e seu compartilhamento pode gerar mais conhecimento (ABBATE *et al.*, 2023).

5.6 CONCLUSÃO

A SH, desenvolvida com o apoio das tecnologias H4.0, consolida-se como um eixo estruturante da gestão contemporânea em saúde, tornando as operações hospitalares mais eficientes, humanas e responsáveis e acelerando o alinhamento do setor de saúde ao desenvolvimento sustentável global.

Com base nos resultados obtidos nos estudos de casos, pode-se concluir que os hospitais investigados apresentaram algumas aplicações das tecnologias H4.0 para apoiar a gestão da sustentabilidade, com maior frequência para o uso da telemedicina e *cloud computing*. No entanto, observa-se uma aplicação ainda desigual entre as instituições e entre as três dimensões da sustentabilidade. Embora todos os hospitais analisados tenham adotado algum tipo de tecnologia H4.0, a forma como essas tecnologias são aplicadas varia substancialmente de um hospital para outro. Alguns investem mais intensamente em soluções mais avançadas, enquanto outros estão em estágios iniciais ou limitados em sua implementação. Além disso, em todos os hospitais analisados, percebe-se que a maioria das práticas de sustentabilidade está voltada para a dimensão econômica, como redução de custos, aumento de produtividade e maior controle de estoques. Já, as dimensões ambiental (como gestão de resíduos ou consumo consciente de energia e água) e social (como valorização dos profissionais e melhoria do acesso ao atendimento) são menos priorizadas ou recebem menor aporte tecnológico. Isso revela a necessidade de um equilíbrio maior entre as três dimensões para que a sustentabilidade hospitalar seja efetivamente consolidada. Nesse sentido, torna-se fundamental que os hospitais avancem em estratégias integradas que ampliem o uso das tecnologias H4.0 de forma equilibrada, reconhecendo que as dimensões ambiental, social e econômica da sustentabilidade são interdependentes, ou seja, os benefícios obtidos em uma dimensão frequentemente refletem positivamente nas demais, promovendo resultados mais amplos e duradouros.

Este trabalho investigou como as tecnologias H4.0 contribuem para o desenvolvimento da sustentabilidade em hospitais. Com base na revisão da literatura científica, nos de estudos de caso e na expertise dos autores, foram elaboradas diretrizes que orientam o desenvolvimento da sustentabilidade hospitalar a partir dessas tecnologias. Dessa forma, foi possível alcançar o objetivo estabelecido e assim, preencher uma lacuna identificada na literatura, que apontava a necessidade de soluções estruturadas e compartilhamento de boas práticas para uma implantação mais efetiva da *Digital Health* no contexto hospitalar.

Este estudo contribui de forma científica e teórica ao criar um bloco teórico inédito integrando temas que, até então, eram pouco articulados na literatura sobre gestão da

sustentabilidade hospitalar. Ao aprofundar e expandir esses conceitos, a pesquisa oferece uma nova base conceitual que fomenta o avanço do debate acadêmico e abre caminhos para o desenvolvimento de investigações futuras. Esse paper contribui de forma aplicada e gerencial ao auxiliarem os hospitais públicos e privados na consolidação de práticas alinhadas aos ODSs da ONU. Elas promovem avanços no ODS 3 (Saúde e bem-estar), ao melhorar a qualidade e o acesso aos serviços de saúde; no ODS7 (Energia acessível e limpa) ao potencializar a eficiência energética dos hospitais; no ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), ao fomentar a digitalização e a inovação dos processos hospitalares; no ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), ao incentivar a gestão eficiente de recursos e a redução de desperdícios; e no ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), ao apoiar a adoção de práticas que mitigam impactos ambientais e emissões de gases de efeito estufa.

Entretanto, este estudo está delimitado às experiências e práticas observadas nos hospitais analisados, inseridos em um recorte específico do contexto brasileiro. Considerando as distintas realidades culturais, econômicas e tecnológicas presentes em outras regiões, é provável que outros fatores relevantes sobre a articulação entre sustentabilidade hospitalar e tecnologias H4.0 possam emergir. Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras investiguem hospitais situados em diferentes níveis de desenvoltura digital e contextos socioeconômicos variados, visando complementar e ampliar as diretrizes aqui apresentadas, fortalecendo a aplicabilidade e abrangência dos resultados obtidos.

6 CONCLUSÃO GERAL DA TESE

Os processos hospitalares, marcados por altos níveis de consumo e descarte, intensificam a degradação ambiental ao ultrapassar a capacidade de regeneração dos recursos naturais. Além disso, sua produção considerável de resíduos contribui para a poluição da água, do solo e do ar, acarretando consequências tanto sociais quanto econômicas, comprometendo diretamente o avanço em direção ao desenvolvimento sustentável. Este cenário pode ser melhorado por meio do desenvolvimento e gestão da SH, que, por sua vez, pode ser potencializada com a implantação e utilização das tecnologias H4.0.

A adoção dessas tecnologias proporciona aos hospitais inúmeras vantagens, dentre elas, ganhos de eficiência operacional; otimização de fluxos de trabalho; gestão de dados avançada; melhoria na qualidade do atendimento, promovendo uma abordagem mais integrada e centrada no paciente; redução de erros; aumento de segurança, agilidade e precisão nos processos de tomada de decisão; educação continuada para os profissionais de saúde, e diminuição de custos operacionais, tornando a gestão hospitalar mais precisa, ágil, assertiva e resiliente.

Entretanto, muitos desafios estão presentes na implantação e aplicação das tecnologias H4.0 no ambiente hospitalar, tornando a adoção dessas inovações uma tarefa complexa. A integração dessas tecnologias requer investimentos substanciais em infraestrutura, treinamento de pessoal e atualização de sistemas existentes, o que pode ser financeiramente exigente para as instituições de saúde, que muitas vezes operam com orçamentos limitados. Além disso, a transição para tecnologias H4.0 implica mudanças nos processos internos e na cultura organizacional dos hospitais. A resistência à mudança por parte dos profissionais de saúde e da administração pode representar um obstáculo significativo, uma vez que, a familiarização e a aceitação das novas práticas são essenciais para o sucesso da implantação. Outro desafio é a preocupação com a segurança e privacidade dos dados dos pacientes. O ambiente hospitalar lida com informações sigilosas e, portanto, a implementação de tecnologias H4.0 exige medidas robustas de segurança cibernética para proteger esses dados contra invasões.

Diante desse cenário essa tese de doutorado propõe algumas soluções, estruturadas em quatro artigos. No artigo 1 “Tornando os hospitais sustentáveis: rumo a serviços mais verdes, mais justos e mais prósperos” (*Making hospitals sustainable: towards greener, fairer and more prosperous services*), (Seção 2), são apresentados os resultados referentes ao cumprimento do primeiro objetivo específico desta pesquisa que é a identificação dos elementos impulsionadores para a gestão e desenvolvimento da sustentabilidade hospitalar, que representam importantes contribuições teóricas desta tese. A partir dos artigos mais citados e

relevantes da área sobre sustentabilidade hospitalar, estruturou-se um *framework*, visando orientar os hospitais rumo à introdução e/ou consolidação de práticas sustentáveis alinhadas à Agenda 2030 da ONU. Tal arcabouço oferece uma resposta concreta à necessidade de superar visões fragmentadas, promovendo uma perspectiva abrangente sobre o papel dos hospitais no desenvolvimento sustentável. Este artigo foi publicado em um periódico internacional indexado na *Scopus*, com 86% de percentil e classificação Q2 em sua área temática segundo o *SCImago Journal Rank (SJR*) (doi.org/10.3390/su14159730).

No artigo 2 "Rumo ao Healthcare 4.0: Indústria 4.0 inovando a gestão hospitalar" (*Toward Healthcare 4.0: Industry 4.0 innovating hospital management*), (Seção 3), são apresentados os resultados referentes ao cumprimento do segundo objetivo específico desta pesquisa, que é a identificação dos elementos impulsionadores do Healthcare 4.0, também com contribuições teóricas relevantes. Esses elementos apontam que o H4.0 não deve ser compreendido apenas como um conjunto de ferramentas tecnológicas, mas como um meio inovador que auxilia os hospitais em obter mais eficiência, assertividade e cuidado centrado no ser humano. Este artigo foi publicado em um periódico internacional indexado na *Scopus*, com 91% de percentil e classificação Q1 em sua área temática segundo o *SCImago Journal Rank (SJR*) (doi: 10.1142/S2424862224500131).

No artigo 3 "Promovendo a sustentabilidade por meio das tecnologias healthcare 4.0" (*Driving sustainability through Healthcare 4.0 technologies*), (Seção 4), são apresentados os resultados referentes ao cumprimento do terceiro objetivo específico desta pesquisa, que é a identificação das sinergias e dissonâncias entre SH e H4.0. As diretrizes propostas nesse artigo tramitam em uma zona de convergência possível e desejável entre essas duas agendas, mas também aliviam tensões que precisam ser compreendidas e mediadas. Ao reforçar as sinergias e mitigar as dissonâncias, este trabalho forneceu uma base estratégica para decisões mais assertivas no processo de digitalização sustentável dos hospitais. Este artigo foi publicado em um periódico internacional indexado na *Scopus*, com 99% de percentil e classificação Q1 em sua área temática segundo o *SCImago Journal Rank (SJR*) (doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124269).

No artigo 4 "Transformação sustentável nos hospitais com o apoio do Healthcare 4.0: proposta baseada em evidências teórico-empíricas" (S*ustainable Transformation in Hospitals with the support of Healthcare 4.0: A Proposal Based on Theoretical and Empirical Evidence*), (Seção 5), são apresentados os resultados relacionados ao quarto objetivo específico desta pesquisa: identificar, à luz da teoria científica e com base em múltiplos estudos de caso, as boas práticas e as dificuldades associadas ao desenvolvimento e à gestão da sustentabilidade

hospitalar, bem como as tecnologias H4.0 utilizadas pelos hospitais e seus respectivos impactos na gestão da sustentabilidade. Este artigo fortaleceu a contribuição aplicada desta tese ao realizar estudos de caso em hospitais brasileiros e propôs diretrizes baseadas no ciclo PDCA para a transformação sustentável em diferentes níveis de desenvoltura tecnológica. Este artigo ainda será submetido a um relevante periódico.

Ao integrar esses quatro núcleos investigativos, esta tese de doutorado atinge seu objetivo maior: propor diretrizes estruturadas e baseadas em evidências para o desenvolvimento e a gestão da sustentabilidade em hospitais com o apoio das tecnologias H4.0. Sua contribuição teórica reside na articulação inédita entre dois campos ainda pouco dialogados, SH e H4.0, oferecendo uma base conceitual sólida que preenche a lacuna científica identificada e exposta na Seção 1.

Esta tese oferece uma contribuição aplicada que apoia hospitais públicos e privados que buscam alinhar eficiência operacional, responsabilidade socioambiental e inovação tecnológica em suas instituições. Ao propor soluções práticas, replicáveis e adaptáveis a diferentes níveis de desenvoltura digital, os resultados da pesquisa se consolidam como uma ferramenta estratégica de apoio à tomada de decisão. As diretrizes propostas se alinham aos desafios contemporâneos da gestão em saúde, ao mesmo tempo em que fortalecem o posicionamento institucional frente aos ODS da ONU. Assim, fornece caminhos claros para que os gestores implementem inovações com responsabilidade, elevando a performance organizacional e promovendo um modelo hospitalar mais sustentável, resiliente e preparado para os novos cenários do setor.

Ao final desta jornada, conclui-se, portanto, que a gestão da sustentabilidade hospitalar, com o apoio das tecnologias H4.0, configura-se como uma construção necessária, viável, e sobretudo urgente. Esta tese, contribui com essa demanda, representando um avanço conceitual e prático para transformação digital em hospitais de forma alinhada aos princípios da sustentabilidade. Sugere-se que pesquisas futuras realizem estudos comparativos entre hospitais de países ou regiões com diferentes níveis de desenvoltura digital para enriquecer o debate internacional sobre SH e apoiar a construção de modelos adaptáveis a diversas realidades.

Por fim, sugere-se também para pesquisas futuras o desenvolvimento de um *software* voltado à gestão da sustentabilidade hospitalar, que integre de forma sistêmica as dimensões ambiental, social e econômica. Esse *software* poderia oferecer funcionalidades como indicadores de desempenho, *dashboards* interativos, visualização de metas e resultados, emissão de alertas para desvios, geração de relatórios customizados e análise de tendências. Esse *software* auxiliaria os gestores na tomada de decisão relacionada à gestão da

sustentabilidade de forma mais precisa, assertiva e alinhada aos objetivos institucionais, representando um avanço significativo rumo à consolidação de uma cultura de sustentabilidade apoiada por soluções digitais.

REFERÊNCIAS

ABBATE, S.; CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; OROPALLO, E.; RICCIO, E. Investigating healthcare 4.0 transition through a knowledge management perspective. **IEEE Transactions on Engineering Management**, Piscataway, v. 70, n. 9, p. 3297–3310, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3200889. Acesso em: 15 jan. 2025.

ABRAMED. **Painel Abramed 2022:** o DNA do diagnóstico, 2022. Disponível em: https://abramed.org.br/publicacoes/painel-abramed/painel-abramed-2022-o-dna-do-diagnostico/. Acesso em: 13 dez. 2023.

ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and health: internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, Amsterdam, v. 18, p. 100129, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100129. Acesso em: 14 jul. 2023.

ADMASSU, W.; GOREMS, K. Analyzing health service employees' intention to use e-health systems in southwest Ethiopia: using UTAUT-2 model. **BMC Health Services Research**, London, v. 24, n. 1, p. 1136, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12913-024-11567-y. Acesso em: 10 jan. 2025.

AJMERA, P.; JAIN, V. Modelling the barriers of Health 4.0: the fourth healthcare industrial revolution in India by TISM. **Operations Management Research**, New York, v. 12, n. 3, p. 129–145, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12063-019-00143-x. Acesso em: 10 jan. 2023.

AKINLEYE, D. D.; MCNUTT, L.-A.; LAZARIU, V.; MCLAUGHLIN, C. C. Correlation between hospital finances and quality and safety of patient care. **Plos one**, San Francisco, v. 14, n. 8, p. e0219124, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219124. Acesso em: 24 jan. 2022.

AL-JAROODI, J.; MOHAMED, N.; ABUKHOUSA, E. Health 4.0: on the way to realizing the healthcare of the future. **IEEE Access**, Piscataway, v. 8, p. 211189–211210, 2020. Disponível em: https:// doi: 10.1109/ACCESS.2020.3038858. Acesso em: 10 jan. 2023.

AMANTEA, I. A.; QUARANTA, M. Eco-sustainability and efficiency of healthcare complex systems. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIMULATION AND MODELING METHODOLOGIES, TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS, 14., 2024, Dijon. **Proceedings** [...]. Setúbal: Science and Technology Publications, p. 423–430, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.5220/0012857400003758. Acesso em: 14 jan. 2025.

AQUINO, R. P.; BARILE, S.; GRASSO, A.; SAVIANO, M. Envisioning smart and sustainable healthcare: 3D printing technologies for personalized medication. **Futures**, Oxford, v. 103, p. 35–50, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.03.002. Acesso em: 24 jan. 2022.

ARGAW, S. T.; TRONCOSO-PASTORIZA, J. R.; LACEY, D.; FLORIN, M. V.; CALCAVECCHIA, F.; ANDERSON, D.; BURLESON, W.; VOGEL, J. M.; O'LEARY, C.; ESHAYA-CHAUVIN, B.; FLAHAULT, A. Cybersecurity of hospitals: discussing the challenges and working towards mitigating the risks. **BMC Medical Informatics and**

Decision Making, London, v. 20, n. 1, p. 146, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12911-020-01161-7. Acesso em: 26 jan. 2022.

ARORA, S.; PANDEY, M.; ARORA, M.; GUPTA, K.; SHARMA, V.; NAGPAL, L. Digitization of health insurance documents for the cashless claim settlement using intelligent document management system. **Procedia Computer Science**. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.125. Acesso em: 14 jan. 2025.

ARPAIA, P.; BENEDETTO, E.; DURACCIO, L. Design, implementation, and metrological characterization of a wearable, integrated AR-BCI hands-free system for health 4.0 monitoring. **Measurement**, Amsterdam, v. 177, p. 109280, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109280. Acesso em: 24 jan. 2022.

BAG, S.; PRETORIUS, J. H. C. Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. **International Journal of Organizational Analysis**, Bingley, v. 30, n. 4, p. 864–898, 2022. Disponível em: https:// doi.org/10.1108/IJOA-04-2020-2120 . Acesso em: 10 jan. 2023.

BALBUS, J.; BERRY, P.; BRETTLE, M.; JAGNARINE-AZAN, S.; SOARES, A.; UGARTE, C.; VARANGU, L.; PRATS, E. V. Enhancing the sustainability and climate resiliency of health care facilities: a comparison of initiatives and toolkits. **Revista Panamericana de Salud Pública**, Washington, v. 40, n. 3, p. 174–180, 2016. Disponível em: https://www.scielosp.org/article/rpsp/2016.v40n3/174-180/en/. Acesso em: 2 set. 2020.

BÁNYAI, T.; TAMÁS, P.; ILLÉS, B.; STANKEVIČIŪTĖ, Ž.; BÁNYAI, Á. Optimization of municipal waste collection routing: impact of industry 4.0 technologies on environmental awareness and sustainability. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 16, n. 4, p. 634, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph16040634. Acesso em: 4 jul. 2021.

BAWANEH, K.; NEZAMI, F. G.; RASHEDUZZAMAN, M.; DEKEN, B. Energy consumption analysis and characterization of healthcare facilities in the United States. **Energies**, Basel, v. 12, n. 19, p. 3775, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en12193775. Acesso em: 4 jul. 2021.

BEIER, G.; NIEHOFF, S.; XUE, B. More sustainability in industry through industrial Internet of things? **Applied Sciences**, Basel, v. 8, n. 2, p. 219, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app8020219. Acesso em: 10 fev. 2022.

BERRY, L. L.; ATTAI, D. J.; SCAMMON, D. L.; AWDISH, R. L. A. When the aims and the ends of health care misalign. **Journal of Service Research**, Thousand Oaks, v. 25, n. 1, p. 160–184, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1177/1094670520975150. Acesso em: 20 fev. 2022.

BHATTACHARYA, P.; TANWAR, S. E.; BODKHE, U.; TYAGI, S.; KUMAR, N. BinDaaS: blockchain-based deep-learning as-a-service in healthcare 4.0 applications. **IEEE Transactions on Network Science and Engineering**, Piscataway, v. 8, n. 2, p. 1242–1255, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1109/TNSE.2019.2961932. Acesso em: 20 fev. 2022.

BIRKEL, H.; MÜLLER, J. M. Potentials of industry 4.0 for supply chain management within the triple bottom line of sustainability: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 289, p. 125612, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125612. Acesso em: 10 maio 2025.

BOCKEN, N. M. P.; PAUW, I.; BAKKER, C.; VAN DER GRINTEN, B. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, Singapore, v. 33, n. 5, p. 308–320, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124. Acesso em: 20 fev. 2021.

BONILLA, S. H.; SILVA, H. R. O.; SILVA, M. T.; GONÇALVES, R. F.; SACOMANO, J. B. Industry 4.0 and sustainability implications: a scenario-based analysis of the impacts and challenges. **Sustainability**, Basel, v. 10, n. 10, p. 3740, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su10103740. Acesso em: 20 fev. 2021.

BOSTRÖM, M. A missing pillar? Challenges in theorizing and practicing social sustainability: introduction to the special issue. **Sustainability**: Science, Practice, and Policy, Philadelphia, v. 8, n. 1, p. 3–14, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1080/15487733.2012.11908080. Acesso em: 3 abr. 2021.

BRACCINI, A. M.; MARGHERITA, E. G. Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: the case of a manufacturing company. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 1, p. 36, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su11010036. Acesso em: 4 jul. 2021.

BRAMBILLA, A.; APEL, J. M.; SCHMIDT-ROSS, I.; BUFFOLI, M.; CAPOLONGO, S. Testing of a multiple criteria assessment tool for healthcare facilities quality and sustainability: the case of German hospitals. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 24, 16742, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su142416742. Acesso em: 14 jan. 2025.

BRAMBILLA, A.; CAPOLONGO, S. Healthy and sustainable hospital evaluation: a review of POE tools for hospital assessment in an evidence-based design framework. **Buildings**, Basel, v. 9, n. 4, 76, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/9/4/76. Acesso em: 4 jul. 2021.

BROWN, M. R. D.; KNIGHT, M.; PETERS, C. J.; MALEKI, S.; MOTAVALLI, A.; NEDJAT-SHOKOUHI, B. Digital outpatient health solutions as a vehicle to improve healthcare sustainability: a United Kingdom focused policy and practice perspective. **Frontiers in Digital Health**, Lausanne, v. 5, 1242896, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1242896. Acesso em: 3 abr. 2024.

BUCHELT, B.; ACZKIEWICZ-WRONKA, A.; DOBROWOLSKA, M. The organizational aspect of human resource management as a determinant of the potential of Polish hospitals to manage medical professionals in healthcare 4.0. **Sustainability**, Basel, v. 12, 5118, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su12125118. Acesso em: 4 jul. 2021.

CAMPION, N.; THIEL, C. L.; FOCARETA, J.; BILEC, M. M. Understanding green building design and healthcare outcomes: evidence-based design analysis of an oncology unit. **Journal of Architectural Engineering**, Reston, v. 22, n. 3, 04016009, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29AE.1943-5568.0000217. Acesso em: 3 maio 2021.

CAPOLONGO, S.; GOLA, M.; DI NOIA, M.; NICKOLOVA, M.; NACHIERO, D.; REBECCHI, A.; SETTIMO, G.; VITTORI, G.; BUFFOLI, M. Social sustainability in healthcare facilities: a rating tool for analysing and improving social aspects in care environments. **Annali dell'Istituto Superiore di Sanità**, Rome, v. 52, n. 1, p. 15–23, 2016. Disponível em: https://doi.10.4415/ANN_16_01_06. Acesso em: 4 jul. 2021.

CASTRO, M. F.; MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. Development of a healthcare building sustainability assessment method: proposed structure and system of weights for the Portuguese context. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 148, p. 555–570, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.005. Acesso em: 4 jul. 2021.

CAVALLONE, M.; PALUMBO, R. Debunking the myth of industry 4.0 in health care: insights from a systematic literature review. **The TQM Journal**, Bingley, v. 32, n. 4, p. 849–868, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1108/TQM-10-2019-0245. Acesso em: 4 jul. 2021.

CAVICCHI, C. Healthcare sustainability and the role of intellectual capital: evidence from an Italian regional health service. **Journal of Intellectual Capital**, Bingley, v. 18, n. 3, p. 544–563, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1108/JIC-12-2016-0128. Acesso em: 10 ago. 2021.

CAVICCHI, C.; VAGNONI, E. Does intellectual capital promote the shift of healthcare organizations towards sustainable development? evidence from Italy. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 153, p. 275–286, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617306297. Acesso em: 10 ago. 2021.

CHAUHAN, A.; JAKHAR, S. K.; CHAUHAN, C. The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 279, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620338993. Acesso em: 3 mar. 2022.

CHAUHAN, A.; SINGH, A. A hybrid multi-criteria decision making method approach for selecting a sustainable location of healthcare waste disposal facility. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 139, 1001, 2016. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261631246X. Acesso em: 3 mar. 2021.

CHEN, C.; LOH, E. W.; KUO, K. N.; TAM, K. W. The times they are a-changin': Healthcare 4.0 is coming! **Journal of Medical Systems**, New York, v. 44, n. 2, 40, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-019-1513-0. Acesso em: 11 abr. 2021.

CHEN, J.; LI, Z.; MA, W.; TANG, Y.; LIU, C.; MA, S.; XU, M.; ZHANG, Q. Enhancing the timeliness of EMR documentation in resident doctors: the role of PDCA cycle management. **BMC Medical Education**, London, v. 24, n. 1, 1367, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12909-024-06134-2. Acesso em: 14 jan. 2025.

CHIARINI, A.; OPOKU, A.; VAGNONI, E. Public healthcare practices and criteria for a sustainable procurement: a comparative study between UK and Italy. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 162, p. 391–399, 2017. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617311964. Acesso em: 11 abr. 2021.

CHIARINI, A.; VAGNONI, E. Environmental sustainability in European public healthcare: could it just be a matter of leadership? **Leadership in Health Services**, Bingley, v. 29, n. 1, p. 2–8, 2016. Disponível em: https://www.emerald.com/lhs/article-abstract/29/1/2/263937. Acesso em: 11 abr. 2021.

CHUTE, C.; FRENCH, T. Introducing care 4.0: an integrated care paradigm built on industry 4.0 capabilities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 16, n. 12, 2247, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/1660-4601/16/12/2247. Acesso em: 14 maio 2021.

CORREIA, D.; MARQUES, J. L.; TEIXEIRA, L. A framework to guide and support the design of a smart city based on the PDCA cycle approach. **Journal of Systems and Information Technology**, Bingley, v. 27, n. 1, p. 65–93, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1108/JSIT-02-2022-0055. Acesso em: 14 maio 2025.

DANAHER, T. S.; GALLAN, A. S. Service research in health care: positively impacting lives. **Journal of Service Research**, Thousand Oaks, v. 19, n. 4, p. 433–437, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1177/1094670516666346. Acesso em: 3 fev. 2021.

DAÚ, G.; SCAVARDA, A.; SCAVARDA, L. F.; PORTUGAL, V. J. T. The healthcare sustainable supply chain 4.0: the circular economy transitions conceptual framework with the corporate social responsibility mirror. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 12, 3259, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/12/3259. Acesso em: 3 abr. 2021.

CARVALHO, A. R. M.; TONTINI, G. Stakeholder management and financial sustainability in philanthropic hospitals. **Journal of Health, Organization and Management**, Bingley, v. 39, n. 5, p. 665–687, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1108/JHOM-07-2024-0286. Acesso em: 14 maio. 2025.

DHIR, A.; MALODIA, S.; AWAN, U.; SAKASHITA, M.; KAUR, P. Extended valence theory perspective on consumers' e-waste recycling intentions in Japan. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 312, 127443, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621016620. Acesso em: 15 jan. 2024.

DHRITI ASHTEKAR, T.; KHAMESRA, N.; BHARGAVI, M. S. Driving sustainability using big data analytics. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE IN EMERGING TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY AND INTELLIGENT SYSTEMS – ICETSIS, 2024, Manama. **Proceedings** […]. Piscataway: IEEE/Curran Associates, p.258-262, 2024. Disponível em: https://doi. https://doi.org/10.1109/ICETSIS61505.2024.10459428. Acesso em: 12 dez. 2024.

DUQUE-URIBE, V.; SARACHE, W.; GUTIÉRREZ, E. V. Sustainable supply chain management practices and sustainable performance in hospitais: a systematic review and integrative framework. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 21, 5949, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/21/5949. Acesso em: 2 fev. 2021.

EJSMONT, K.; GLADYSZ, B.; KLUCZEK, A. Impact of industry 4.0 on sustainability: bibliometric literature review. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 14, 5650, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5650. Acesso em: 2 fev. 2021.

EKINS, P.; ZENGHELIS, D. The costs and benefits of environmental sustainability. **Sustainability Science**, Tokyo, v. 16, n. 3, p. 949–965, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11625-021-00910-5. Acesso em: 3 mar. 2022.

ELO, S.; KÄÄRIÄINEN, M.; KANSTE, O.; PÖLKKI, T.; UTRIAINEN, K.; KYNGÄS, H. Qualitative content analysis: a focus on trustworthiness. **Sage Open**, Thousand Oaks, v. 1, p. 1–10, 2014. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244014522633. Acesso em: 14 jan. 2021.

FEIL, A. A.; QUEVEDO, D. M.; SCHREIBER, D. An analysis of the sustainability index of micro- and small-sized furniture industries. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Heidelberg, v. 19, n. 7, p. 1883–1896, 2017. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-017-1372-7. Acesso em: 14 jan. 2021.

FIELD, J. M.; FOTHERINGHAM, D.; SUBRAMONY, M.; GUSTAFSSON, A.; OSTROM, A. L.; LEMON, K. N.; HUANG, M. H.; MCCOLL-KENNEDY, J. R. Service research priorities: designing sustainable service ecosystems. **Journal of Service Research**, Thousand Oaks, v. 24, n. 4, p. 462 - 479, 2021. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/10946705211031302. Acesso em: 18 nov. 2021.

FRANCO, A.; SHAKER, M.; KALUBI, D.; HOSTETTLER, S. A review of sustainable energy access and technologies for healthcare facilities in the global south. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Amsterdam, v. 22, p. 92–105, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138817301376. Acesso em: 21 abr. 2021.

FURSTENAU, L. B.; ZANI, C.; TERRA, S. X.; SOTT, M. K.; CHOO, K. K. R.; SAURIN, T. A. Resilience capabilities of healthcare supply chain and supportive digital technologies. **Technology in Society**, Oxford, v. 71, p. 102095, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102095. Acesso em: 13 jan. 2025.

GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J.; GÓMEZ-CHAPARRO, M. Quantitative analysis of the impact of maintenance management on the energy consumption of a hospital in Extremadura (Spain). **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 30, p. 217–222, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670716306801. Acesso em: 21 abr. 2021.

GEHOSP. **Medical Fair Brasil 2023 traz temas como interoperabilidade, OpenHealth, IA e certificação da ABCIS**, 2023. Disponível em: https://gehosp.com.br/2023/08/23/medical-fair-brasil-2023-temas-interoperabilidade-openhealth-ia-abcis-certificacao. Acesso em: 13 dez. 2023.

GONZÁLEZ, A. G.; GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J.; SALGADO, D. R. Evaluation of energy consumption in German hospitals: benchmarking in the public sector. **Energies**, Basel,

v. 11, n. 9, 2279, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en11092279. Acesso em: 15 jan. 2025.

GRYBAUSKAS, A.; STEFANINI, A.; GHOBAKHLOO, M. Social sustainability in the age of digitalization: a systematic literature review on the social implications of industry 4.0. **Technology in Society**, Oxford, v. 70, 101997, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X22001385. Acesso em: 3 mar. 2023.

GUERRA-JÚNIOR, A. A.; LEMOS, L. L. P.; GODMAN, B.; BENNIE, M.; OSORIO-DE-CASTRO, C. G. S.; ALVARES, J.; HEANEY, A.; VASSALLO, C. A.; WETTERMARK, B.; BENGURIA-ARRATE, G.; GUTIERREZ-IBARLUZEA, I.; SANTOS, V. C. C.; PETRAMALE, C. Al.; ACURCIO, F. A. Health technology performance assessment: real-world evidence for public healthcare sustainability. **International Journal of Technology Assessment in Health Care**, Cambridge, v. 33, n. 2, p. 279–287, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0266462317000423. Acesso em: 21 abr. 2021.

GUPTA, R.; TANWAR, S.; TYAGI, S.; KUMAR, N. Tactile-internet-based telesurgery system for healthcare 4.0: an architecture, research challenges, and future directions. **IEEE Network**, Piscataway, v. 33, n. 6, p. 22–29, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900063. Acesso em: 30 mar. 2021.

GUTIÉRREZ, O.; NAVARRO, M. A.; ADANA, F. S.; ESCOBAR, A.; MONCADA, M. E.; MUÑOZ, C. M. Study of electromagnetic compatibility in hospital environments. **Journal of Electromagnetic Analysis and Applications**, Irvine, v. 6, n. 7, p. 141–155, 2014. Disponível em: https://www.scirp.org/html/1-9801516_47133.htm. Acesso em: 7 jul. 2023.

HALEEM, A.; JAVAID, M. Medical 4.0 and its role in healthcare during COVID-19 pandemic: a review. **Journal of Industrial Integration and Management**, Singapore, v. 5, n. 4, p. 531–545, 2020. Disponível em: https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2424862220300045. Acesso em: 7 jul. 2023.

HALEEM, A.; JAVAID, M.; SINGH, R. P.; SUMAN, R. Telemedicine for healthcare: capabilities, features, barriers, and applications. **Sensors International**, Beijing, v. 2, 100117, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100117. Acesso em: 10 jan. 2024.

HAMAD, A. A.; ABDULRIDHA, M. M.; KADHIM, N. M.; PUSHPARAJ, S.; MEENAKSHI, R.; IBRAHIM, A. M. Learning methods of business intelligence and group related diagnostics on patient management by using artificial dynamic system. **Journal of Nanomaterials**, London, v. 2022, 4891601, 2022. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2022/4891601. Acesso em: 5 maio 2023.

HAN, S.; JEONG, Y.; LEE, K.; IN, J. Environmental sustainability in health care: an empirical investigation of US hospitals. **Business Strategy and the Environment**, Oxford, v. 33, n. 6, p. 6045–6065, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/bse.3790. Acesso em: 3 jan. 2025.

HARRIS, C.; ALLEN, K.; KING, R.; RAMSEY, W.; KELLY, C.; THIAGARAJAN, M. Sustainability in health care by allocating resources effectively (SHARE) 2: identifying

opportunities for disinvestment in a local healthcare setting. **BMC Health Services Research**, London, v. 17, n. 1, 328, 2017a. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12913-017-2211-6. Acesso em: 30 mar. 2021.

HARRIS, C.; ALLEN, K.; WALLER, C.; BROOKE, V. Sustainability in health care by allocating resources effectively (SHARE) 3: examining how resource allocation decisions are made, implemented and evaluated in a local healthcare setting. **BMC Health Services Research**, London, v. 17, n. 1, 340, 2017b. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12913-017-2207-2. Acesso em: 30 mar. 2021.

HARRIS, C.; GREEN, S.; RAMSEY, W.; ALLEN, K.; KING, R. Sustainability in health care by allocating resources effectively (SHARE) 1: introducing a series of papers reporting an investigation of disinvestment in a local healthcare setting. **BMC Health Services Research**, London, v. 17, n. 1, 323, 2017c. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12913-017-2210-7. Acesso em: 30 mar. 2021.

HARRIS, C.; KO, H.; WALLER, C.; SLOSS, P.; WILLIAMS, P. Sustainability in health care by allocating resources effectively (SHARE) 4: exploring opportunities and methods for consumer engagement in resource allocation in a local healthcare setting. **BMC Health Services Research**, London, v. 17, n.1, 329, 2017d. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12913-017-2212-5. Acesso em 30 mar. 2021.

HOOD, C.; PATTON, R. Exploring the role of psychological need fulfilment on stress, job satisfaction and turnover intention in support staff working in inpatient mental health hospitals in the NHS: a self-determination theory perspective. **Journal of Mental Health**, Oxon, v. 31, n. 5, p. 692–698, 2021. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/09638237.2021.1979487?. Acesso em: 18 ago. 2022.

HOSSAIN, M. K.; THAKUR, V. Benchmarking health-care supply chain by implementing industry 4.0: a fuzzy-AHP-DEMATEL approach. **Benchmarking**, Bingley, v. 28, n. 2, p. 556–581, 2021. Disponível em: https://www.emerald.com/bij/article-abstract/28/2/556/32131/Benchmarking-health-care-supply-chain-by?redirectedFrom=fulltext. Acesso em: 18 ago. 2022.

HUANG, A.; COOKE, S. M.; GARSDEN, C.; BEHNE, C.; BORKOLES, E. Transitioning to sustainable, climate-resilient healthcare: insights from a health service staff survey in Australia. **BMC Health Services Research**, London, v. 24, n. 1, 475, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12913-024-10882-8. Acesso em: 10 jan. 2025.

HUSSAIN, M.; AJMAL, M. M.; GUNASEKARAN, A.; KHAN, M. Exploration of social sustainability in healthcare supply chain. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 203, p. 977–989, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.157. Acesso em: 13 maio 2025.

HUT-MOSSEL, L.; WELKER, G.; AHAUS, K.; GANS, R. Understanding how and why audits work: protocol for a realist review of audit programmes to improve hospital care. **BMJ Open**, London, v. 7, n. 6, p. e015121, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015121. Acesso em: 15 maio 2025.

INSTITUTO BRASILVEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Agência de Notícias**. Despesas com saúde em 2019 representam 9,6% do PIB, 2019. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/33484-despesas-com-saude-em-2019-representam-9-6-do-pib. Acesso em: 13 dez. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2023**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. Geneva: IPCC. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf. Acesso em: 21 mar. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION - ISO. **ISO 20400:2017**. Sustainable procurement: guidance, 2017. Disponível em: https://www.iso.org/standard/63026.html. Acesso em: 24 ago. 2021.

JALALI, M. S.; KAISER, J. P. Cybersecurity in hospitals: a systematic, organizational perspective. **Journal of Medical Internet Research**, Toronto, v. 20, n. 5, p. e10059, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.2196/10059. Acesso em: 15 maio 2025.

JAVAID, M.; HALEEM, A.; VAISHYA, R.; BAHL, S.; SUMAN, R. Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. **Diabetes & Metabolic Syndrome:** Clinical Research & Reviews, Singapore, v. 14, n. 4, p. 419–422, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871402120300941?via%3Dihub. Acesso em: 24 ago. 2021.

JAYARAMAN, P. P.; FORKAN, A. R. M.; MORSHED, A.; HAGHIGHI, P. D.; KANG, Y. B. Healthcare 4.0: a review of frontiers in digital health. **Wiley Interdisciplinary Reviews:** Data Mining and Knowledge Discovery, Oxford, v. 10, n. 2, p. e1350, 2020. Disponível em: https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/widm.1350. Acesso em: 24 ago. 2021.

JENNEX, M. E. A proposed method for assessing knowledge loss risk with departing personnel. **VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems**, Bingley, v. 44, n. 2, p. 185–209, 2014. Disponível em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/VINE-07-2012-0028/full/html. Acesso em: 24 ago. 2021.

JOHNSON, S. W. Summarizing green practices in U.S. hospitals. **Hospital Topics**, Philadelphia, v. 88, n. 3, p. 75–81, 2010. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00185868.2010.507121. Acesso em: 24 fev. 2021.

JOSE, A.; TORTORELLA, G. L.; VASSOLO, R.; KUMAR, M.; MAC CAWLEY, A. F. Professional competence and its effect on the implementation of healthcare 4.0 technologies: scoping review and future research directions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 20, n. 1, 478, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph20010478. Acesso em: 10 maio 2025.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, London, v. 117, p. 408–425, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009. Acesso em: 24 fev. 2021.

KANOKPHANVANICH, C.; RATTANAWONG, W.; VONGMANEE, V. A new model for a sustainable healthcare supply chain prioritizes patient safety: using the fuzzy Delphi method to identify healthcare workers' perspectives. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 9, 7123, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7123. Acesso em: 6 abr. 2024.

KARIM, S. A.; TILFORD, J. M.; BOGULSKI, C. A.; RABBANI, M.; HAYES, C. J.; ESWARAN, H. Financial performance of rural hospitals persistently lacking or having telehealth technology. **Journal of Hospital Management and Health Policy**, Shatin, v. 7, 9, 2023. Disponível em: https://jhmhp.amegroups.org/article/view/8161/html. Acesso em: 3 abr. 2024.

KEIL, M. The greenhouse gas emissions of a German hospital: a case study of an easy-to-use approach based on financial data. **Cleaner Environmental Systems**, London, v. 11, 100140, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100140. Acesso em: 13 maio 2025.

KHAN, M.; HUSSAIN, M.; GUNASEKARAN, A.; AJMAL, M. M.; HELO, P. T. Motivators of social sustainability in healthcare supply chains in the UAE: stakeholder perspective. **Sustainable Production and Consumption**, Amsterdam, v. 14, p. 95–104, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.01.006. Acesso em: 30 jan. 2025.

KIM, M. O.; COIERA, E.; MAGRABI, F. Problems with health information technology and their effects on care delivery and patient outcomes: a systematic review. **Journal of the American Medical Informatics Association**, Oxford, v. 24, n. 2, p. 246–260, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1093/jamia/ocw154. Acesso em: 5 jun. 2023.

KIM, S. K.; HWANG, Y.; LEE, Y. S.; CORSER, W. Occupant comfort and satisfaction in green healthcare environments: a survey study focusing on healthcare staff. **Journal of Sustainable Development**, Richmond Hill, v. 8, n. 1, p. 156–173, 2015. Disponível em: http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jsd/article/view/41577. Acesso em: 6 abr. 2021.

KISHOR, A.; CHAKRABORTY, C. Artificial intelligence and Internet of Things based healthcare 4.0 monitoring system. **Wireless Personal Communications**, New York, v. 127, p. 1615–1631, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11277-021-08708-5. Acesso em: 6 maio 2023.

KOCAK, B.; PONSIGLIONE, A.; ROMEO, V.; UGGA, L.; HUISMAN, M.; CUOCOLO, R. Radiology AI and sustainability paradox: environmental, economic, and social dimensions. **Insights into Imaging**, Heidelberg, v. 16, n. 1, 88, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s13244-025-01962-2. Acesso em: 9 maio 2025.

KONGAR, E.; HAZNEDAROGLU, E.; ABDELGHANY, O.; BAHTIYAR, M. O. A novel IT infrastructure for reverse logistics operations of end-of-life pharmaceutical products. **Information Technology and Management**, Riga, v. 16, n. 1, p. 51–65, 2015. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10799-014-0195-z. Acesso em: 6 abr. 2021.

KOTZIAS, K.; BUKHSH, F. A.; ARACHCHIGE, J. J.; DANEVA, M.; ABHISHTA, A. Industry 4.0 and healthcare: context, applications, benefits and challenges. **IET Software**, Stevenage, v. 17, n. 3, p. 195–248, 2023. Disponível em: https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/sfw2.12074. Acesso em: 5 fev. 2024.

KUMAR, A.; KRISHNAMURTHI, R.; NAYYAR, A.; SHARMA, K.; GROVER, V.; HOSSAIN, E. A novel smart healthcare design, simulation, and implementation using healthcare 4.0 processes. **IEEE Access**, Piscataway, v. 8, p. 118433–118471, 2020. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9125923. Acesso em: 8 maio 2023.

KUMARI, A.; TANWAR, S.; TYAGI, S.; KUMAR, N. Fog computing for healthcare 4.0 environment: opportunities and challenges. **Computers & Electrical Engineering**, Oxford, v. 72, p. 1–13, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790618303860. Acesso em: 6 abr. 2021.

KWON, C. Y.; LEE, B.; KWON, O. J.; KIM, M. S.; SIM, K. L.; CHOI, Y. H. Emotional labor, burnout, medical error, and turnover intention among South Korean nursing staff in a university hospital setting. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 18, n. 19, 10111, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/1660-4601/18/19/10111. Acesso em: 5 nov. 2021.

LARRUCEA, X.; MOFFIE, M.; ASAF, S.; SANTAMARIA, I. Towards a GDPR compliant way to secure European cross border healthcare industry 4.0. **Computer Standards & Interfaces**, Amsterdam, v. 69, 103408, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548919304544. Acesso em: 5 nov. 2021.

LEE, D. H.; YU, S.; YOON, S. N. Analysis of hospital management based on the characteristics of hospitals: focusing on financial indicators. **Global Business & Finance Review**, Seoul, v. 24, n. 3, p. 1–13, 2019. Disponível em: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/224425/1/gbfr2019-24-3-001.pdf. Acesso em: 5 nov. 2021.

LEE, I. Analysis of insider threats in the healthcare industry: a text mining approach. **Information**, Basel, v. 13, n. 9, 404, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/info13090404. Acesso em: 15 abr. 2025.

LENNOX, L.; LINWOOD-AMOR, A.; MAHER, L.; REED, J. Making change last? exploring the value of sustainability approaches in healthcare: a scoping review. **Health Research Policy and Systems**, London, v. 18, n. 120, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12961-020-00601-0. Acesso em: 18 nov. 2021.

LENNOX, L.; MAHER, L.; REED, J. Navigating the sustainability landscape: a systematic review of sustainability approaches in healthcare. **Implementation Science**, London, v. 13, n. 1, 27, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s13012-017-0707-4. Acesso em: 9 jul. 2025.

LI, J.; CARAYON, P. Health care 4.0: a vision for smart and connected health care. **IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering**, New York, v. 11, n. 3, p. 171–180, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1080/24725579.2021.1884627. Acesso em: 4 jul. 2022.

LOPES, C. M.; SCAVARDA, A. J.; CARVALHO, M. N. M.; VACCARO, G.; KORZENOWSKI, A. L. Analysis of sustainability in hospital laundry: the social, environmental, and economic (cost) risks. **Resources**, Basel, v. 8, n. 1, 37, 2019a. Disponível em: https://www.mdpi.com/2079-9276/8/1/37. Acesso em: 18 maio 2021.

LOPES, C. M.; SCAVARDA, A. J.; VACCARO, G. L. R.; POHLMANN, C. R.; KORZENOWSKI, A. L. Perspective of business models and innovation for sustainability transition in hospitals. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 1, 5, 2019b. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/5. Acesso em: 18 maio 2021.

LOZANO, R.; CARPENTER, A.; HUISINGH, D. A review of 'theories of the firm' and their contributions to corporate sustainability. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 106, p. 430–442, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614004557. Acesso em: 18 nov. 2021.

MACHADO, C. G.; WINROTH, M.; SILVA, E. H. D. R. Sustainable manufacturing and industry 4.0: an emerging research agenda. **International Journal of Production Research**, Abingdon, v. 58, n. 5, p. 1462–1484, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652777. Acesso em: 13 maio 2021.

MAN, L. C.; LIN, Y.; PANG, G.; SANDERSON, J.; DUAN, K. Digitalization to achieve greener healthcare supply chain. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 463, 142802, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142802. Acesso em: 15 abr. 2025.

MARINCOLA, G.; PROCOPIO, P. F.; PENNESTRÌ, F.; GALLUCCI, P.; VOULOUDAKIS, N.; CICCORITTI, L.; GRECO, F.; SALVI, G.; PRIOLI, F.; DE CREA, C.; RAFFAELLI, M. Robot-assisted vs laparoscopic bariatric procedures in super-obese patients: clinical and economic outcomes. **Journal of Robotic Surgery**, London, v. 18, n. 1, 34, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11701-023-01748-y. Acesso em: 2 fev. 2025.

MARINO, A.; PARISO, P.; PICARIELLO, M. Organizational and energy efficiency analysis of Italian hospitals and identification of improving AI solutions. **International Journal of Energy Economics and Policy**, Mersin, v. 14, n. 6, p. 628–640, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.32479/ijeep.16810. Acesso em: 10 mar. 2025.

MARINOVA, D.; RUYTER, K.; HUANG, M. H.; MEUTER, M. L.; CHALLAGALLA, G. Getting smart: learning from technology-empowered frontline interactions. **Journal of Service Research**, Thousand Oaks, v. 20, n. 1, p. 29–42, 2017. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1094670516679273. Acesso em: 31 jan. 2022.

MASHALLAHI, A.; ARDALAN, A.; NEJATI, A.; OSTADTAGHIZADEH, A. Climate adaptive hospital: a systematic review of determinants and actions. **Journal of Environmental Health Science & Engineering**, Dordrecht, v. 20, n. 2, p. 983–1013, 2022.

Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s40201-022-00810-5. Acesso em: 5 fev. 2023.

MISHRA, P.; SINGH, G. Internet of medical things healthcare for sustainable smart cities: current status and future prospects. **Applied Sciences**, Basel, v. 13, n. 15, 8869, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/13/15/8869. Acesso em: 4 abr. 2024.

MOHAMED, N. H.; KHAN, S.; JAGTAP, S. Waste 4.0: transforming medical waste management through digitalization and automated segregation. **Discover Sustainability**, Cham, v. 5, n. 1, 353, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s43621-024-00593-9. Acesso em: 10 fev. 2025.

MOLDAVSKA, A.; WELO, T. The concept of sustainable manufacturing and its definitions: a content-analysis based literature review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 166, p. 744–755, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.006. Acesso em: 5 fev. 2023.

MOLDOVAN, F.; MOLDOVAN, L.; BATAGA, T. The Environmental sustainability assessment of an orthopedics emergency hospital supported by a new innovative framework. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 18, 13402, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su151813402. Acesso em: 14 fev. 2025.

MORELL-SANTANDREU, O.; SANTANDREU-MASCARELL, C.; GARCÍA-SABATER, J. Sustainability and kaizen: business model trends in healthcare. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 24, p. 1–28, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/24/10622. Acesso em: 31 jan. 2022.

MORO-VISCONTI, R.; MARTINIELLO, L.; MOREA, D.; GEBENNINI, E**.** Can public-private partnerships foster investment sustainability in smart hospitals? **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 6, 1704, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1704. Acesso em: 4 fev. 2021.

MORO-VISCONTI, R.; MOREA, D. Big data for the sustainability of healthcare project financing. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 13, 3748, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/13/3748. Acesso em: 4 fev. 2021.

MOUSA, S. K.; OTHMAN, M. The impact of green human resource management practices on sustainable performance in healthcare organizations: a conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 243, 118595, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619334651. Acesso em: 4 fev. 2021.

MUNAVALLI, J. R.; BOERSMA, H. J.; RAO, S. V.; VAN MERODE, G. G. Real-time capacity management and patient flow optimization in hospitals using AI methods. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTHCARE SYSTEMS ENGINEERING, 2021, Amsterdam. **Proceedings** [...]. Amsterdam: Springer, p. 112–118, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-45240-7_3. Acesso em: 4 mar. 2025.

MUNN, Z.; PETERS, M. D. J.; STERN, C.; TUFANARU, C.; MCARTHUR, A.; AROMATARIS, E. Systematic review or scoping review? guidance for authors when

choosing between a systematic or scoping review approach. **BMC Medical Research Methodology**, London, v. 18, n. 1, 143, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1186/s12874-018-0611-x. Acesso em: 5 maio 2021.

MUNSAMY, M.; TELUKDARIE, A**.** Application of industry 4.0 towards achieving business sustainability. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT – IEEM, , Bangkok. **Proceedings** […]. Los Alamitos: IEEE Computer Society, p. 844–848, 2018. Disponível em: https://doi: 10.1109/IEEM.2018.8607566. Acesso em: 5 maio 2021.

NAHAVANDI, S. Industry 5.0: a human-centric solution. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 16, p. 4371, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/11/16/4371. Acesso em: 7 jun. 2021.

NAIK, H. S.; FRITZSCHE, A.; MOESLEIN, K. M. Modularity in making: simplifying solution space for user innovation. **R & D Management**, Chichester, v. 51, n. 1, p. 57–72, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1111/radm.12427. Acesso em: 14 jan. 2025.

NEGRI FILHO, A.; BARBOSA, Z. O papel dos hospitais nas redes de atenção à saúde. **Consensus**: Revista do Conselho Nacional de Secretários de Saúde, Brasília, v. 4, n. 11, p. 42 - 49, 2014. Disponível em: https://www.conass.org.br/consensus/wp-content/uploads/2019/04/Artigo_consensus_11.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.

NUESIRI, E. O. Climate change governance and local democracy: synergy or dissonance. *In*: MURPHY, C.; GARDONI, P.; McKIM, R. (org.). **Climate change and its impacts**: risks and inequalities. Cham: Springer, 2018. p. 171–191. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-77544-9_10. Acesso em: 16 fev. 2023.

NUNHES, T. V.; BERNARDO, M.; OLIVEIRA, O.J. Rethinking the way of doing business: a reframe of management structures for developing corporate sustainability. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 3, p. 1–32, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/1177. Acesso em: 3 maio 2022.

OGUNSEITAN, O. A. Side effects of the electronic health care revolution: toxic e-waste. **World Neurosurgery**, Philadelphia, v. 167, p. 2–3, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878875022010786. Acesso em: 4 jan. 2023.

OLIVEIRA, J. A.; OLIVEIRA, O. J.; OMETTO, A. R.; CAPPARELLI, H. F. Guidelines for the integration of EMS based in ISO 14001 with cleaner production. **Production**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 273–284, 2016. Disponível em: http://www.prod.org.br/doi/10.1590/0103-6513.160214. Acesso em: 8 jun. 2021.

OLIVEIRA, K. B.; OLIVEIRA, O. J. Making hospitals sustainable: towards greener, fairer and more prosperous services. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 15, p. 9730, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su14159730. Acesso em: 2 nov. 2023.

OLIVEIRA, K. B.; OLIVEIRA, O. J. Toward healthcare 4.0: industry 4.0 innovating hospital management. **Journal of Industrial Integration and Management**, Amsterdam, v. 9, n. 4, p.

519–554, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1142/S2424862224500131. Acesso em: 6 jan. 2025.

OLOGEANU-TADDEI, R.; HÖNIGSBERG, S.; WERITZ, P.; WACHE, H.; MITTERMEIER, F.; TANA, S.; DANG, D.; HAUTALA-KANKAANPÄÄ, T.; PEKKOLA, S. The relationship of digital transformation and corporate sustainability: synergies and tensions. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 210, 123809, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123809. Acesso em: 26 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**, 2019. Disponível em: https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030. Acesso em: 26 ago. 2019.

ORUEZABALA, G.; RICO, J. C. The impact of sustainable public procurement on supplier management: The case of French public hospitals. **Industrial Marketing Management**, New York, v. 41, n. 4, p. 573–580, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019850112000879. Acesso em: 8 jun. 2021.

PANG, Z.; YANG, G.; KHEDRI, R.; ZHANG, Y. T. Introduction to the special section: convergence of automation technology, biomedical engineering, and health informatics toward the healthcare 4.0. **IEEE Reviews in Biomedical Engineering**, Piscataway, v. 11, p. 249–259, 2018. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/8421122. Acesso em: 6 abr. 2021.

PARK, H.; KIM, S.; LEE, J.; LEE, I.; BONTAPALLE, S.; NA, Y.; SIM, K. Organic flexible electronics with closed-loop recycling for sustainable wearable technology. **Nature Electronics**, London, v. 7, n. 1, p. 39–50, 2024. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41928-023-01078-9. Acesso em: 15 jan. 2024.

PAUL, S.; RIFFAT, M.; YASIR, A.; MAHIM, M. N.; SHARNALI, B. Y.; NAHEEN, I. T.; RAHMAN, A.; KULKARNI, A. Industry 4.0 applications for medical/healthcare services. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, Basel, v. 10, n. 3, 43, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2224-2708/10/3/43. Acesso em: 6 fev. 2022.

PETER, K. A.; HALFENS, R. J. G.; HAHN, S.; SCHOLS, J. M. G. A. Factors associated with work-private life conflict and leadership qualities among line managers of health professionals in Swiss acute and rehabilitation hospitals: a cross-sectional study. **BMC Health Services Research**, London, v. 21, n. 1, 81, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1186/s12913-021-06092-1. Acesso em: 3 mar. 2022.

PHILIPS. **Six impact drivers for sustainable healthcare**, 2022. Disponível em: https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/features/2022/20221103-six-impact-drivers-for-sustainable-healthcare.html. Acesso em: 15 jan. 2024.

PIHLAINEN, V.; KIVINEN, T.; LAMMINTAKANEN, J. Perceptions of future hospital management in Finland. **Journal of Health, Organization and Management**, Bingley, v. 33, n. 5, p. 530–546, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1108/JHOM-02-2018-0045. Acesso em: 3 mar. 2022.

PINZONE, M.; GUERCI, M.; LETTIERI, E.; REDMAN, T. Progressing in the change journey towards sustainability in healthcare: the role of 'Green' HRM. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 122, p. 201–211, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.031. Acesso em: 12 mar. 2022.

PIRES, S. P.; SÉNÉCHAL, O.; LOURES, E. F. R.; JIMENEZ, J. F. An approach to the prioritization of sustainable maintenance drivers in the TBL framework. **IFAC-PapersOnLine**, Kidlington, v. 49, n. 28, p. 150–155, 2016. Disponível em: https://doi.10.1016/j.ifacol.2016.11.026. Acesso em: 3 jun. 2022.

POLARY-PEREIRA, I. The Challenges of organizational sustainability with social and economic development. **Cyrus Global Business Perspectives**, Heidelberg, v. 9, n. 1, p. 17–36, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.52212/CGBP2025-V9i1m2. Acesso em: 10 maio 2025.

PRACTICE GREENHEALTH. **Construction and demolition debris**, 2023. Disponível em: https://practicegreenhealth.org/topics/waste/construction-and-demolition-debris-0. Acesso em: 14 jan. 2024.

PUNNAKITIKASHEM, P.; HALLINGER, P. Bibliometric review of the knowledge base on healthcare management for sustainability, 1994–2018. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 1, 205, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su12010205. Acesso em: 18 nov. 2021.

QUITMANN, C.; SAUERBORN, R.; HERRMANN, A. Gaps in reporting greenhouse gas emissions by German hospitals: a systematic grey literature review. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 3, 1430, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13031430. Acesso em: 13 jan. 2025.

RAJAGOPALAN, S.; PRONOVOST, P.; AL-KINDI, S. Implementing a sustainability framework in healthcare: a three-lens framework. **Healthcare**, Basel, v. 11, n. 13, 1867, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/healthcare11131867. Acesso em: 15 jan. 2025.

RICHARDSON, S.; LAWRENCE, K.; SCHOENTHALER, A. M.; MANN, D. A framework for digital health equity. **Npj Digital Medicine**, London, v. 5, 119, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41746-022-00663-0. Acesso em: 25 jan. 2025.

RIZOS, F.; KARANIKAS, H.; KATSAPI, A.; TSANA, M.; TSOUKAS, V.; KOUKOULAS, G.; DRAKOPOULOS, D.; KATSIROUMPA, A.; GALANIS, P. The role of sustainability in telemedicine services: the case of the Greek national telemedicine network. **Healthcare**, Basel, v. 13, n. 9, 1046, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/healthcare13091046. Acesso em: 14 maio 2025.

ROCHA, A. B. T.; OLIVEIRA, K. B.; ESPUNY, M.; REIS, J. A. M.; OLIVEIRA, O. J. Business transformation through sustainability based on industry 4.0. **Heliyon**, London, v. 8, n. 8, p. e10015, 2022. Disponível em: https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)01303-2. Acesso em: 3 fev. 2023.

RODRÍGUEZ, R.; SVENSSON, G.; FERRO, C. Assessing the future direction of sustainable development in public hospitals: time-horizon, path and action. **Health Policy**, Shannon, v.

125, n. 4, p. 526–534, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2020.10.012. Acesso em: 3 maio 2024.

ROWAN, N. J. Digital technologies to unlock safe and sustainable opportunities for medical device and healthcare sectors with a focus on the combined use of digital twin and extended reality applications: A review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 926, 171672, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171672. Acesso em: 27 nov. 2024.

SAFI, S.; THIESSEN, T.; SCHMAILZL, K. J. G. Acceptance and resistance of new digital technologies in medicine: qualitative study. **JMIR Research Protocols**, Toronto, v. 7, n. 12, p. e11072, 2018. Disponível em: https://www.researchprotocols.org/2018/12/e11072. Acesso em: 12 jun. 2024.

SAHA, A.; RAUT, R.; KUMAR, M.; GHOSHAL, S. To Explore the relationship between sustainability, digital Technology, and sustainable development goals. **Business Strategy & Development**, Oxford, v. 8, n. 1, p. e70076, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1002/bsd2.70076. Acesso em: 14 maio 2025.

SAHOO, S. K.; GOSWAMI, S. S.; HALDER, R. Supplier selection in the age of industry 4.0: a review on MCDM applications and trends. **Decision Making Advances**, Belgrade, v. 2, n. 1, p. 32–47, 2024. Disponível em: http://www.dma-journal.org/index.php/dema/article/view/20. Acesso em: 14 jan. 2025.

SAMPAIO, R. P.; COSTA, A. A.; FLORES-COLEN, I. A discussion of digital transition impact on facility management of hospital buildings. **Facilities**, Bingley, v. 41, n. 5–6, p. 389–406, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1108/F-07-2022-0092. Acesso em: 15 mar. 2025.

SANNINO, G.; FALCO, I.; PIETRO, G. A Continuous noninvasive arterial pressure (CNAP) approach for health 4.0 systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, Piscataway, v. 15, n. 1, p. 498–506, 2019. Disponível em: https://doi. 10.1109/TII.2018.2832081. Acesso em: 22 jan. 2023.

SANTAMATO, V.; TRICASE, C.; FACCILONGO, N.; IACOVIELLO, M.; MARENGO, A. Exploring the impact of artificial intelligence on healthcare management: a combined systematic review and machine-learning approach. **Applied Sciences**, Basel, v. 14, n. 22, 10144, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app142210144. Acesso em: 9 jan. 2025.

SAVANOVIĆ, N.; TOSKOVIC, A.; PETROVIC, A.; ZIVKOVIC, M.; DAMAŠEVIČIUS, R.; JOVANOVIC, L.; BACANIN, N.; NIKOLIC, B. Intrusion detection in healthcare 4.0 Internet of Things systems via metaheuristics optimized machine learning. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 16, 12563, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su151612563. Acesso em: 23 jan. 2025.

SAVIANO, M.; BASSANO, C.; PICIOCCHI, P.; DI NAUTA, P.; LETTIERI, M. Monitoring viability and sustainability in healthcare organizations. **Sustainability**, Basel, v. 10, n. 10, 3548, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su10103548. Acesso em: 16 abr. 2024.

SCAVARDA, A.; DAÚ, G. L.; SCAVARDA, L. F.; KORZENOWSKI, A. L. A proposed healthcare supply chain management framework in the emerging economies with the sustainable lenses: the theory, the practice, and the policy. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 141, p. 418–430, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918303987. Acesso em: 12 nov. 2023.

SCHIE, V. V. Governance related factors influencing the implementation of sustainability in hospitals: a systematic literature review. **Health Policy**, Shannon, v. 146, 105115, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105115. Acesso em: 20 fev. 2025.

SCHMIDT, L.; BOHNET-JOSCHKO, S. Planetary health and hospitals' contribution: a scoping review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 19, n. 20, 13536, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph192013536. Acesso em: 13 fev. 2025.

SCOTT, J. Grounded theory. *In*: JUPP, V. (org.). **The sage dictionary of social research methods**. London: Sage Publications, 2006. 131-132 p.

SENBEKOV, M.; SALIEV, T.; BUKEYEVA, Z.; ALMABAYEVA, A.; ZHANALIYEVA, M.; AITENOVA, N.; TOISHIBEKOV, Y.; FAKHRADIYEV, I. The recent progress and applications of digital technologies in healthcare: a review. **International Journal of Telemedicine and Applications**, Oxford, v. 2020, 8830200, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2020/8830200. Acesso em: 15 jan. 2025.

SENNA, P.; REIS, A.; DIAS, A.; COELHO, O.; GUIMARÃES, J.; ELIANA, S. Healthcare supply chain resilience framework: antecedents, mediators, consequents. **Production Planning and Control**, Abingdon, v. 34, n. 3, p. 295–309, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1913525. Acesso em: 5 dez. 2023.

SEPETIS, A.; GEORGANTAS, K.; NIKOLAOU, I. A proposed circular economy model for hospital bio-waste management in municipal settings. **Sustainability**, Basel, v. 17, n. 1, 5, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17010005. Acesso em: 13 maio 2025.

SHARMA, D.; SINGH AUJLA, G.; BAJAJ, R. Evolution from ancient medication to human-centered healthcare 4.0: a review on health care recommender systems. **International Journal of Communication Systems**, Oxford, v. 36, n. 12, p. e4058, 2019. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/dac.4058. Acesso em: 9 out. 2023.

SHARMA, V.; JAMWAL, A.; AGRAWAL, R.; PRATAP, S. A review on digital transformation in healthcare waste management: applications, research trends and implications. **Waste Management and Research**, London, v. 43, n. 6, p. 828–849, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1177/0734242X241285420. Acesso em: 13 maio 2025.

SERKOV, A.; TKACHENKO, V.; KHARCHENKO, V.; PEVNEV, V.; TRUBCHANINOVA, K. A method to enhance the bandwidth and noise immunity of IIoT when exposed to natural and intentional electromagnetic interference. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROBLEMS OF INFOCOMMUNICATIONS. SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2020, Kharkiv. **Proceedings** [...]. Ukraine: IEEE, p. 527–532, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9467929. Acesso em: 4 ago. 2021.

SILVEIRA, F.; RODEGHIERO NETO, I.; MACHADO, F. M.; SILVA, M. P.; AMARAL, F. G. Analysis of industry 4.0 technologies applied to the health sector: systematic literature review. *In*: AREZES, P.M.; BAPTISTA, J. S.; BARROSO, M. P.; CARNEIRO, P.; CORDEIRO P.; COSTA, N.; MELO, R. B.; MIGUEL, A. S.; PERESTRELO, G. (ed.). **Occupational and Environmental Safety and Health**. Warsaw: Springer, 2019, v. 202, p. 701-709. (Studies in systems, decision and control, 202). Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14730-3_73. Acesso em: 20 ago. 2019.

SIMION LUDUȘANU, D. G.; FERTU, D. I.; TINICĂ, G.; GAVRILESCU, M. Integrated quality and environmental management in healthcare: impacts, implementation, and future directions toward sustainability. **Sustainability**, Basel, v. 17, n. 11, 5156, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17115156. Acesso em: 9 maio 2025.

SONY, M.; ANTONY, J.; TORTORELLA, G. L. Critical success factors for successful implementation of healthcare 4.0: a literature review and future research agenda. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 20, n. 5, 4669, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/1660-4601/20/5/4669. Acesso em: 15 dez. 2023.

ȘTEFAN, A. M.; RUSU, N. R.; OVREIU, E.; CIUC, M. Empowering healthcare: a comprehensive guide to implementing a robust medical information system: components, benefits, objectives, evaluation criteria, and seamless deployment strategies. **Applied System Innovation**, Basel, v. 7, n. 3, 51, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/asi7030051. Acesso em: 15 jan. 2025.

STEVIĆ, Ž.; PAMUČAR, D.; PUŠKA, A.; CHATTERJEE, P. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). **Computers & Industrial Engineering**, Oxford, v. 140, p. 106231, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835219307004. Acesso em: 15 dez. 2023.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 40, p. 536–541, 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129. Acesso em: 5 abr. 2022.

SUN, C.; CHRYSIKOU, E.; SAVVOPOULOU, E.; HERNANDEZ-GARCIA, E.; FATAH G.; SCHIECK, A. Healthcare built environment and telemedicine practice for social and environmental sustainability. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 3, 2697, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su15032697. Acesso em: 15 maio 2025.

TANWAR, S.; PAREKH, K.; EVANS, R. Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications. **Journal of Information Security and Applications**, Kidlington, v. 50, 102407, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214212619306155. Acesso em: 5 set. 2022.

TASNEEM, I.; ARIZ, A.; BHARTI, D.; HALEEM, A.; JAVAID, M.; BAHL, S. 3D printing technology and its significant applications in the context of healthcare education. **Journal of**

Industrial Integration and Management, Singapore, v. 8, n. 1, p. 113–130, 2023. Disponível em: https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2424862221500159. Acesso em: 24 abr. 2023.

TEHERANI, A.; NISHIMURA, H.; APATIRA, L.; NEWMAN, T.; RYAN, S. Identification of core objectives for teaching sustainable healthcare education. **Medical Education Online**, Abingdon, v. 22, n. 1, 1386042, 2017. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10872981.2017.1386042. Acesso em: 6 maio 2021.

TESSEMA, D. H.; YESILADA, F.; AGHAEI, I. Enhancing corporate sustainability through total quality management: evidence from Ethiopian private hospitals. **Sage Open**, Thousand Oaks, v. 15, n. 2, p. 1–20, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1177/21582440251329575. Acesso em: 30 jul. 2025.

THIEL, C. L.; SCHEHLEIN, E.; RAVILLA, T.; RAVINDRAN, R. D.; ROBIN, A. L.; SAEEDI, O. J.; SCHUMAN, J. S.; VENKATESH, R. Cataract surgery and environmental sustainability: waste and lifecycle assessment of phacoemulsification at a private healthcare facility. **Journal of Cataract & Refractive Surgery**, Riverwoods, v. 43, n. 11, p. 1391–1398, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.08.017. Acesso em: 13 out. 2022.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, Abingdon, v. 27, n. 5, p. 408–420, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464. Acesso em: 4 nov. 2021.

TIRITEU, S.; COSMA, A.; PACURARU, M.; ZAMFIR, A.; CHIRVASE, S. Improved healthcare quality through integrated hospital management and digitalization. **Journal of e-Health Management**, King of Prussia, v. 2024, 614161, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.5171/2024.614161. Acesso em: 14 fev. 2025.

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; ESPÔSTO, K. F.; MAC CAWLEY VERGARA, A.; VASSOLO, R.; TLAPA MENDOZA, D.; NARAYANAMURTHY, G. Measuring the effect of healthcare 4.0 implementation on hospitals' performance. **Production Planning & Control**, Abingdon, v. 33, n. 4, p. 386–401, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1824283. Acesso em: 13 fev. 2025.

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; ESPÔSTO, K. F.; VERGARA, A. M. C.; VASSOLO, R.; MENDOZA, D. T.; NARAYANAMURTHY, G. Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 156, 120048, 2020a. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162519323005. Acesso em: 18 maio 2023.

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; VERGARA, A. M. C.; VASSOLO, R.; SAWHNEY, R. Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning & Control**, Abingdon, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 2020b. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1702226. Acesso em: 27 nov. 2024.

TORTORELLA, G. L.; SAURIN, T. A.; FOGLIATTO, F. S.; ROSA, V. M.; TONETTO, L. M.; MAGRABI, F. Impacts of healthcare 4.0 digital technologies on the resilience of hospitals. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 166, 120666, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120666. Acesso em: 10 jan. 2023.

UGANDAR, R. E.; RAHAMATHUNNISA, U.; SAJITHRA, S.; CHRISTIANA, M. B.; PALAI, B. K.; BOOPATHI, S. Hospital waste management using Internet of Things and deep learning: enhanced efficiency and sustainability. *In*: ARSHAD, M. (coord.). **Applications of synthetic biology in health, energy, and environment**. Hershey: IGI Global, 2023. cap. 15, p. 317-343. Disponível em: https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6577-6.ch015. Acesso em: 13 abr. 2024.

UNGC. **UN global compact progress report 2019**, 2019. Disponível em: https://unglobalcompact.org/library/5716. Acesso em: 11 set. 2020.

UNTERHOFER, M.; RAUCH, E.; MATT, D. T. Hospital 4.0 roadmap: an agile implementation guideline for hospital manager. **International Journal of Agile Systems and Management**, Geneva, v. 14, n. 4, p. 635–656, 2021. Disponível em: https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJASM.2021.120230. Acesso em: 6 abr. 2023.

VASSOLO, R. S.; MAC CAWLEY, A. F.; TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; TLAPA, D.; NARAYANAMURTHY, G. Hospital investment decisions in healthcare 4.0 technologies: scoping review and framework for exploring challenges, trends, and research directions. **Journal of Medical Internet Research**, Toronto, v. 23, n. 8, e27571, 2021. Disponível em: https://www.jmir.org/2021/8/e27571. Acesso em: 14 jan. 2024.

VAN STRATEN, B.; DANKELMAN, J.; VAN DER EIJK, A.; HOREMAN, T. A circular healthcare economy: a feasibility study to reduce surgical stainless-steel waste. **Sustainable Production and Consumption**, Amsterdam, v. 27, p. 169–175, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550920313701. Acesso em: 13 dez. 2022.

WANG, H.; YE, H.; LIU, L. Constructing big data prevention and control model for public health emergencies in China: a grounded theory study. **Frontiers in Public Health**, Lausanne, v. 11, 1112547, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1112547. Acesso em: 8 maio 2024.

WANG, T.; WANG, Y.; MCLEOD, A. Do health information technology investments impact hospital financial performance and productivity? **International Journal of Accounting Information Systems**, Oxford, v. 28, p. 1–13, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.accinf.2017.12.002. Acesso em: 7 maio 2024.

WCED. **Our common future**: Report of the world commission on environment and development. Oxford: Oxford University Press, p. 383, 1987. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

WEF. **Health and healthcare in the fourth industrial revolution**: global future council on the future of health and healthcare 2016-2018. Geneva: World Economic Forum, p. 48, 2019.

Disponível em: https://www.weforum.org/reports/health-and-healthcare-in-the-fourth-industrial-revolution-global-future-council-on-the-future-of-health-and-healthcare-2016-2018. Acesso em: 3 out. 2021.

WEHDE, M. Healthcare 4.0. **IEEE Engineering Management Review**, Piscataway, v. 47, n. 3, p. 24–28, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2930702. Acesso em: 16 jul. 2022.

WEIMANN, E.; PATEL, B. Tackling the climate targets set by the Paris agreement (COP 21): green leadership empowers public hospitals to overcome obstacles and challenges in a resource-constrained environment. **South African Medical Journal**, Pretoria, v. 107, n. 1, p. 34–38, 2017. Disponível em: https://hdl.handle.net/10520/EJC-4f43b5850. Acesso em: 5 mar. 2021.

WIELKI, J.; JURCZYK-BUNKOWSKA, M.; MADERA, D. Knowledge capture to monitor the alignment of hospital processes and applied information technologies. *In*: EUROPEAN CONFERENCE ON KNOWLEDGE MANAGEMENT - ECKM, 21., 2020, Coventry. **Proceedings** [...]. Coventry: Academic Conferences and Publishing International Limited, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.34190/EKM.20.134. Acesso em: 4 maio 2023.

WILLIAMS, S. J.; RADNOR, Z. J. Moving from service to sustainable services: a healthcare case study. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Bingley, v. 71, n. 4, p. 1126–1148, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2019-0583. Acesso em: 13 maio 2023.

WHO. **Global strategy on digital health 2020–2025**, 2021. Geneva: World Health Organization. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/344249/9789240020924-eng.pdf. Acesso em: 23 jan. 2025.

XAMES, M. D.; TOPCU, T. G. How can digital twins support the economic, environmental, and social sustainability of healthcare systems: a systematic review focused on the triple bottom line. **IEEE Access**, Piscataway, v. 13, p. 64390–64411, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3559502. Acesso em: 9 fev. 2025.

XIA, B.; OLANIPEKUN, A.; CHEN, Q.; XIE, L.; LIU, Y. Conceptualising the state of the art of corporate social responsibility (CSR) in the construction industry and its nexus to sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 195, p. 340–353, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.157. Acesso em: 19 abr. 2021.

YANG, G.; PANG, Z.; JAMAL DEEN, M.; DONG, M.; ZHANG, Y.-T.; LOVELL, N.; RAHMANI, A. M. Homecare robotic systems for healthcare 4.0: visions and enabling technologies. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, Piscataway, v. 24, n. 9, p. 2535–2549, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.2990529. Acesso em: 6 ago. 2022.

YIN, R. K. **Case study research and applications**: design and methods. 6th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications Inc, 2018.

ZEB, S.; FNU, N.; ABBASI, N.; FAHAD, M. AI in healthcare: revolutionizing diagnosis and therapy. **International Journal of Multidisciplinary Sciences and Arts**, Multan, v. 3, n. 3, p. 118–128, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.47709/ijmdsa.v3i3.4546. Acesso em: jul. 2025.

ZHONG, R. Y.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. **Engineering**, Beijing, v. 3, n. 5, p. 616–630, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015. Acesso em: 6 maio 2021.

ZHU, Q.; JOHNSON, S.; SARKIS, J. Lean six sigma and environmental sustainability: a hospital perspective. **Supply Chain Forum**, Abingdon, v. 19, n. 1, p. 25–41, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1080/16258312.2018.1426339. Acesso em: 22 out. 2021.

APÊNDICE A - Os 30 artigos mais citados em sustentabilidade em hospitais de 2016 a 2021

Nº	Title	Author(s)/Year	Journal	Times cited (02/17/2021)
1	A hybrid multi-criteria decision making method approach for selecting a sustainable location of healthcare waste disposa facility	Chauhan e Singh (2016)	Journal of Cleaner Production	73
2	Progressing in the change journey towards sustainability in healthcare: The role of 'Green' HRM	Pinzone et al. (2016)	Journal of Cleaner Production	72
3	Navigating the sustainability landscape: a systematic review of sustainability approaches in healthcare	Lennox, Maher e Reed (2018)	Implementation Science	54
4	Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to Compromise solution	Stević et al. (2020)	Computers and Industrial Engineering	49
5	Exploration of social sustainability in healthcare supply chain	Hussain et al. (2018)	Journal of Cleaner Production	37
6	A review of sustainable energy access and technologies for healthcare facilities in the Global South	Franco et al. (2017)	Sustainable Energy Technologies and Assessments	31
7	Envisioning smart and sustainable healthcare: 3D Printing technologies for personalized medication	Aquino et al. (2018)	Futures	29
8	Social sustainability in healthcare facilities: a rating tool for analyzing and improving social aspects in environments of care	Capolongo et al. (2016)	Annali dell'Istituto Superiore di Sanita	29
9	Cataract surgery and environmental sustainability: Waste and lifecycle assessment of phacoemulsification at a private healthcare facility	Thiel et al. (2017)	Journal of Cataract and Refractive Surgery	25
10	The impact of green human resource management practices on sustainable performance in healthcare organizations A conceptual framework	Mousa e Othman (2020)	Journal of Cleaner Production	24
11	Public healthcare practices and criteria for a sustainable procurement A comparative study between UK and Italy	Chiarini, Opoku e Vagnoni (2017)	Journal of Cleaner Production	23
12	A proposed healthcare supply chain management framework in the emerging economies with the sustainable lenses: The theory, the practice, and the policy	Scarvada et al. (2019)	Resources, Conservation & Recycling	22
13	The healthcare sustainable supply chain 4.0: The circular economy transitions conceptual framework with the corporate social responsibility mirror	Daú et al. (2019)	Sustainability	22
14	Lean six sigma and environmental sustainability: A hospital perspective	Zhu et al. (2018)	Supply Chain Forum	22
15	Does intellectual capital promote the shift of healthcare organizations towards sustainable development? Evidence from Italy	Cavicchi e Vagnoni (2017)	Journal of Cleaner Production	21

16	Fulfilling a new obligation: Teaching and learning of sustainable healthcare in the medical education curriculum	Tun (2019)	Medical Teacher	19
17	Enhancing the sustainability and climate resiliency of health care facilities: a comparison of initiatives and toolkits	Balbus et al. (2016)	Pan American Journal of Public Health	19
18	Sustainability in health care by allocating resources effectively (SHARE) 3: examining how resource allocation decisions are made, implemented, and evaluated in a local healthcare setting	Harris et al. (2017b)	BMC Health Services Research	18
19	Sustainability in Health care by allocating resources effectively (SHARE) 1: introducing a series of papers reporting an investigation of disinvestment in a local healthcare setting	Harris et al. (2017c)	BMC Health Services Research	18
20	Healthcare sustainability and the role of intellectual capital	Cavicchi (2017)	Journal of Intellectual Capital	18
21	Big Data for the Sustainability of Healthcare Project Financing	Visconti e Morea (2019)	Sustainability	17
22	Sustainability in Health care by Allocating Resources Effectively (SHARE) 2 identifying opportunities for disinvestment in a local healthcare setting	Harris et al. (2017a)	BMC Health Services Research	17
23	Development of a healthcare building sustainability assessment method - Proposed structure and system of weights for the Portuguese context	Castro, Mateus e Bragança (2017)	Journal of Cleaner Production	17
24	Health technology performance assessment: Real-world evidence for public healthcare sustainability	Guerra-Júnior et al. (2017)	International Journal of Technology Assessment in Health Care	16
25	Motivators of social sustainability in healthcare supply chains in the UAE-Stakeholder perspective	Khan et al. (2018)	Sustainable Production and Consumption	15
26	Sustainability in health care by allocating resources effectively (SHARE) 4: exploring opportunities and methods for consumer engagement in resource allocation in a local healthcare setting	Harris et al. (2017d)	BMC Health Services Research	15
27	Identification of core objectives for teaching sustainable healthcare education	Teherani et al. (2017)	Medical Education Online	15
28	Can Public-Private Partnerships Foster Investment Sustainability in Smart Hospitals?	Moro Visconti et al. (2019)	Sustainability	14
29	Implementation of a multi-variable regression analysis in the assessment of the generation rate and composition of hospital solid waste for the design of a sustainable management system in developing countries	Al-Khatib et al. (2016)	Waste Management & Research	14
30	Healthy and Sustainable Hospital Evaluation-A Review of POE Tools for Hospital Assessment in an Evidence-Based Design Framework	Brambilla e Capolongo (2019)	Buildings	13

APÊNDICE B - Os 30 artigos mais citados em healthcare 4.0 de 2017 a 2022

Nº	Title	Author(s)/Year	Journal	Times cited (05/23/2022)
1	Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications	Tanwar et al. (2020)	Journal of Information Security and Applications	231
2	Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0	Aceto et al. (2020)	Journal of Industrial Information Integration	224
3	Fog computing for Healthcare 4.0 environment: Opportunities and challenges	Kumari et al. (2018)	Computers and Electrical Engineering	201
4	An Edge-Based Architecture to Support Efficient Applications for Healthcare Industry 4.0	Pace et al. (2019)	IEEE Transactions on industrial informatics	172
5	Tactile-internet-based telesurgery system for healthcare 4.0: An architecture, research challenges, and future directions	Gupta et al. (2019)	IEEE Network	62
6	Introduction to the Special Section: Convergence of Automation Technology, Biomedical Engineering, and Health Informatics Toward the Healthcare 4.0	Pang et al. (2018)	IEEE Reviews in Biomedical Engineering	48
7	The healthcare sustainable supply chain 4.0: The circular economy transition conceptual framework with the corporate social responsibility mirror	Daú et al. (2019)	Sustainability	46
8	The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal	Chauhan et al. (2021)	Journal of Cleaner Production	41
9	Healthcare 4.0: A review of frontiers in digital health	Jayaraman et al. (2020)	Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery	41
10	A Novel Smart Healthcare Design, Simulation, and Implementation Using Healthcare 4.0 Processes	Kumar et al. (2020)	IEEE Access	41
11	BinDaaS: Blockchain-Based Deep-Learning as-a-Service in Healthcare 4.0 Applications	Bhattacharya et al. (2021)	IEEE Transactions on Network Science and Engineering	39
12	Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions	Tortorella et al. (2020)	Production Planning and Control	37
13	Towards a GDPR compliant way to secure European cross border Healthcare Industry 4.0	Larrucea et al. (2020)	Computer Standards and Interfaces	34
14	Medical 4.0 and its role in healthcare during covid-19 pandemic: A review	Haleem and Javaid (2020)	Journal of Industrial Integration and Management	31
15	Homecare Robotic Systems for Healthcare 4.0: Visions and Enabling Technologies	Yang et al. (2020)	IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	30
16	Artificial Intelligence and Internet of Things Based Healthcare 4.0 Monitoring System	Kishor and Chakraborty (2021)	Wireless Personal Communications	28
17	Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies	Tortorella et al. (2020)	Technological Forecasting and Social Change	25

18	Modelling the barriers of Health 4.0–the fourth healthcare industrial revolution in India by TISM	Ajmera and Jain (2019)	Operations Management Research	25
19	Healthcare 4.0	Wehde (2019)	IEEE Engineering Management Review	25
20	A Continuous Noninvasive Arterial Pressure (CNAP) Approach for Health 4.0 Systems	Sannino et al. (2019)	IEEE Transactions on Industrial Informatics	22
21	Evolution from ancient medication to human-centered Healthcare 4.0: A review on health care recommender systems	Sharma et al. (2019)	International Journal of Communication Systems	16
22	Impacts of Healthcare 4.0 digital technologies on the resilience of hospitals	Tortorella et al. (2021)	Technological Forecasting and Social Change	15
23	Design, implementation, and metrological characterization of a wearable, integrated AR-BCI hands-free system for health 4.0 monitoring	Arpaia et al. (2021)	Measurement: Journal of the International Measurement Confederation	14
24	Benchmarking health-care supply chain by implementing Industry 4.0: a fuzzy-AHP-DEMATEL approach	Hossain and Thakur (2021)	Benchmarking	11
25	Debunking the myth of industry 4.0 in health care: insights from a systematic literature review	Cavallone and Palumbo (2020)	The TQM journal	11
26	The Times they Are a-Changin' – Healthcare 4.0 Is Coming!	Chen et al. (2020)	Journal of Medical Systems	11
27	Health 4.0: On the Way to Realizing the Healthcare of the Future	Al-Jaroodi et al. (2020)	IEEE Access	08
28	Industry 4.0 applications for medical/healthcare services	Paul et al. (2021)	Journal of Sensor and Actuator Networks	06
29	Measuring the effect of Healthcare 4.0 implementation on hospitals' performance	Tortorella et al. (2022)	Production Planning and Control	05
30	Health Care 4.0: A vision for smart and connected health care	Li and Carayon (2021)	IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering	05

APÊNDICE C – Projeto para pesquisa dos estudos de caso

PROJETO PARA PESQUISA DOS ESTUDO DE CASO						
Tema	**Quesitos analisados**	**Fontes de Evidências**				
		Entrevista			**Observação *in loco***	**Análise de Documentos**
		Diretoria	**Gerencial**	**Operacional**		
Sustentabilidade	Projetos e práticas de sustentabilidade		x	x	x	x
	Resultados apresentados	x		x	x	x
	Desafios enfrentados	x				
Tecnologias Digitais	Tecnologias da informação e comunicação (TICs) utilizadas		x	x	x	x
	Tecnologias Healthcare 4.0 utilizadas		x	x	x	x
	Resultados apresentados	x		x		x
	Desafios enfrentados	x				

APÊNDICE D – Tecnologias digitais e impactos nas dimensões da sustentabilidade nos estudos de caso

#		Hospitais				Impacto na sustentabilidade hospitalar		
Tecnologia digital		**A**	**B**	**C**	**D**	**Ambiental**	**Social**	**Econômica**
Tecnologias da informação e comunicação (TICs)	Philips Tasy®	x			x	x	x	x
	Plannexo®	x			x	x	x	x
	Gif®	x						x
	Shift®	x						x
	Weknow Healthtech®	x					x	x
	MV®		x	x		x	x	x
	GTPlan Supply Chain 4.0®		x	x		x	x	x
	Power BI®		x					x
	Effort®		x	x		x	x	x
	Medportal®		x				x	x
	Qlik Sense®			x	x			x
	OnBase®			x		x		x
	Epimed Solutions®				x			x
	KPIH®				x			x
	Interact®				x			x
Tecnologias Healthcare 4.0	Telemedicina	x	x	x	x	x	x	x
	Cloud computing	x	x	x	x			x
	Robótica		x	x		x	x	x
	M-health		x	x	x	x	x	x
	Inteligência artificial			x			x	x
	Internet das Coisas			x			x	x