FACULDADE MERIDIONAL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

CARLA GABRIELA CARLOT ZORZI

AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL DE PROJETO ARQUITETÔNICO DE HOSPITAL MODULAR DESTINADO AO TRATAMENTO DA COVID-19 POR MEIO DE SIMULAÇÃO CFD

Passo Fundo/RS

Carla Gabriela Carlot Zorzi

AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL DE PROJETO ARQUITETÔNICO DE HOSPITAL MODULAR DESTINADO AO TRATAMENTO DA COVID-19 POR MEIO DE SIMULAÇÃO CFD

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Meridional, na área de concentração Projeto de Arquitetura e Urbanismo; linha de pesquisa em Tecnologia, Projeto e Gestão do Ambiente Construído, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, sob orientação do professor Dr. Alcindo Neckel e coorientação do professor Dr. Laércio Stolfo Maculan.

Passo Fundo/RS

CIP – Catalogação na Publicação

Z88a ZORZI, Carla Gabriela Carlot

Avaliação da ventilação natural de projeto arquitetônico de hospital modular destinado ao tratamento da Covid-19 por meio de simulação CFD / Carla Gabriela Carlot Zorzi. – 2022.

140 f., il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade IMED, Passo Fundo, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Alcindo Neckel.

Coorientador: Prof. Dr. Laércio Stolfo Maculan.

1. Projeto arquitetônico. 2. Tecnologia geoespacial. 3. Hospitais – Arquitetura e urbanismo. I. NECKEL, Alcindo, orientador. II. MACULAN, Laércio Stolfo, coorientador. III. Título.

CDU: **72**

Catalogação: Bibliotecária Angela Saadi Machado - CRB 10/1857

Autor: Carla Gabriela Carlot Zorzi

Título: Avaliação da ventilação natural de projeto arquitetônico de hospital modular destinado ao tratamento da COVID-19 por meio da simulação CFD

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Meridional – IMED, na área de concentração Projeto de Arquitetura e Urbanismo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Passo Fundo, março de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof.	Dr. Alcindo Neckel (PPGARQ – IMED) – Presidente
Prof. Dr. I	Laércio Stolfo Maculan (PPGEC/IMED) – Membro Externo
Prof. Dr. Alexandre	Almeida Del Savio (Universidade de Lima/Peru) – Membro Externo
Prof ^a . Dr ^a .	Grace Tibério Cardoso (PPGArq/IMED) – Membro Externo
Prof. Dr. Cleitor	n Korcelski (Universidade do Minho/Portugal) – Membro Externo



AGRADECIMENTOS

Ao Pai, por me amar de maneira imensurável e me encontrar antes mesmo que eu me perdesse; por sua fidelidade e graciosidade, por Ser e me fazer ser. A vida é uma graça que jamais conseguirei agradecer como gostaria, mas Seu amor compreende; é assim, Seu amor é quem Você é.

À minha família pelo suporte emocional necessário, amor infinito, paciência e compreensão — amo vocês! Pai e mãe, gratidão por me tornarem a pessoa determinada e persistente que sou hoje; vocês me inspiram! — Ana Jú, obrigada por entender minha ausência e colorir minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alcindo Neckel e coorientador e ao Dr. Laércio Stolfo Maculan, pela dedicação e paciência ao me guiar por caminhos antes desconhecidos. Já dizia Isaac Newton: "Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes". — A vocês, meu eterno carinho, gratidão e admiração!

À professora Dra. Grace Tibério Cardoso minha gratidão por compartilhar seu conhecimento com clareza, objetividade e dedicação durante o estágio e demais orientações realizadas nesta etapa da minha jornada acadêmica.

À professora Dra. Alina Santiago, gratidão por ampliar meus horizontes com suas contribuições enriquecedoras nesta etapa.

Aos demais professores e funcionários da Faculdade Meridional, gratidão por todo o apoio e conhecimento compartilhado ao longo dessa jornada.

Ao prof. Dr. Julian Grub (UNISINOS), ao prof. Dr. Grace Tibério Cardoso (IMED) e ao prof. Dr. Laércio Stolfo Maculan (IMED) pelas contribuições na banca de qualificação.

Ao Dr. Alexandre Almeida Del Savio (ULIMA) rendo gratidão pela disponibilidade, gentileza e prontidão ao contribuir nesta dissertação de mestrado.

Agradeço as bolsas de produtividade em pesquisa da CNPq (Processo n. 313040/2020-6) e Fundação Meridional - IMED, a Gerdau, Ipiranga, Brasil ao Cubo, Zaffarie Hospital Moinhos de Vento, bem como a Faculdade Meridional por esta oportunidade que me proporcionou tamanho crescimento.

Aos amigos de longa data, a Natália e aqueles que o mestrado me proporcionou, pela compreensão, apoio e incentivo em minha jornada acadêmica.

Ao Alberto, minha gratidão por iluminar meus dias e deixá-los leves. — I'm glad that you're by my side!



RESUMO

Este estudo trata-se de uma dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, apresentado ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Arquitetura e Urbanismo da IMED, na linha de pesquisa de tecnologia, projeto e gestão do ambiente construído, abordando teorias, métodos, técnicas e ferramentas para análise tendo como objeto de pesquisa uma edificação hospitalar construída através da arquitetura modular, por meio de tecnologias e instrumentos de observação, simulação CFD, representação e análises de ventilação natural no interior e exterior desta edificação. O objetivo geral desta dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo é verificar a ventilação natural externa e interna no compartimento hospitalar Independência, na cidade de Porto Alegre, localizada no estado do Rio Grande do Sul (Brasil), construída a partir da arquitetura modular, especialmente para o tratamento de pacientes infectados durante a pandemia de COVID-19. Para efetuar esta pesquisa realizou-se um levantamento bibliográfico relacionado a temática, a modelagem do entorno e do objeto de estudo utilizando ferramenta BIM, posteriormente ocorreram as análises de ventilação natural por meio de softwares de simulação CFD e, em conclusão, a discussão dos resultadosobtidos. Constatou-se que a velocidade do vento em Porto Alegre costuma variar entre 5 e 10 km/h (1,4 e 2,8 m/s) e por isso utilizou-se a media de 2,1 m/s para os ensaios. A área externa analisada é de 815,27km² e observou-se pelas simulações que há forte influência da topografia e das edificações em altura presentes na localidade. Percebe-se maiores níveis de ventilação onde o relevo é mais acidentado (2.624 m/s e 3.214 m/s), em maior altitude os índices se mantém entre 1.856 m/s e 2.624 m/s, enquanto que na camada próxima as edificações há locais onde registrase velocidade nula (=0). Já para as simulações internas utilizou-se um compartimento hospitalar selecionado. As análises foram realizadas com ventosoprando das quatro direções (0°, 45°, 90° e 180°), todas as janelas foram consideradas abertas em sua capacidade máxima; para maior precisão das variações que ocorrem naventilação natural neste estudo utilizou-se uma "grade" virtual com 198 pontos localizados em três alturas acima do nível do solo: 0,5, 1,27 e 2,04 m; ao considerar as dimensões da malha e os parâmetros pesquisados, foram necessárias entre 200 e 400 iterações para os cálculos da ventilação natural. Para a realização da análise de clusters foram alocados onze pontos no espaço observado; demonstrou-se as variações da ventilação natural entre ospontos amostrados, o que permitiu um melhor entendimento relacionado a intensidade e velocidade do vento. Ao verificar os resultados obtidos nota-se que a transmissão deste vírus não ocorre apenas por contato ou proximidade entre indivíduos, mas por partículas ultrafinas suspensas no ar; destacando que a ventilação natural em hospitais dedicados principalmente ou exclusivamente ao cuidado de pacientes infectados com SARS-CoV-2, requer design proativo e cuidado preventivo.

Palavras-chave: Design proativo; Projeto arquitetônico; Análise Ambiental; Análise urbana; Tecnologias geoespaciais.

ABSTRACT

This study is a Master's thesis in Architecture and Urbanism, presented to the Stricto Sensu Graduate Program in Architecture and Urbanism at IMED, in the research line of technology environment, design and management of the built, approaching theories, methods, techniques and tools for analysis as an object of hospital research built through a modular architecture, through new technologies and instruments of observation, CFD simulation, representation and measurement of natural ventilation inside and outside this structure. The general objective of this dissertation is to control the natural ventilation of the external city and the internal objective close to that of Hospital Independência, in Rio Grande de Porto Alegre, located in the state of Independência, in Rio Grande do Sul. and a simulation study of BIM results, subsequent simulation study of the BIM results, in conclusion, the simulation study of the natural results, in conclusion, the simulation study of the results obtained. It was found that the wind speed in Porto Alegre usually varies between 5 and 10 km/h (1.4 and 2.8 m/s) and therefore a media of 2.1 m/s is used for the tests. The external area is 815.27km² andit was observed through the simulations that there is a strong influence of the topography and the high-rise buildings in the locality. The highest levels of ventilation can be seen where the relief is more rugged (2,624 m/s and 3,214 m/s), at higher altitudes the rates remain between 1,856 m/s and 2,624 m/s, while in the layer the buildings close to there is where zero speed is registered (=0). For internal simulations, a selected hospital storage was used. Open doors were performed at their maximum capacity (4°.0° and blowing)45°, with all windows open18were opened at their maximum capacity; for greater precision of the above variations that occur in natural ventilation in this study, a virtual "degree" was used with 198 similar points in three of the ground level: 0.5, 1.27 and 2.04 m; when considered as mesh dimensions and research parameters, between 200 and 400 iterations for the means of natural ventilation. In order to perform the cluster analysis, eleven points were allocated in the observed space; Variations of natural ventilation between the points sampled which best resembles the intensity and speed of the wind. When verifying the results obtained, it should be noted that the transmission of this virus occurs only through our suspended inlets, but not through ultrathin contact suspended in the air; Infected that natural ventilation in hospitals mainly requires the design or exclusively the care of patients with SARS-CoV-2, proactive and preventive care stands out.

Keywords: Proactive design; Architectural project; Environmental analysis; Urban analysis; Geospatial Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Possibilidades de análise utilizando o Autodesk CFD	30
Figura 2 Simulação de fluidos no Autodesk CFD	31
Figura 3 Localização de Porto Alegre, Brasil	33
Figura 4 Projeto do Hospital Independência	33
Figura 5 Perspectiva do Projeto do Hospital Independência	34
Figura 6 Hospital Independência	34
Figura 7 Brises: Hospital Independência	35
Figura 8 Layout interno do Hospital Independência, com projeção 3D paramétrica da	sala
selecionada para o estudo da ventilação interna. (A) Layout interno da sala coletiva. (B) '	Vista
da estrutura externa de brise em madeira (C) e dimensões do brise mad	36
Figura 9 Rosa dos Ventos de Porto Alegre / RS – Brasil	37
Figura 10 Projeto disponibilizado em arquivo dwg	39
Figura 11 Vista superior da modelagem 3D do entorno	40
Figura 12 Organograma de pesquisa	41
Figura 13 Residência construída com base em arenito no século XII na comunidad	le de
Huesca, na Espanha	43
Figura 14 Estudo de Labaki e Kowaltowski, casa colonial típica vernacular	44
Figura 15 Objeto de estudo da pesquisa realizada por Widera (2021), Togo (Koutammak	ou).
Fto por Arkadiusz Podniesinski	45
Figura 16 Clima no Brasil	48
Figure 17 Hospital De L' Hotel Dieu, Paris, France, 1849	51
Figure 18 Ventilação Higiênica	59
Figure 19 Ventilação de conforto.	59
Figure 20 Resfriamento	60
Figura 21 Fases da construção modular	64
Figura 22 Pirâmide de Quéops, no Egito	65
Figura 23 Templo Grego	65
Figura 24 Gravura de Joseph Paxton da fachada do Palácio de Cristal em 1851	66
Figura 25 Le Corbusier: Maison Dom-ino	67
Figura 26 Casa Gropius, construída em 1938	67
Figura 27 Sistema modular fechado.	68
Figura 28 Sistema modular parcialmente aberto: Habitat 67, Canadá	69

Figura 29	Habitat 67, Canadá	69
Figura 30	Sistema modular aberto	70
Figura 31	Sistemas construtivos de elementos modulares	70
Figura 32	Sistema modular misto ou híbrido	71
Figura 33	A 212ª instalação de tratamento médico MASH de nível III em apoio às operaçõ	šes
ofensivas	durante a operação "Iraqi Freedom" em março de 2003	72
Figura 34	O 47º Hospital de Apoio de Combate configurado como um hospital de 296 lei	tos
no Kuwai	durante a operação "Iraqi Freedom I" em 2003	72
Figura 35	Construção do Hospital Wuhan Leishenshan, China	73
Figura 36	Hospital M'boi Mirim	74
Figura 37	Hospital Independência	74
Figura 38	Hospital da Retaguarda	75
Figura 39	Hospital Regional	75
Figura 40	Hospital Cemetron	76
Figura 41	Sistema off-site	76
Figura 42	Localização do Hospital Independência em relação ao Morro Santana	80
Figura 43	Mapa Nolli	82
Figura 44	Mapa de áreas verdes	83
Figura 45	Morro Santana: 311m de altitude	84
Figura 46	Ocupações irregulares no Morro Santana	85
Figura 47	Ocupações irregulares no Morro Santana	85
Figura 48	Ocupações irregulares no Morro Santana	86
Figura 49	Morro Santana: escalada	86
Figura 50	Morro Santana: rota de trilha	87
Figura 51	Morro Santana: grupo realizando trilha	87
Figura 52	Mapa de uso dos solos	88
Figura 53	Mapa viário	89
Figura 54	Perspectiva da modelagem 3D do entorno (ainda no software Sketchup)	92
Figura 55	Análise de ventilação no entorno: local onde está alocado o plano de corte	93
Figura 56	Análise do entorno: Superfícies em contato com a ventilação	93
Figura 57	Interface parcial do software Flow Design	94
Figura 58	Análise de ventilação no entorno: Plano de corte	94
Figura 59	Análise de ventilação no entorno: Plano de corte	95
Figura 60	Análise de ventilação no entorno: Plano de corte	95

Figura 61 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte96
Figura 62 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte
Figura 63 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte
Figura 64 Morro Santana: ponto mais alto de Porto Alegre
Figura 65 Análise de ventilação no entorno em relação ao morro Santana: Plano de corte98
Figura 66 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte
Figura 67 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte
Figura 68 Análise do entorno: Superfícies em contato com a ventilação
Figura 69 Ferramenta de diagnóstico. A) Áreas críticas que necessitavam de malha refinada,
indicadas em vermelho
Figura 70 Ferramenta de diagnóstico. B) Malha refinada
Figura 71 Malha final aplicada ao modelo. a) Vista plana. b) Vista de perfil e frontal visualizar
Figura 72 Layout interno do Hospital Independência, com projeção 3D paramétrica da sala
selecionada para o estudo da ventilação interna. (A) Layout interno da sala coletiva. (B) Vista
da estrutura externa de brise em madeira (C) e dimensões do brise madeira (D)105
Figura 73 Diagrama do quarto do hospital em estudo com setas indicando o fluxo de ar direção
do Hospital Independência
Figura 74 Fluxo de ar modelado e comportamento utilizando 0° como fonte de vento107
Figura 75 Velocidade inicial do fluxo de ar local na projeção 3D
Figura 76 Velocidade inicial do fluxo de ar local na projeção 3D
Figura 77 Velocidade do ar dentro e fora da sala estudada no Hospital Independência111
Figura 78 Distribuição de pontos na sala em estudo
Figura 79 Velocidade do ar dentro da sala, definida para um máximo de $0.2\ m$ / s para obter
uma melhor vista das velocidades lentas
Figura 80 Velocidade do ar interior, definida para um máximo de 0,2 m / s, em relação a:
Densidade gráficos, velocidade do fluxo de ar e valores dentro da sala em relação: (A) Cenário
1 com 100% janelas abertas e com a parede externa de madeira; (B) Cenário 2118
Figura 81 Velocidade do fluxo de ar e valores dentro da sala em relação ao seguinte. (A)
Cenário 1 com 100% aberto janelas e brise externo em madeira. (D) Cenário 4 com as janelas
50% abertas e sem brise externo em madeira
Figura 82 Esquadrias sugeridas para ventilação higiênica no objeto de estudo
Figura 83 Hospital da rede Sarah Kubitschek em Salvador

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade do ar interno simulada (m / s) em todos os 11 pontos da sala a	analisada
do Hospital Independência	112
Tabela 2 - Velocidades do ar interno resultantes de variações em relação ao cenário	original
de 0 °.	114
Tabela 3 - Valores do cluster em relação aos pontos amostrados	116
Tabela 4 - Médias dos clusters em relação aos resultados totais da amostragem d	le pontos
(m/s)	117

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3D Tridimensional

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC Arquitetura, Engenharia e Construção

AIC Aeronautical Information Circular

ANSYS Analysis Systems Incorporated

ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APO Análise Pós-Ocupacional

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-

Conditioning Engineers

BIM Building Information Model

BR3 Brasil ao Cubo

Cfa Clima subtropical de verão quente
Cfb Clima temperado de verão ameno
CFD Computational Fluid Dynamics

Covid-19 Coronavirus Disease 2019

Cwa Clima subtropical de inverno seco

DF Distrito Federal

EAS Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
IAI International Alliance for Interoperability
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

ISSO International Organization for Standardization

LoD Level of Development

MBS Modular Building System

MC Modular Construction

OMS Organização Mundial da Saúde
ONU Organização das Nações Unidas
RDC Resolução da Diretoria Colegiada

RNG Random Number Generator

RO Rondônia

RS Rio Grande do Sul

RU Resistente à Umidade

SARS-CoV-2 Serious Acute Respiratory Syndrome

SMAM Secretaria Municipal do Meio Ambiente

SP São Paulo

SUS Sistema Único de Saúde

TV Televisão

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNESCO Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e

Cultura

VANTs Veículos Aéreos Não Tripulados

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
CAPÍTULO I: METODOLOGIA	25
1. procedimentos metodológicos e tópicos da pesquisa	25
1.1 Caracterização geográfica do objeto de estudo	32
1.2 Etapas da pesquisa	37
CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	42
2. A arquitetura vernacular e seus fatores climáticos de ventilação	42
2.1 A arquitetura bioclimática e seus fatores de ventilação	46
2.2 Clima no Brasil e em Porto Alegre	48
CAPÍTULO III: ARQUITETURA HOSPITALAR	50
3. Arquitetura hospitalar	50
3.1 Histórico da arquitetura hospitalar	50
3.2 Alguns parâmetros de conforto térmico na arquitetura hospitalar	53
3.2.1 Avaliação do conforto térmico relacionado à ventilação natural	55
3.3 Normativas brasileiras para ventilação natural	57
3.3.1. Ventilação higiênica	58
3.3.2. Ventilação de conforto	59
3.3.3. Resfriamento.	59
CAPÍTULO IV: ARQUITETURA HOSPITALAR MODULAR PARA	o
ATENDIMENTO DO COVID-19	62
4. Arquitetura hospitalar modular para o atendimento da Covid-19 no Brasil	62
4.1 Arquitetura modular	64
4.1.1 Função da tecnologia na modulação de hospitais	71
4.2 Hospitais modulares	73
4 3 Hospitais construídos nela Brasil ao cubo	74

CAPÍTULO V: EDIFICAÇÃO, ESCALA URBANA E ANÁLISE DE VENTILAÇÃO
EXTERNA NAS PROXIMIDADES DO OBJETO DE ESTUDO78
5. Edificação e escala urbana79
5.1 A cidade como cenário de interações80
5.2 Relação do hospital com o entorno81
5.3 resultados e discussão das simulações de entorno imediato90
5.3.1 Seleção do software
5.3.2 Condições iniciais da simulação
5.3.3 Resultados e discussão
CAPÍTULO VI: ANÁLISES DE VENTILAÇÃO EM AMBIENTE INTERNO
HOSPITALAR101
6. Método de modelagem BIM e análises internas101
6.1 Agrupamento de k-means a partir dos pontos coletados para análise de
ventilação106
6.2 Análise De Ventilação Natural108
6.2.1 Análise de <i>cluster</i> aplicada a pontos amostrados de ventilação natural
CONSIDERAÇÕES FINAIS123
REFERÊNCIAS126

INTRODUÇÃO

Ainda que existam diversas vantagens relacionadas a associação de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico, estudos relatam que para a maioria dos profissionais da arquitetura há certa dificuldade em sua aplicação. O que demonstra a presença de uma lacuna entre o conhecimento acadêmico e a prática de projeto, especialmente no que se refere à ventilação natural.

(BEVILAQUA et al., 2019).

No mês de julho de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) admitiu que há a possibilidade de transmissão aérea do novo coronavírus, assim como pode ocorrer a contaminação do ar com outros vírus e bactérias. Essa contaminação pode acontecer por meio de partículas aerossóis minúsculas, que são liberadas por indivíduos infectados, ficando suspensas no ar. O cuidado com relação a isto deve ser redobrado em ambientes fechados, pois pode haver a contaminação de outras pessoas. Sendo assim, a ventilação em espaços compartilhados ganhou atenção por se tratar de uma das medidas preventivas mais importantes ao combater novas infecções (AGÊNCIA BRASIL, 2020).

Nesse sentido, evidencia-se a importância de estudos relacionados à ventilação natural em ambientes internos, uma vez que a falta de estratégias adequadas no planejamento de espaços pode inviabilizar o seu uso. Como exemplo disto, cita-se o caso de ambientes hospitalares, os quais podem ser prejudiciais não apenas para os pacientes, como também para trabalhadores e demais pessoas que transitam por esses ambientes, mesmo por determinado período de tempo (ZORZI *et al.*, 2021). Assim, em tempos de pandemia, mencionando-se em uma escala global, a falta de estudos e métodos criteriosos em fase de projeto pode ser prejudicial à saúde dos ambientes e das pessoas que nele estarão – comprometendo, então, o uso dos espaços. Estando os ambientes internos sujeitos a esta problemática, vê-se nos ágeis avanços tecnológicos uma oportunidade de melhorias relacionadas ao planejamento e/ou técnicas para adequação de espaços, visando a qualidade do ar; afinal, o uso combinado das ferramentas corretas pode facilitar e acelerar de maneira significativa os processos construtivos.

Entretanto, ao analisar a ventilação natural em edificações, deve ser considerada questões climáticas locais, pois estas influenciam de maneira direta na edificação analisada (FERNÁNDEZ-ZAYAS et al., 2021; SAKIYAMA et al., 2021). De acordo com Lamberts et al. (2014), devido ao imenso território do Brasil, bem como por estar localizado entre dois trópicos (Câncer e Capricórnio), o país possui clima bastante diversificado, sendo grande parte do território brasileiro classificado como clima quente e úmido. Para regiões tropicais, como é o caso do estado do Brasil, a ventilação natural é uma eficiente estratégia projetual, quando o objetivo é proporcionar conforto térmico e reduzir o consumo de energia elétrica, no sentido de aproveitar a ventilação natural (BEVILAQUA et al., 2019); apesar de o Rio Grande do Sul apresenta grande variação estacional de temperatura do ar, em determinadas estações do ano ocorrem temperaturas do ar semelhantes as regiões tropicais. Deve-se ressaltar que a ventilação natural; é fundamental para a salubridade dos ambientes internos e de seus ocupantes, afinal, desta maneira ocorre a renovação contínua do ar (BEVILAQUA, etal., 2019).

Como ações brasileiras que garantem a qualidade do ar em sistemas edificados, podese citar diversas estratégias – que é o caso do Artigo 176 do Decreto Lei nº 5.452 de 01 de Maio de 1943, que aponta a obrigatoriedade da ventilação natural em locais de trabalho, em que cada ambiente deve ter condições compatíveis com o serviço realizado – redação dada pela Lei nº 6.514, de 22.12.1977 (JUSBRASIL, 2021). Menciona-se também a Resolução RDC nº 50/2002, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a qual propõe critérios para o planejamento, dimensionamento, elaboração e avaliação de projetos e construções de estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS); bem como as Normas Brasileiras 10.152:1987, 5413 e 15.220, estabelecidas pela ABNT, que abordam características específicas de ambientes internos, sendo estas referentes à qualidade sonora, iluminação e desempenho térmico, respectivamente.

Sobre estabelecimentos de assistências de saúde, Sampaio (2006) afirma que ambientes hospitalares devem ter temperatura adequada, trocas de ar e umidade frequentes, iluminações natural e artificial. Sampaio (2006) ainda menciona que devido ao fato de estarem ligados à saúde do homem, estes ambientes necessitam, mais do que qualquer outro, de conforto e qualidade (SAMAPAIO, 2006). Desta forma, por meio deste estudo, objetiva-secontribuir com sugestões para projetos arquitetônicos através das conclusões obtidas por meio de simulações de dinâmica de fluidos (CFD) aplicadas a uma edificação hospitalar construída de forma modular, destinada ao tratamento da COVID-19, considerando, assim, seu entorno imediato — a vizinhança.

Ao destacarem-se as problemáticas e desafios da implementação de arquitetura modular, chegou-se ao seguinte problema de pesquisa: qual seria à eficiência da

aplicabilidade na modelagem BIM, em relação à avaliação dos parâmetros do ambiente construído de edificação hospitalar especializada no tratamento da COVID-19? Essa resposta baseia-se na finalidade de compreender melhor a relação entre arquitetura hospitalar, qualidade ambiental e na avaliação de parâmetros arquitetônicos em projetos por meio da tecnologia BIM.

Afinal, não se pode deixar de considerar, neste estudo, que o homem e a arquitetura possuem uma relação simbiótica ao interagirem de forma contínua, mútua, dinâmica e evolutiva, ao considerar o clima nas suas construções arquitetônicas ao longo da história. Por isso, a ventilação natural ainda é considerada para proporcionar qualidade de vida aos usuários da edificação (MUGA, 2005). Neste caso, o ambiente arquitetônico torna-se mais que um simples espaço, é um componente que integra as memórias e condiciona os estímulos e a dinâmica relacionadas ao local. O comportamento humano intervém no espaço arquitetônico; para além de condicionar o edificado, apropria-se do espaço pelo processo de recriação das edificações, que intervém fisicamente no ambiente; a prova disto consiste nas intervenções arquitetônicas (MUGA, 2005).

A arquitetura influencia a cidadania, assim como a cidadania influencia a arquitetura, pois é feita por homens, por meio dos arquitetos. Esta concepção de arquitetura pode ser interpretada como a marca que o homem exerce na paisagem, considerando os variados tipos de climas existentes em nível global (ZEVI, 1996; SAKIYAMA *et al.*, 2021). Desta maneira, pode-se suprir as demandas da sociedade, partindo da responsabilidade social, com o auxílio no bem-estar daqueles que vivem em determinado meio, fazendo uso dos espaços geográficos de maneira constante, projetando, assim, suas edificações com condições climáticas, visando a característica do local que está inserida (FERNÁNDEZ-ZAYAS *et al.*, 2021). Por isso, tornase importante considerar as ações climáticas externas e internas em relação à ventilação, já na fase do projeto arquitetônico (ZORZI *et al.*, 2021).

Por esse ângulo, Zorzi *et al.* (2021) mencionam a arquitetura hospitalar, associada pela desenvoltura de projetos concentrados na concepção de edificação voltada para o atendimento de diversas especialidades de saúde, visando ao atendimento da população, a partir do desenvolvimento de especificações de cada atendimento. Com exigências e regulamentações, essas edificações de saúde necessitam garantir e assegurar a comodidade dos pacientes. Lembrando que o sistema edificado para atendimento de saúde da população, denominado de hospitais, considerava os mesmos fatores de atendimentos das pessoas, com doenças graves, a partir da Idade Média, em que alguns indivíduos procuravam os hospitais para morrer com um mínimo de dignidade (GÓES, 2004). Segundo Góes (2004), em estudos

relacionados, registrados no livro "Manual Prático da Arquitetura Hospitalar", constata-se a existência de edificações hospitalares na Babilônia e no Egito, com base nas documentações datadas de textos originários do antigo império egípcio (3300 a 2360 a.C.), na época das Oito Dinastias Primordiais, cujos governantes edificaram hospitais, juntamente com as pirâmides de Quéops, Quéfren e Miquerinos.

O projeto arquitetônico de um ambiente voltado à saúde deve atender a três fatores: funcionalidade; versatilidade e expansibilidade (SANTOS, 2013). Pois, a arquitetura hospitalar, conforme Santos (2013), refere-se a todas as edificações de utilidade pública que promovam cuidados de saúde humana. Como exemplos deste tipo de edificações, pode-se mencionar os consultórios, clínicas, centros de saúde, hospitais regionais, hospitais centrais, hospitais universitários, hospitais especializados (hospital psiquiátrico, hospital pediátrico, etc.), entre outros (SANTOS, 2013).

Em particular, os ambientes hospitalares encontram-se regidos por um conjunto de regras e proporções predeterminadas, que correspondem às dimensões padronizadas de equipamentos e às necessidades dos procedimentos médicos realizados no local. Esta classificação referente às diversas formas de tratar a saúde no decorrer dos tempos, não se constitui em uma tarefa fácil, mas, sobretudo, na separação dos aspectos científicos namedida em que o elemento arquitetônico requer uma padronização adequada para esses atendimentos (MAGNER, 1992). Por se tratar de uma edificação multifacetada, o hospital é um dos programas mais complexos a ser atendido pela composição arquitetônica (GÓES, 2004).

Neste contexto, a arquitetura pode ser entendida como um processo contínuo de adaptação de usos e/ou indivíduos; tais adaptações requerem comumente ampliações, estas quando não previstas e/ou não consideradas podem inviabilizar o uso dos espaços. A exemplo disto, pode-se citar o novo coronavírus, SARS-CoV-2, que tem o potencial de tornar os sistemas de ventilação natural em ambientes hospitalares inadequados, não apenas para os trabalhadores, mas também para as pessoas que transitam por esses ambientes, mesmo por um período limitado. Como arquiteto, o profissional é o idealizador dos ambientes a serem projetados. Para tanto, é necessário que ocorram diversos estudos bibliográficos, como também análises de simulação computacional de tais ambientes; ou seja, pesquisas, proposições e avaliações a serem atribuídas ao projeto arquitetônico, evidenciando sistemasde ventilação adequados a fim de evitar a proliferação de contaminantes virais, que podem estar presentes na ventilação natural em hospitais modulares.

A partir deste pressuposto, o objetivo geral desta dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo é verificar a ventilação natural externa e interna no compartimento hospitalar Independência, na cidade de Porto Alegre, localizada no estado do Rio Grande do Sul (Brasil), construída a partir da arquitetura modular, especialmente para o tratamento de pacientes infectados durante a pandemia de COVID-19. A partir do objetivo geral, destaca-se os seguintes objetivos específicos:

- alocar aporte teórico relacionado contextualizando a ventilação natural;
- realizar estudo sobre a edificação (Hospital Independência) na escala urbana;
- simular e analisar os resultados relacionados à ventilação natural da edificação hospitalar modular;
- apontar possíveis diretrizes de projeto que venham a contribuir com a melhoria da ventilação natural do ambiente hospitalar estudado, juntamente com seu entorno.

Levando em conta a pandemia global, ocorreu a escassez de leitos hospitalares e suprimentos médicos em muitos países e regiões (LUO et al., 2020). Visa-se, nesta dissertação, o uso de ferramentas que agilizem o processo construtivo de edificações, com alternativas eficientes em âmbito experimental. A contribuição para o desenvolvimento deste estudo pode auxiliar pesquisadores, empresas e profissionais do ramo da construção civil, bem como profissionais da área da saúde, no sentido de executar um projeto modular de maneira mais eficiente, dentro dos padrões construtivos adotados no Brasil. Portanto, apesquisa justifica-se através do fornecimento de *insights* relacionados à possibilidade de contaminação do vírus SARS-CoV-2 em ambientes hospitalares internos, bem como áreas externas no entorno dos hospitais, que geralmente ocasionam em um alto tráfego de pedestres nas cidades no mundo todo.

Para alcançar o objetivo desta dissertação, serão trabalhadas 4 variáveis de pesquisa, como: a) pesquisa bibliográfica; b) análise documental; c) verificação do fluxo de ventilação natural; d) modelo de regressão linear. A pesquisa bibliográfica (dados secundários) tem a finalidade de compreender mais sobre a arquitetura modular, simulações CFD, modelagem BIM, análise em ambiente construído e como ocorre sua relação no contexto urbano, considerando como alicerce as produções bibliográficas dos seguintes autores: Góes (2004), Marques (2017) e Luo *et al.* (2020), em complemento aos demais autores citados nesta pesquisa.

A análise documental (dados primários – projeto arquitetônico do Hospital Independência, bem como a legislação), em acordo com Moreira (2007), que corresponde ao

interesse de realizar análises, com a possibilidade de identificar os elementos fundamentais do projeto. A verificação do fluxo de ventilação natural por meio de simulações no entorno e na área interna do hospital, a fim de analisar os resultados com base na literatura. Primeiramente, o objeto de estudo foi modelado em BIM; posteriormente, ocorreu a segunda verificação durante a avaliação dos aspectos de ventilação do sistema edificado no *software* Autodesk CFD e em sequência ocorreu a análise de entorno da edificação, utilizando o Flow Design. O modelo de regressão linear foi escolhido pela aplicabilidade da relação entre as variáveis de eficiência atingidas durante a análise BIM.

Para tanto, esta dissertação estrutura-se em capítulos, na seguinte sequência: a presente Introdução - constituída pela apresentação da linha de pesquisa, problemática, justificativa, objetivo geral, objetivos específicos, bem como a disposição dos seis capítulos, tais como: Capítulo I — Metodologia: caracteriza a abordagem da pesquisa e identifica a caracterização geográfica do objeto de estudo vinculado às etapas da pesquisa: Etapa I - Alocação de aporte teórico relacionado à temática abordada; Etapa II - Abordagem relacionada à edificação e escala urbana em seu entorno; Etapa III - Simulação e análise de ventilação natural no entorno hospitalar e em compartimento interno (posterior à modelagem BIM, realizada a partir da planta baixa fornecida pela empresa responsável pela construção daedificação) e Etapa IV - Análise de resultados e discussões. Por meio desta disposição, objetiva-se viabilizar de forma organizada a outros pesquisadores da área a possibilidade de aplicação destas etapas em outros objetos de estudo, tendo em vista a citação própria das fontes autorais.

Capítulo II – Fundamentação teórica: comenta-se através de um viés dissertativo os seguintes temas: a arquitetura vernacular e seus fatores climáticos de ventilação natural, a arquitetura bioclimática e seus fatores de ventilação, clima no Brasil; arquitetura hospitalar, histórico da arquitetura hospitalar, alguns parâmetros de conforto térmico na arquitetura hospitalar, avaliação do conforto térmico relacionado à ventilação natural, normativas brasileiras para ventilação natural, ventilação higiênica, ventilação de conforto e resfriamento. Desta forma, oportunizou-se a alocação de bases bibliográficas que fomentemas discussões referentes às respectivas temáticas nesta dissertação de mestrado, considerando-se a escassez de material bibliográfico atual alusivo ao assunto durante o período inicial deste estudo – período pandêmico: de muitas incertezas e poucas informações fidedignas. Portanto, salienta-se a contribuição deste estudo na compilação de seu aporte teórico, relacionando diversas temáticas relevantes para esta dissertação.

Capítulo III – Arquitetura hospitalar: baseia-se em um breve histórico relacionado à temática, abordagem sobre parâmetros de conforto térmico hospitalar, bem como referente à avaliação do conforto térmico relacionado à ventilação natural, ventilação higiênica, ventilação de conforto e resfriamento.

Capítulo IV – Arquitetura hospitalar modular para o atendimento do Covid-19: aprofunda-se o estudo sob os tópicos arquitetura modular, função da tecnologia na modulação de hospitais, hospitais modulares e hospitais construídos pela Brasil ao Cubo. A relevância deste capítulo se dá, inicialmente, na abordagem sobre a construção pré-fabricada, arquitetura modular e modulação arquitetônica, transcorrendo sobre uma breve abordagem histórica da temática, findando o capítulo com a explanação sobre a eficiência construtiva da arquitetura modular desde sua fabricação até a montagem *inloco*.

Capítulo V – Edificação, escala urbana e análise de ventilação externa nas proximidades do objeto de estudo: ao avaliar um projeto arquitetônico, deve-se ponderar seu raio de influência perante o meio em que este se insere, sabendo-se que o impacto de uma edificação ocorre de maneira direta nas cidades. Para tanto, este capítulo aborda a relação do hospital com o entorno por meio de uma análise de ventilação do local, iniciando pela seleção de *software*, definição das condições iniciais, resultados e discussão. Objetiva-se alocaraporte teórico relacionado à temática a fim de compreender como o Hospital Independência –localizado na capital do Rio Grande do Sul –, relaciona-se e interfere em seu entorno. Assim, possibilitando através de uma análise urbana identificar os espaços livres públicos na área estudada (815,27km²), bem como verificar elementos de acessibilidade na malha urbana e espaços de lazer e uso das edificações.

Capítulo V – Análises de ventilação em ambiente interno hospitalar: neste estudo, são discutidos análises e resultados das simulações de ventilação interna, por meio de agrupamento de *k-means*, a partir dos pontos coletados para análise de ventilação, abordagemdireta sobre os resultados obtidos e discussão; análise de ventilação natural e análise de*cluster* aplicada a pontos amostrados de ventilação natural.

Por fim, expressa-se as considerações finais, relacionando os resultados obtidos aos objetivos das etapas desta dissertação com base nos resultados alcançados.

CAPÍTULO I: METODOLOGIA

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo. (Albert Einstein).

A estruturação metodológica possibilita ao pesquisador que este explique de maneira detalhada a realização de seus objetivos, por meio de especificações das etapas de pesquisa, permitindo melhor entendimento de análises e seus relutados (MARCONI; LAKATOS 2007). Para Marconi e Lakatos (2007), esta pesquisa possui abordagem de caráter qualitativo quantitativo, uma vez que, por meio de sua análise, será possível compreender a complexidade e os detalhes das informações obtidas acerca do objeto de estudo e sua temática é de natureza aplicada por seu desenvolvimento, utilizando ferramentas como modelagem em BIM do modelo tridimensional do projeto, bem como dois softwares de simulação de dinâmica de fluidos computacional para a realização do estudo de caso.

1. Procedimentos metodológicos e tópicos da pesquisa

O presente estudo objetiva responder ao seguinte questionamento: existe a possibilidade de avaliar a influência da ventilação no entorno imediato da edificação analisada e em compartimento interno do hospital dedicado ao tratamento da Covid-19? Para tanto, o processo inicialmente ocorre por meio de uma abordagem fenomenológica; afinal, trata-se de uma Avaliação Pós-Ocupação (APO). A fenomenologia, por sua vez, é um estudometodológico desenvolvido por volta de 1900, que justifica o conhecimento nos fenômenosda consciência.

De acordo com Malard *et al.* (2002), aliar a fenomenologia às análises pósocupacionais é interessante quando se objetiva elencar parâmetros para futuros projetos arquitetônicos e urbanísticos - sejam estes novos espaços, ou ainda intervenções em locais já existentes como reformas ou pequenas mudanças. Tais parâmetros, quando correlacionados a técnicas de computação gráfica e multimídia interativa, auxiliam a solucionar problemáticas técnicas e/ou operacionais durante a fase inicial do projeto arquitetônico (MALARD *et al.*, 2002).

Lembrando que a fenomenologia consiste no método desenvolvido por Edmund Husserl (1859-1938), sendo considerado como termo filosófico que com o passar do tempo expandiu-se para outras áreas do conhecimento científico. Para Husserl (1950) — influenciado, sobretudo por Franz Brentano —, o Mundo poderia ser compreendido apenas pela forma, como mesmo se mostra e se manifesta na consciência humana. Esta, por sua vez, é a responsável por trazer sentido à vida. Logo, o autor aposta no protagonismo do sujeito diante do objeto, uma vez que é a consciência a responsável por atribuir sentido aos objetos. Segundo Husserl (1950), o conhecimento é edificado a partir de diversas perspectivas da consciência que, quando ordenadas e desconsideradas suas peculiaridades, constituem a intuição sobre a essência de um fato, ideia ou pessoa; assim são os chamados fenômenos da consciência. Ou seja, os fenômenos só possuem sentido quando entendidos pela consciência humana. Assim, é possível relacionar a importância de estudar a ventilação natural, noHospital Independência, sendo um objeto arquitetônico de origem modular que, por vezes, influencia diretamente nas relações humanas.

Segundo Sampaio (2006), devido ao fato de estarem ligados à saúde do homem, os ambientes hospitalares requerem, mais do que qualquer outro ambiente, conforto e qualidade, logo, é essencial ventilação natural de maneira adequada em seus compartimentos. Em se tratando de ambiente hospitalar, conforto e qualidade, referem-se à satisfação dasnecessidades tecnológicas requeridas pela medicina — em termos de funcionalidade, espaços flexíveis para acomodar leitos e equipamentos, permitindo tranquilidade e bem-estar para pacientes e profissionais da área. Indubitavelmente, pensar o projeto em seu todo é de cunho complexo e um longo processo; é evidente que se pense ambientes com as condições necessárias para o uso daqueles que o ocupam.

Quando mencionada a arquitetura hospitalar, é referência na atualidade João Figueiras Lima, Lelé, o arquiteto ressalta que ambientes 'feitos para curar' envolvem fatores de funcionalidade, de equipamentos e de tecnologias, sempre considerando a qualidade ambiental dos espaços arquitetônicos: natureza e espaços exteriores; ventilação e iluminação natural; adequação ao clima, cor e forma (COMIRAN, 2014). Sampaio (2006) afirma que ambientes hospitalares devem ter temperatura adequada, trocas de ar e umidade frequentes e iluminações natural e artificial.

Com a finalidade de aproximar cada vez mais as necessidades do ambiente ao bemestar daqueles que o utilizam, é evidente que se realizem estudos e análises de projeto arquitetônico. O que justifica o desenvolvimento de estudos de projeto, pois um projeto transfere ao observador diversas informações, quando analisado (COMIRAN, 2014).

Sampaio (2006) aponta a importância das análises projetuais, assim, possibilitando perceber as estratégias de projeto arquitetônico, voltadas ao bom funcionamento das edificações hospitalares.

Ao avaliar um projeto arquitetônico, deve-se ponderar seu raio de influência perante o meio em que este se insere, sabendo-se que o impacto de uma edificação ocorre de maneira direta nas cidades. Este estudo de dissertação apresenta um breve aporte teórico relacionado à escala e edificação, com a finalidade de compreender como o Hospital Independência - localizao na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul – interfere em seu entorno, identificar os espaços livres públicos no local, bem como verificar elementos deacessibilidade na malha urbana e espaços de lazer. Essa etapa de pesquisa poderá contribuir para outros pesquisadores e técnicos conhecerem a dinâmica urbana do hospital em relação ao seu entorno. Em sequência, analisa-se a ventilação natural do entorno do hospital por meiode simulações computacionais.

A inserção de dispositivos computadorizados na área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), possibilitou para este estudo uma maior agilidade e flexibilidade voltados à análise dos resultados. Para Singh, Sawhney e Borrmann (2015), apesar da vagarosatransição permitirem a inovação de estudos com o uso do BIM (*Building Information Modeling*), os materiais modelados nesta ferramenta permitem ao profissional de projeto a criação de modelos de construção de acordo com as regras da Coordenação Modular (MC). Através desta possibilidade, o projetista consegue utilizar padrões de MC no dimensionamento e localização de objetos construtivos de forma organizacional de referênciamodular. Consequentemente, a partir do desenvolvimento, um designer poderá usar os padrões de MC para dimensionar e localizar objetos de construção, representada em um quadro de referência modular, o que permite, também, aos designers e demais profissionais automatizem complexas execuções referentes à modelagem e/ou documentação que nãodemandam conhecimentos da área de design (SINGH; SAWHNEY; BORRMANN, 2015).

A dinâmica da contaminação atmosférica por microrganismos e agregados em partículas ultrafinas suspensas no ar, em uma escala global, estimula estudos ambientais (OLIVEIRA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2021; SHAO *et al.*, 2021), devido à poluição agregada às suas interferências na qualidade do ar. Neckel *et al.* (2021) afirmam que o ar em movimento tem a capacidade de transportar fungos, vírus e bactérias para outras regiões, espalhando contaminação ambiental. Monitorar a qualidade do ar em ambientes internos e externos é, portanto, importante em termos de saúde humana

(OLIVEIRA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2020) – o que potencializa a importância de estudos envolvendo a ventilação natural.

A temática da ventilação natural é de suma importância a nível mundial, afinal, afeta diretamente a população humana, através da propagação e contaminação de superfícies pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2). O vírus SARS-CoV-2 devastou vidas em escala global, através da síndrome respiratória, alastrada cada vez mais pela pandemia do COVID-19, que pode estimular o agravamento de outras graves doenças, que podem levar a óbito (CAO *et al.*, 2021; JANSI *et al.*, 2021). Devido à fácil e rápida transmissão de SARS-CoV-2, as taxas de mortalidade em muitos países do mundo são alarmantes, além de gerarem graves impactos social, econômico e negativo (CAO *et al.*, 2021; SHAO *et al.*, 2021). A Organização Mundial da Saúde relatou um número global de 6.210.719 deaths mortes causadas pelo SARS-CoV-2, em 22 de abril de 2022 (WHO, 2022).

A pandemia da COVID-19 resultou em muitos desafios diferentes para os cidadãos e governos em todo o mundo. Entre eles está a implantação de hospitais exclusivamente para o cuidado de pacientes com COVID-19. Alguns desses hospitais eram estruturas existentes antes da pandemia, enquanto outros estão sendo construídos a partir do zero. Estruturas modulares têm sido utilizadas em muitos casos devido ao menor tempo de construção necessário, dada à urgência imposta pela pandemia (CHEN *et al.*, 2021; PERONDI *et al.*, 2020; YANG; CHONG, 2021). Um exemplo brasileiro disso foi a construção do Hospital Independência, na capital do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – estrutura construída em módulos e dedicada apenas ao tratamento de pacientes com COVID-19.

O presente estudo decorre do possível deslocamento e transporte do vírus SARS- CoV-2 em partículas ultrafinas suspensas em ambiente hospitalar, considerando as diferentes dinâmicas de movimento do ar, circulação e qualidade do ar interno (CAO *et al.*, 2021; HADEI *et al.*, 2021; LÓPEZ *et al.*, 2021; SHAO *et al.*, 2021). É essencial avaliar a qualidade do ar em hospitais que foram construídos rapidamente e também avaliar os riscos de contaminação a fim de certificar se estes são, de fato, baixos nessas instalações (CHEN *et al.*,2021), ou se o novo o coronavírus é desimpedido em sua capacidade de se mover.

Hospitais dedicados ao tratamento de pacientes infectados com o SARS-CoV-2, geralmente, possuem setores com níveis muito elevados desse vírus (KENARKOOHI *et al.*, 2020; RYU *et al.*, 2020). Isso apresenta um alto risco para os profissionais da área da saúde se contaminarem com o SARS-CoV-2 no desempenho de suas funções (KENARKOOHI *et al.*, 2020; VANDERCAM *et al.*, 2020).

Aghalari *et al.* (2021) demonstraram que o vírus SARS-CoV-2 pode ser facilmente transmitido através dos sistemas de ventilação hospitalar. A fonte destas partículas virais pode variar da altura do telhado do hospital ao nível do solo, alastrando-se para as áreas do entorno do hospital. O transporte de partículas virais entre regiões diminui a qualidade do ar e representa um sério risco para qualquer pessoa, dentro ou nos arredores da instalação hospitalar, fortalecendo ainda mais a pandemia da COVID-19 (ROBOTTO *et al.*, 2021). Partículas ultrafinas que contêm o vírus SARS-CoV-2 são facilmente suspensas no are têm a propensão de viajar grandes distâncias devido aos seus diâmetros aerodinâmicos: ≤10μm (≤ PM10). SARS-CoV-2 foi encontrado em partículas ainda menores do que 1 μm (≤PM1) (LÓPEZ *et al.*, 2021; ROBOTTO *et al.*, 2021; SHAO *et al.*, 2021). Por isso, o SARS-CoV-2 é capaz de permanecer suspenso no ar por um longo período de tempo.

Assim, foi demonstrado que a transmissão de SARS-CoV-2 ocorre em ambientes externos de hospitais, por meio, também, de ventilação (HADEI *et al.*, 2021; LÓPEZ et al., 2021; ROBOTTO *et al.*, 2021; SHAO *et al.*, 2021). Por esse motivo, a avaliação do sistema de ventilação interna de hospitais com arquitetura modular pode prever possíveis riscos de contaminação pela circulação de ar. Também é necessário considerar as consequências da saída desse ar em áreas externas e no entorno do hospital (HADEI *et al.*, 2021; LÓPEZ *et al.*, 2021).

Considerando o cenário atual (anos de 2019, 2020, 2021 e 2022) enfrentado pela humanidade, deve-se pontuar a importância de métodos para a eficácia e agilidade do projeto arquitetônico, permitindo a flexibilização durante o processo criativo de concepção do projeto. A representação tridimensional, assim como a realidade virtual e a capacidade de simulação, são fatores decisivos ao considerar o BIM uma ferramenta técnica de grande potencial e aplicabilidade quando visada a qualidade do projeto e produtividade em várias áreas de forma simultânea, incluindo plano de construção, ensaio, otimização e gerenciamento de canteiro de obras (MERSCHBROCK; MUNKVOLD, 2015). Destaca-se ouso de BIM como um método operacional de projeto apropriado para situações como a pandemia do Covid-19. Dentre diversos *softwares* BIM, destaca-se a crescente utilização do programa Autodesk Revit, que consiste em uma ferramenta de apoio, servindo muitas vezes como base no trabalho de arquitetos, engenheiros e demais projetistas, sendo também relevante para o acompanhamento das necessidades e tendências do mercado, além de favorecer estudos voltados à modelagem de ambiente arquitetônico com capacidade de simulações de ambientes (QUEIRÓZ, 2016).

Ao se observar o BIM - cuja organização responsável é a *International Alliance for Interoperability* (IAI) –, atualmente reconhecida como *Building Smart*, por se tratar de um sistema de modelagem tridimensional, este contempla informações relacionadas ao tempo, espaço e especificações construtivas, permitindo visualizar a estrutura edificada de maneira representativa, na avaliação do seu possível funcionamento ainda em fase de projeto (LOVELL, 2010). Em se tratando de agregar ainda mais possibilidades de melhoria em fases projetuais, pode-se citar a importância do uso de *softwares* combinados ao *Autodesk Revit*, permitindo, assim, que o projetista realize escolhas de projeto mais consciente. O programa permite a instalação de diversas extensões que permitem utilizar sua modelagem para funções e análises adicionais. É o caso do *Autodesk CFD*, um *software* de simulação computacional de dinâmica de fluidos, utilizado para prever e analisar o desempenho de líquidos e gases. Por meio deste, é possível minimizar o uso de protótipos físicos, além de fornecer uma visão mais profunda do desempenho do projeto por meio de simulações de ventilação natural sobre a estrutura projetada. Com a análise de fluidos, ocorre uma melhoria na avaliação da modelagem realizada durante a concepção do projeto arquitetônico (GROUP, 2021).

A análise de fluidos possibilita maximizar o desempenho e a confiabilidade de ativos, permitindo a identificação de problemas antes que esses se tornem falhas (HERNANDES, 2020). Trabalhar com uma ferramenta que possibilita a identificação de problemas antes de realizar modificações em uma edificação existente contribui de forma significativa em nosso dever como arquitetos e engenheiros no planejamento de espaços seguros e dinâmicos. O programa permite, por exemplo, a visualização da dispersão da fumaça em um possível incêndio, ou ainda a redução de infecções hospitalares secundárias, entre outros (Figura 1). Neste caso, o *software* foi utilizado apenas para simulações de ventilação no objeto de estudo.



Figura 1 Possibilidades de análise utilizando o Autodesk CFD

Fonte: Autodesk traduzido pela Autora (2021).

Portanto, o principal objetivo desta dissertação é construir modelos 3D paramétricos para avaliar a circulação hipotética do vírus SARS-CoV-2 na natureza do sistema de ventilação em hospitais construídos para cuidar de pacientes infectados durante a pandemia do COVID-19, tomando como exemplo um caso típico do Brasil.

Com relação à escolha do *software* a ser utilizado para as análises internas, desenvolveu-se um estudo aprofundado, considerando as ferramentas que poderiam ser utilizadas e estão disponíveis no mercado atualmente, slecionando-se dez possibilidades (eQuest, EnergyPlus, Autodesk CFD Premium, Autodesk CFD *Ultimate*, ANSYS Fluent 5.5, ANSYS Fluent 12.0, Phoenics, CBE thermal comfort tool, Insight 360, Flow Design). Estas foram comparadas sob critérios importantes para o estudo. Era necessário que o programa utilizasse o modelo .rvt como modelagem, que fosse gratuito ou disponibilizasse versão educacional e simulasse a ventilação no interior da edificação. Desta forma, optou-se pelo Autodesk CFD como ferramenta que atenderia os requisitos elencados (Figura 2).

Ao mencionarem-se as análises de entorno, utilizou-se do mesmo comparativo para escolher a ferramenta que seria utilizada, porém, sob novos critérios: o programa deveria utilizar o modelo .skp como modelagem, que fosse gratuito ou disponibilizasse versão educacional e simulasse a ventilação no entorno da edificação. Assim, o *software* selecionado foi o *Flow Design*. Este programa realiza simulações computacionais de fluidos e foi utilizado em estudos relacionados à temática desta dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, sobre o estudo da ventilação natural vinculada ao Hospital Independência, podendo ser comparada como a pesquisa realizada por DAEMEI *et al.* (2019), em que os autores utilizaram a versão do ano de 2014 do *Flow Design*.

- PLANOS CARTESIANOS
2D E 3D

- FLUXO DE FLUIDOS:

- FLUXOS BIFÁSICOS (UMIDADE E VAPOR)

- FLUXO SIMÉTRICO 2D

- FLUXO COMPRESSÍVEL

- ESTADO ESTACIONÁRIO (INDEPENDENTE DO TEMPO)

- FLUXO TURBULENTO

- FLUXO TURBULENTO

- FLUXO TURBULENTO

- RASTREAMENTO DE PARTÍCULAS LANGRANGIANAS

- MISTURA ESCALAR DE DOIS FLUIDOS

- CAVITAÇÃO

- CAVITAÇÃO

Figura 2 Simulação de fluidos no Autodesk CFD

Fonte: Adaptado da Autodesk (2021).

Para Peterson *et al.* (2011), a integração de sistemas atuais embasados em ferramentas permite maior integração com a base de dados de custos e produtividade padrão existentes no mercado, reduzindo, assim, o tempo utilizado pelos profissionais da área de projeto e construção civil, bem como a digitação manual desses dados. Solnosky, Memari e Ramaji (2014) afirmam que o ciclo de vida modular da estrutura continua após o detalhamento do projeto, que começa com a montagem dos módulos. Pois, a produção implica intrinsecamente em uma fabricação de componentes, elementos e montagens, até um determinado nível antes de serem enviados ao local para montagem final (construção da edificação). Na fabricação, há dois pontos principais: planejar a produção na fábrica e a outra é a produção real da unidade modular, já estabelecida no canteiro de obras.

Convém lembrar que a agilidade na produção de projetos, possibilitada através da tecnologia BIM, deve-se observar por meio de viés arquitetônicos, relacionados à importância da inserção de tais ferramentas de modelagem no meio da construção civil com a finalidade de suprir cada vez mais as necessidades projetuais emergentes. Por meio de métodos de modelagem ágeis (BIM) é possível ambientar projetos emergentes a técnicas aprimoradas de gestão de projeto, possibilitando um cronograma organizacional em sintonia com a demanda atual – caso que ocorreu no final do ano de 2019, ao iniciar o período de pandemia global.

1.1 Caracterização geográfica do objeto de estudo

A cidade de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, possui uma população estimada em 1.492.530 habitantes. Segundo censo do ano de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade possui uma densidade demográfica de 2.837,53 hab/km, distribuídos ao longo de sua extensão territorial de 495,390km² (IBGE, 2021).

Porto Alegre, quantitativamente, possui mais de 630 estabelecimentos de saúde em seu território (IGBE, 2009). De acordo com a Secretaria da Saúde (2021), o município faz parte da 1ª Coordenadoria Regional da Saúde, juntamente com outros 41 municípios: Araricá; Barão; Brochier; Cambará do Sul; Campo Bom; Canoas; Capela de Santana; Dois Irmãos; Estância Velha; Esteio; Harmonia; Igrejinha; Ivoti; Lindolfo Collor; Maratá; Montenegro; Morro Reuter; Nova Hartz; Nova Santa Rita; Novo Hamburgo; Pareci Novo; Parobé; Portão; Presidente Lucena; Riozinho; Rolante; Salvador do Sul; Santa Maria do Herval; São Francisco de Paula; São José do Hortêncio; São José do Sul; São Leopoldo; São Pedro da Serra; São Sebastião do Caí; Sapiranga; Sapucaia do Sul; Tabaí; Taquara; Três Coroas; Triunfo e Tupandi.

O Hospital Independência foi construído e dedicado apenas a pacientes da COVID-19. O terreno do hospital tem uma área total de 1.100 m², dos quais aproximadamente 385m² constituem a área total construída. Localiza-se na cidade de Porto Alegre, capital cidade do Estado do Rio Grande do Sul, com coordenadas de 29°10 & "39; 30" S, 51°05 e "39; 00" W. Conforme mencoionado aneriormente, a população total da cidade é de pouco menos de 1,5 milhão, com densidade demográfica de 2.838 habitantes / km² (IBGE, 2021) (Figura 3).

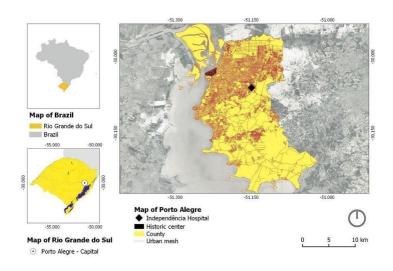


Figura 3 Localização de Porto Alegre, Brasil

Fonte: Adaptado do banco de dados geográfico do IBGE (2021).

Convém lembrar de que o hospital Independência foi construído de forma modular ao longo de um período de 30 dias, com 60 leitos, a um custo de R\$ 10,4 milhões, alocados pela iniciativa privada (Figura 4). O hospital não se caracteriza como hospital de campanha, uma vez que sua estrutura foi entregue à rede pública de saúde e permanecerá em operação após a pandemia de COVID-19. A operação dos tratamentos é em sua totalidade por meio do Sistema Único de Saúde (SUS) do Brasil, que atende gratuitamente a população. Posteriormente, o Hospital Independência foi inaugurado em 15 de junho, 2020.



Figura 4 Projeto do Hospital Independência

Fonte: Providência (2020).

Figura 5 Perspectiva do Projeto do Hospital Independência



Fonte: Casa Abril (2020).

A estrutura do Hospital Independência foi construída pela empresa Construtech, responsável pelo projeto, pertencente ao grupo catarinense Brasil ao Cubo, que concluiu o anexo hospitalar, antes do prazo estipulado de 35 dias. A agilidade relacionada à conclusão da edificação de 842 m² é resultado do sistema exclusivo de construção desenvolvido e usadopela empresa, chamado *off-site* BR3, que se baseia na aplicação de sistemas que utilizam as ferramentas da engenharia de produção e civil (ABRIL, 2020). Nas Figuras 5 e 6 destaca-se a rampa de acesso que interliga o anexo novo – atualmente, módulo para tratamento da Covid-19) ao Hospital Independência, uma das instituições que compõe a Rede de Saúde Divina Providência (RSDP).

Figura 6 Hospital Independência



Fonte: Casa Abril (2020).

Na Figura 7 nota-se a presença de *brise-soleil* na edificação. Os *brises* são muitas vezes parte de soluções funcionais e estéticas em uma fachada. Este elemento concebido por Le Corbusier foi pensado, inicialmente, com o objetivode controlar a incidência da radiação solar em ambientes internos (GRALA DA CUNHA, 2011), já que o artefato permite maior controle de iluminação natural no interior do ambiente. Segundo Grala da Cunha (2011), ao se pensar em eficiência energética, indubitavelmente, ocorre economia energética gerada no ambiente construído, quando há o uso de elementos para proteção solar. Afinal, por meio do controle seletivo da entrada de radiação solar no local, utilizam-se menos recursos para climatização artificial, sem acréscimos no custo de iluminação artificial. Deve-se salientar ainda que a presença dos *brises* na fachada do hospitalfunciona como barreiras parciais para a circulação do vento.

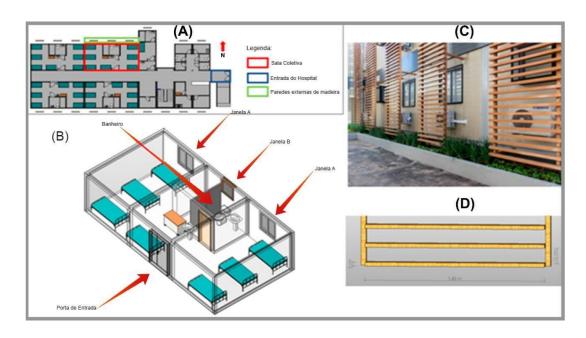


Figura 7 Brises: Hospital Independência

Fonte: Casa Abril (2020).

Neste estudo, avaliaram-se os padrões de ventilação natural em um dos quartos coletivos onde os pacientes de COVID-19 são tratados (Figura 8A). Cada quarto ilustrado na Figura 8B, tem uma área de 47,3 m², dos quais 6,83 m² consistem em um banheiro. Também podem ser identificados dois tipos de janelas (janela A (1,20 x 1,20 m) e janela B (0,81 x 0,81 m). A estrutura de rede externa de madeira mostrada na Figura 8C tem as seguintes dimensões: 0,03 x 1,42 m, separados por 0,12 m entre cada treliça degrau (Figura 8D). No caso do nosso objeto de estudo, a projeção paramétrica 3D é considerada para produzir uma representação inovadora da estrutura modular, como as estruturas montadas são encaixadas para compor o edifício acabado do hospital (CHEN *et al.*, 2021).

Figura 8 Layout interno do Hospital Independência, com projeção 3D paramétrica da sala selecionada para o estudo da ventilação interna. (A) Layout interno da sala coletiva. (B) Vista da estrutura externa de *brise* em madeira (C) e dimensões do *brise* mad



Fonte: Elaboração pela autora (2021).

Apenas o fluxo de ar natural foi considerado neste estudo de simulação devido à falta de informações sobre o sistema HVAC proprietário instalado e utilizado para a estrutura (LOU *et al.*, 2020). Recomendações do hospital relacionadas a medidas de segurança durante o período da pandemia de COVID-19 foram seguidas durante a concepção da metodologia deste estudo. O paradigma alternativo, considerado como parâmetro de análise, foi a direção e velocidade do ar local (AHMED *et al.*, 2021; AVIV *et al.*, 2021; CHEN *et al.*, 2019). Consequentemente, constatou-se que a velocidade do vento em Porto Alegre costuma variar entre 5 e 10 km/h (1,4 e 2,8 m/s) na região onde foi construído o Hospital Independência (Figura 9) (INMET, 2016; METEOBLUE, 2021). Por esse motivo, adotamos para este estudo uma média de 2,1 m/s.

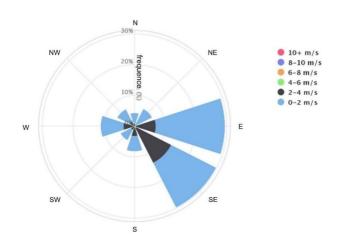


Figura 9 Rosa dos Ventos de Porto Alegre / RS – Brasil

Fonte: Adaptado do INMET (2016) e Meteoblue (2021).

Devido à abrangência e relevância relacionada ao tema deste estudo (ventilação natural), para melhor estruturar esta dissertação de mestrado, fundamentou-se uma base bibliográfica antecedente às análises com o intuito de melhor compreender as temáticas abordadas. O próximo capítulo tem com dois principais tópicos: primeiro tópico – abordagem introdutória referente à arquitetura vernacular e seus fatores climáticos de ventilação natural; segundo tópico – referente à arquitetura hospitalar.

1.2 Etapas da pesquisa

Para Siena (2007), quando dividida em etapas, a estrutura da pesquisa obtém melhor organização; sendo assim, o presente estudo foi dividido em quatro etapas metodológicas, o que facilita um melhor entendimento deste projeto de dissertação de mestrado. Nesse contexto, divide-se a pesquisa nas seguintes etapas metodológicas:

Etapa I – Consiste na alocação de aporte teórico relacionado à temática abordada: Lakatos e Marconi (2003) descrevem a existência de dois tipos de conhecimento, sendo o primeiro denominado como popular, informal, o qual fundamenta-se na reprodução de experiências de cunho pessoal, empíricas e assistemáticas. Já o segundo consiste em estratégias formais, racionalmente sistematizadas, evidenciando e correlacionando os fatos, sendo este chamado de conhecimento científico. Com base nisto, considera-se fundamental a alocação de um aporte teórico relacionado à temática – haja vista a abrangência de assuntos interligados – logo, objetivou-se maior aproximação ao que Lakatos e Markoni (2003) denominam por conhecimento científico, buscando este por meio de livros relacionados à temática, bem como em teses, dissertações e artigos científicos.

Etapa II – Refere-se a uma abordagem relacionada à edificação e escala urbana em seu entorno: localizações são notáveis de acordo com a ancoragem das interações entre os seres humanos, estabelecidas no tempo e no espaço acabam por definir a natureza da cidade (JACOBS, 1961). Neste caso, refere-se à cidade de Porto Alegre. Ao partir do pressuposto de que o objeto de estudo (Hospital Independência) se trata de uma edificação com caráter de influência regional, torna-se imprescindível que ocorram análises relacionadas ao entorno em que este se insere.

Ao analisar a paisagem urbana, Vervloet (2002) destaca as influências sofridas pela cidade a partir de sua dinâmica de funcionamento, relacionada às relações urbanas exercidas pela população, realçando a origem natural destas ações humanas. De acordo com Rossi (1995), a paisagem urbana pode ser entendida como um retrato que descreve momentoshistóricos e atuais, acontecimentos e sentimentos do homem ao longo do tempo. Ao considerar a pandemia de COVID-19 como uma gente de mudanças, torna-se imprescindívela observação do meio em que o objeto de estudo está alocado. Para tanto, analisou-se uma área de 815,27km² no entorno do Hospital Independência, onde foram elaborados mapas como topografia, cheios e vazios, áreas verdes, uso do solo e viário.

Etapa III — Simulação e análise de ventilação natural no entorno hospitalar e em compartimento interno: desenvolvimento da modelagem projetual, por meio da ferramenta BIM, do anexo ao Hospital Independência de Porto Alegre. O projeto foi disponibilizado em formato dwg (AutoCad) pela empresa Brasil ao Cubo, que é a empresa responsável pela execução da obra, que em parceria é viabilizada pelasempresas Gerdau, Ipiranga, Zaffari e Hospital Moinhos de Vento (Figura 10).

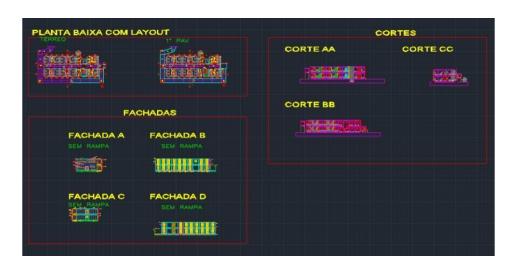


Figura 10 Projeto disponibilizado em arquivo dwg

Fonte: Brasil ao Cubo (2020).

Referente à modelagem, Manning e Messner (2008) sugerem o uso de BIM durante as fases de programação de empreendimentos da saúde pode trazer benefícios, tais como: (1) rápida visualização; (2) aumento de informação disponível para apoiar decisões a montante do processo de desenvolvimento; (3) atualização mais rápida e precisa de mudanças no desenvolvimento conceitual; (4) aumento da comunicação entre os desenvolvedores do projeto; (5) melhoria da confiança na completude do escopo a ser seguido e (6) disponibilização de informação precisa das instalações (*as-built*) – fator importante quando consideradas futuras ampliações e/ou intervenções. Pensando nisso, será realizada a modelagem do projeto arquitetônico do Hospital Independência em ferramenta BIM.

A partir do arquivo fornecido, foram realizadas famílias modulares em ferramenta BIM para que fosse possível ocorrer a modelagem de acordo com o projeto em grau de definição do objeto LoD 200 – de acordo com o *American Institute of Architects* – AIA (2008). Neste nível de detalhamento ocorre a representação gráfica do modelo em que os elementos dispõem de pontos de inserção genéricos, possibilitando o reconhecimento dos componentes de modelagem. Essas percepções adotadas a partir da observação derivada dos elementos LOD 200 devem ser consideradas aproximada.

LoD: *Level of Development* – refere-se aos diferentes graus de evolução do projeto na elaboração do modelo geométrico digital, responsável pelo registro da edificação desde sua programação, concepção e construção até a fase de operação (HOYET *et al*, 2016);

LoD 100: recomendado para situações em que o elemento modelado pode ser analisado com base no volume, área e orientação para aplicação de critérios generalizados de desempenho atribuídos a outros elementos (AIA, 2013);

LoD 200: recomendado para analisar o desempenho dos sistemas selecionados para avaliação de critérios generalizados de desempenho atribuídos ao próprio elemento representado (AIA, 2013);

LoD 300: indicado para analisar o desempenho dos sistemas selecionados através da aplicação de critérios específicos de desempenho atribuídos ao próprio elemento representado (AIA, 2013);

LoD 350: ideal para a compatibilização entre os projetos das diferentes disciplinas;

LoD 400: indicado para observações do desempenho de sistemas selecionados pela aplicação de critérios atuais de desempenho atribuídos ao elemento (AIA, 2013);

LoD 500: Equivale ao as-built;

LoD 600: é configurado partindo do modelo geométrico na ferramenta do projeto em seguida à fase de uso e operação do edifício (MARQUES, 2017).

Paralelamente a modelagem do hospital, sucedeu-se a modelagem do entorno à edificação (Figura 11) destacada na cor *pink* - por meiodo *software* Sketchup 2019. Tornou-se imprescindível uma análise topográfica para que a modelagem fosse fiel à área estudada.

Para isto, utilizou-se o *software* QGis 3.10.7. E, posteriormente, cada modelagem foi direcionada ao respectivo programa selecionado para as análises: Autodesk CFD - análise interna e Flow Design - análise de entorno.



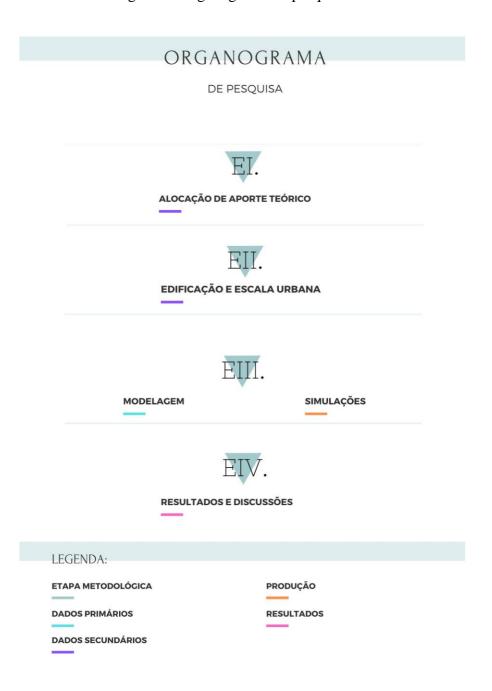
Figura 11 Vista superior da modelagem 3D do entorno

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Etapa IV – Análise de resultados e discussões: após a realização das simulações, ocorreu a análise dos resultados obtidos, considerando autores presentes na revisão bibliográfica.

Por meio desta disposição, objetivou-se viabilizar de forma organizada outros pesquisadores da área a possibilidade de aplicação destas etapas em outros objetos de estudo, tendo em vista citação apropriada das fontes autorais. Para melhor entendimento das etapas de pesquisa, pode-se observar a Figura 12.

Figura 12 Organograma de pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Primeiro a vida, então os espaços, então os edifícios - o contrário nunca funciona. (Jan Gehl)

É fundamental que se estude o meio de uma edificação e sua formação, para, então, compreender de maneira sensível as formas em que esta se encontra inserida. Para tanto, vê- se a necessidade de um aporte teórico mais aprofundado com relação a assuntos conectados à temática principal desta dissertação. Exemplo disto é este capítulo, que se fez essencial para o entendimento de termos abordados durante a construção bibliográfica, proporcionando maior segurança à autora e aos leitores deste trabalho.

O presente Capítulo II estrutura-se da seguinte forma: Primeiro tópico – abordagem introdutória referente à arquitetura vernacular e seus fatores climáticos de ventilação natural, seguindo por um estudo relacionado à arquitetura bioclimática e seus fatores de ventilação, finalizando, assim, este tópico com uma abordagem sobre o clima no Brasil e em Porto Alegre.

2. A arquitetura vernacular e seus fatores climáticos de ventilação natural

Em relação às primeiras moradias, desde a existência da humanidade, segundo Parracha et al. (2021), estas podem ser consideradas abrigos constituídos por arbustos, galhos, argamassas de barro e pedra. Essas variações alocadas à forma do abrigo dependiam da disponibilidade de materiais presentes no ambiente local, pois conceitualmente a arquitetura vernacular, considerando os primórdios, podem ser entendidas como construção em terra, como forma de proteção do homem com o clima, desconsiderando excessos de ventilação natural do meio externo, bem como forma de proteção contra animais. Em razão disto, muitas edificações não possuíam janelas (PARRACHA et al., 2021; WIDERA, 2021).

Para Corbella (1985), a arquitetura vernácula não somente possui valor histórico, podendo também representar as edificações construídas de maneira informal, não possuindo projeto elaborado por um profissional da área, sendo, assim, construída muitas vezes pelo próprio proprietário, seguindo as experiências de seus ancestrais com base na tradição, clima, características regionais, utilizando materiais regionais. Desta maneira, o conhecimento da arquitetura vernacular possibilita delinear as características que, em aditivo a técnicas modernas, devem alcançar a arquitetura bioclimática (CORBELLA, 1985). Assim, torna-se

imprescindível o estudo relacionado a esta temática, já que assim pode-se documentar seu valor, uma vez que nas cidades os elementos representativos têm sido substituídos pela construção industrializada, muitas vezes segundo critérios 'internacionais'.

A arquitetura vernacular influenciou diretamente na forma de construção das edificações destinadas à moradia através dos tempos, que ocorreu de maneira multivariada em relação à disponibilidade de materiais locais (ELERT *et al.*, 2021). Conforme é destacado por Elert *et al.* (2021) sobre a comunidade de Huesca, na Espanha – em relação à análise de uma casa construída no século VIII, tombada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), como patrimônio cultural da humanidade –, apesar da casa se encontrar em estado degradado pela falta de manutenção, ela foi construídaa partir do arenito, material predominante na região. Elert *et al.* (2021) apontam que, pela forma estrutural, a ventilação não possui acesso de circulação abundante na moradia, devido à questão estrutural utilizada, que não permitiu abranger o alargamento das janelas (Figura 13).

Figura 13 Residência construída com base em arenito no século XII na comunidade de Huesca, na Espanha



Fonte: Elert et al. (2021).

No caso da arquitetura vernacular, que se utiliza do barro como o elemento construtivo principal, deve ser considerado como um item importante de pesquisa na área de arquitetura, já que a terra é usada como material e parte da técnica construtiva por mais de 9.000 anos, sendo assim, aproximadamente um terço da população mundial que ainda vive em moradias de barro (MINKE, 2006). Destaca-se como vantagem social e de saúde a conservação de um legado cultural, como forma de educar e treinar os operários da área da construção civil em técnicas vernaculares. Ademais, os materiais utilizados, neste método possuem baixa toxidade

e são capazes de regular a umidade. Portanto, é imprescindível analisar estes tipos de edifícios de acordo com os padrões de conforto, especificamente utilizando o modelo adaptativo de conforto. Afinal, apenas averiguando se esta tipologia de edificações vernaculares (de barro) cumpre à regulação térmica em vigor e as normas de conforto podem comprovar, ou não, se este tipo de arquitetura propõe melhor desempenho térmico que as edificações convencionais (FERNANDES *et al.*, 2019).

Quando mencionadas as temáticas de habitação e conforto térmico, há uma ampla quantidade de estudos existentes na literatura (FERNANDES *et al.*, 2019). Se ambas as áreas da engenharia e da arquitetura estiverem interligadas, trabalhariam, sobretudo, com o *design* bioclimático ou vernacular, de maneira mais concisa e adequada às necessidades da população, considerando, assim, o clima local (LABAKI; KOWALTOWSKI, 1998). Existem diversas pesquisas relacionadas ao desenho bioclimático e vernacular. A exemplo disto tem-se o conteúdo elaborado por Corbella (1985), que consiste em uma análise climática de diferentes regiões brasileiras e seus edifícios vernaculares históricos, bem como da arquitetura contemporânea, reunindo, desta forma, as possibilidades da arquitetura bioclimática do Brasil.

Outro estudo em território nacional foi realizado por Labaki e Kowaltowski (1998) (Figura 14) em assentamentos urbanos. Pode-se citar ainda a pesquisa realizada por Widera (2021), que avaliou as condições de conforto térmico em habitações vernaculares no oeste da África Subsaariana (Figura 15). Ambas as pesquisas de Labaki, Kowaltowski (1998) e Widera (2021) obtiveram resultados bioclimáticos satisfatórios atribuídos para a população.

ROOM

STREET

TWO-STOREY HOUSE

ROOM

STREET

STREET

STREET

STREET

FRONT VIEW

KITCHEN

BACK YARD

SACH YAR

Figura 14 Estudo de Labaki e Kowaltowski, casa colonial típica vernacular

Fonte: Labaki e Kowaltowski (1998, p.64).

Figura 15 Objeto de estudo da pesquisa realizada por Widera (2021), Togo (Koutammakou). Foto por Arkadiusz Podniesinski



Fonte: Widera (2021).

As construções vernaculares recebem influência de circunstâncias geográficas, provenientes do clima e aspectos culturais específicos. Desta forma, sua manifestação ocorre de maneira singular em locais distintos do mundo (SINGH, MAHAPATRA, ATREYA, 2008; WEBER; YANNAS, 2014). Paul Oliver, considerado por Andrade (2016) como um dos mais renomados estudiosos da temática, ressalta que a utilização de expressões como 'arquitetura primitiva'ou ainda 'arquitetura espontânea', referindo-se à arquitetura vernacular, propõe um significado depreciativo, atrelando, desta forma, as edificações referidas a concepções evolucionistas e naturalistas, as quais não são consideradas adequadas na atualidade.

Neste contexto, entende-se que a arquitetura vernacular consiste na base, para Convertino, Turi, Stefanizzi (2017) e Widera (2021), que relaciona o desenvolvimento e o aprimoramentos em inovações de projetos de arquitetura bioclimática, agregadas às formas de pensar a ventilação no ambiente edificado. O que possibilitou ao setor da construção civil, segundo Bassas, Patterson e Jones (2020), Corbella (1985), Convertino, Turi, Stefanizzi (2017), Labaki, Kowaltowski (1998), Nguyen *et al.* (2019), ao considerarem o desempenho de atividades inovadoras em relação à evolução de fatores de desempenhos energético e ambiental. Neste caso, voltados à questão de ventilação, agregados ao tipo de cultura e climas de diferentes locais – não apenas no Brasil, mas em escala global.

Para Corbella (1985), os profissionais responsáveis pelos projetos na área da construção civil estão em concordância de que existe um contraste entre o baixo custo e a possibilidade de inserir conforto térmico em seus trabalhos. Uma vez, segundo o autor, o programa de casas de baixo custo traz casas pensadas para serem construídas em todo o país, sem ocorrer o planejamento de acordo com a orientação, materiais de construção encontrados no local, sua relação com o clima regional, entre outros. É válido salientar que parte do custo é aumentado pelos trabalhadores não especializados, bem como pelo uso inadequado de materiais ou ainda

por dedicar mais tempo nas mesmas tarefas. Ademais, deve ser notado que os materiais padrão prescritos não são os mais baratos em todos os lugares. Portanto, há uma necessidade urgente de revisar o plano de construção, que tratam diretamente da execução do projeto arquitetônico.

No passar dos últimos anos, ocorreu uma modificação de paradigma no setor da construção civil (FERNANDES *et al.*, 2019). Movimento este, ocorrido devido a crescente preocupação relacionada à consciência ambiental. Desta forma, salientando diversas problemáticas sobre eficiência energética, bem como com os impactos ambientais (FERNANDES *et al.*, 2019). É primordial compreender o desempenho térmico das edificações para posteriormente avaliar se este tipo de construção atende aos requisitos atuais de energia e conforto. Para isto, é necessário investigar as restrições impostas pela regulamentação térmica do projeto, como também é preciso analisar se nesta tipologia de edificação existem parâmetros que possam interferir no desempenho térmico de maneira diferenciada daquela considerada durante a etapa de projeto.

Com relação a isto, Fernandes *et al.* (2019) destacam que de mais em mais, além da altíssima inércia térmica deste tipo de edificações, é também imprescindível avaliar o efeito de outras estratégias passivas geralmente utilizadas nessa tipologia de edifícios consideradas vernaculares, que podem também influenciar no seu desempenho térmico. Já que não é possível padronizar globalmente os ambientes, bem como os fatores locais que interferem diretamente no conforto – tais como clima, hábitos culturais e sociais –, estes devem ser ponderados. Lembrando que recentemente diversos estudos qualitativos e quantitativos têm sido desenvolvidos em diferentes regiões do mundo. Como produto disto, têm-se a explanação de conclusões muito semelhantes, que é o caso da linha de pensamento que é possível atingir condições de conforto consideradas aceitáveis em edifícios vernaculares durante a maior parte do ano apenas utilizando estratégias passivas (CARDINALE; ROSPI; STEFANIZZI, 2013; FERNANDES *et al.* 2015; SINGH; MAHAPATRA; ATREYA, 2010).

Por consequência, esse conhecimento empírico pode colaborar com o objetivo da redução na demanda de energia para fins de aquecimento e/ou resfriamento de edificações (FORUZANMEHR; VELLINGA, 2011; SALJOUGHINEJAD; SHARIFABAD, 2015).

e que as estratégias vernáculas são suficientes e também praticáveis na atualidade.

2.1 A arquitetura bioclimática e seus fatores de ventilação

O conforto térmico está associado, corriqueiramente, aos parâmetros da bioclimatologia, principalmente à ventilação natural. Estes são identificados como uma ferramenta avaliativa importante para cidades com clima quente e úmido, nas quais a fácil inserção dos ventos dominantes no tecido urbano é muito expressiva (SILVA, 2015). Análises qualitativas quantitativas relacionadas à ventilação natural colaboram para o apontamento das condições em que as ocupações urbanas se encontram, como também paramelhor direcionar

eventuais futuras modificações na malha urbana.

Com o passar do tempo, o espaço urbano tem sofrido alterações conforme ações antrópicas. De acordo com Coelho e Fontanele (2018) as modificações dos ecossistemas naturais devido a estruturas de concreto, por conta da pavimentação do solo, de alterações do relevo, construção de edificações, bem como a retirada da arborização nativa, entre outros, fazem com que os aspectos ambientais sejam os principais pontos a serem afetados, transformando a qualidade do ar e do clima, impactando, assim, diretamente na qualidade de vida da população.

Para Desogus, Cannas e Sanna (2016) os propósitos mais impreteríveis, ao se tratar de um progresso sustentável, é a edificação de edifícios bioclimáticos passivos. A respeito disto, de acordo com Baborska-Narożny *et al.* (2020) e Shimoda *et al.* (2020), ocorre um progressivo aumento de consciência relacionada aos efeitos negativos das mudanças climáticas, bem como a busca por meios de enfrentamento, no sentido de considerar aarquitetura sustentável e bioclimática como de extrema importância. Consequentemente, tem-se como presença notável a arquitetura vernacular, a qual, paulatinamente, é identificada como referência para encarar tal desafio. Segundo Shimoda *et al.* (2020), em algumas situações, possuem correlação entre as características construtivas e morfológicas com os contextos climáticos.

Elert *et al.* (2021) destacam a importância da cultura dos povos, considerando os materiais construtivos disponibilizados nos ambientes locais, aprimorados através dos tempos, que foram normalizadas e pelos códigos das construções modernas, o que permitiu modelar, adequando a forma para o beneficiamento da ventilação natural. É interessante pontuar que algumas técnicas de resiliência climática (massa térmica, ventilação natural e iluminação natural), também relativas à construção sustentável (como eficiência energética, captação de água da chuva e avaliação do ciclo de vida), são aplicadas também em um projeto bioclimático (WIDERA, 2021). Como principal característica da arquiteturabioclimática tem-se a adaptação adequada às condições biológicas e climáticas locais (DAHL, 2009; NOCERA *et al.*, 2020; RYŃSKA,2010; WIDERA, 2020). Um componente importante da arquitetura sustentável e bioclimática é a possibilidade de tirar partido da arquitetura vernacular em termos de conforto interno/externo e uso criativo de materiais de construção locais e métodos de construção (WIDERA, 2018).

Segundo Widera (2021), parâmetros climáticos como temperatura, luz do dia, vento ou umidade, são devidamente analisados para proporcionar ótimas condições internas e considerável economia de energia. Widera (2021) destaca a importância de um estudo pleno a partir da localização da edificação, considerando a orientação deste, a fim de aproveitar ao máximo a energia solar, eólico e terrestre. Tratando-se de ventilação, aberturas posicionadas corretamente – sendo estas pequenas janelas na parte superior da sala e/ou aberturas no telhado, permitem a saída de ar quente para fora e, desta forma, contribuem para melhores condições

de conforto térmico interno, como também para menores concentrações de CO₂ e, desta maneira, resultando na melhoria da qualidade do ar interior (WIDERA, 2021).

2.2 Clima no Brasil e em Porto Alegre

O Brasil está localizado entre as latitudes 5° N e 34° S, portanto, é um país de dimensões continentais, raramente permitindo que se estabeleçam algumas divisões (CORBELLA, 1985). De acordo com o IBGE (2021), existem três tipos de clima no país, sendo eles: equatorial, tropical e temperado (Figura 16). Mencionando-se o clima equatorial, este abrange boa parte do país – especialmente a região da Floresta Amazônica, onde chove cotidianamente e possui temperaturas elevadas. O clima tropical, por sua vez, é diversificado de acordo com a região; também é quente e com menos regularidade de chuvas. No Sul do Brasil está localizada a região mais fria do país. Prevalecendo, desta forma, o clima temperado, podendo atingir, no inverno, temperaturas inferiores a zero grau.



Figura 16 Clima no Brasil

Fonte: Nimer, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro: IBGE, v. 41, n. 4, p. 59-89, out./dez. 1979.

Para Valério *et al.* (2018), a palavra clima compreende-se pela síntese de elementos meteorológicos observados durante um longo período de tempo e possui conexão com a vegetação. Categoriza-se o estado do Rio Grande do Sul, segundo as classificações climáticas delimitadas por Köppen (1931) e Thornthwaite (1948), nas quais, no estudo de Köppen (1931), utilizaram-se as médias da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica de 41 estações meteorológicas, durante um período não contínuo de 25 anos, entre 1950 e 1990.

Observaram-se dados pluviométricos e de temperatura associados a variáveis de latitude e altitude. Desta maneira, calculou-se e determinou-se zonas de vida de forma individual para os 496 municípios do estado (BURIOL; ADELI, 2001; VALÉRIO *et al*, 2018).

Por meio deste estudo, os pesquisadores depararam-se com oito zonas de vida, e destas, salientaram-se: floresta úmida temperada basal (74,0%); floresta muito úmida/floresta úmida temperada basal (13,8%) e floresta úmida/floresta muito úmida temperada basal (8,0%). A associação entre os estudos de Holdridge (2000) e Köppen (1931) expôs correspondência acima de 90% em sete, das oito zonas de vida encontradas (87,5% do território do estado), predominantemente com o tipo climático Cfa (clima temperado, com chuva o ano todo e verão quente). Quanto à classificação de Thornthwaite (1948), calculou-se para cada estação e com os mesmos dados climáticos a evapotranspiração potencial e o balanço hídrico. Para tanto, conforme a classificação de Köppen (1931) no Estado do Rio Grande do Sul, encontram-se os tipos climáticos Cfa e Cfb (BURIOL; ADELI, 2001; VALÉRIO *et al*, 2018).

Mencionado a região sul do país, o clima que abrange esta porção é o clima subtropical úmido e para este tipo climático existem algumas variações (Cfa, Cfb e Cwa), dividindo-se da seguinte forma: Curitiba (PR) possui o tipo climático Cfb, no qual os verões são mornos e mais úmidos do que os invernos; já as precipitações ocorrem de maneira uniforme. Em Porto Alegre (RS), o tipo climático existente é o Cfa, caracterizado por verões quentes e os invernos com maior umidade que no período do verão; com relação às precipitações, estas também ocorrem com uniformidade. O clima subtropical também éregistrado em São Paulo, no tipo Cwa, de verões úmidos e invernos mais secos e verões com maiores índices de precipitação (KÜNAST, 2021).

Considera-se a abordagem desta temática interessante para esta dissertação, pois é necessário que se compreenda o meio em que o objeto de estudo está inserido, haja vista que o clima possui relação direta com o conforto ambiental e saúde do local. Vê-se na ventilação natural uma oportunidade em potencial para melhorias referentes ao assunto; afinal, diante de condições climáticas exteriores severas, conta-se com os ambientes internos para a realização de atividades. No caso deste estudo, trata-se de uma edificação hospitalar na cidade de Porto Alegre/RS.

CAPÍTULO III ARQUITETURA HOSPITALAR

3. Arquitetura hospitalar

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), saúde é um direito humano fundamental, consecução do mais alto nível de vida possível, cuja realização requer a ação de muitos outros setores sociais e econômicos, tais como educação, emprego/salário, alimentação, moradia, segurança física e ambiental (GÓES, 2004). Já o conceito da palavra 'hospital', de acordo com o dicionário Aurélio, é um estabelecimento onde se tratam doentes, pessoas acidentadas, etc., internados ou não; nosocômio. Partindo do conceito de que saúde e hospital, assim como a arquitetura, têm ligação direta na qualidade de vida das pessoas, torna-se válida uma breve explanação sobre o histórico da arquitetura hospitalar para que seja possível compreender a importância da Arquitetura de Ambientes de Saúde e desse profissional – o Arquiteto Hospitalar (COSTEIRA, 2014). Assim, levou-se em conta estudos de Elza Maria Alves Costeira (2014) e Ronald de Góes (2004).

3.1 Histórico da arquitetura hospitalar

Os primeiros registros atrelados à medicina são os chamados papiros médicos, encontrados por Georg Ebers e Edwin Smith, na cidade de Luxor, em 1873. Os documentos são datados do período de 1553 a 1550, a.C. Textos do antigo império, (3300 a 2360 a.C.), época das oito dinastias primordiais, governadas por Quéops, Quéfren e Miquerinos. Já a mitologia grega fala do hospital templo denominado Asclépio, enquanto a Índia registrou, no ano de 226 a. C., um rei Asoka como construtor de hospitais. A partir do cristianismo, o 'nosocomiun' (denominação antiga para os atuais hospitais) passou a ser um lugar para tratamento de doentes, de pobres e de peregrinos. Segundo alguns autores, um nosocômio fundado por São Basílio, no período de 269 a 372 d.C., na cidade Cesárea, localizada na Capadócia, na segunda metade do século IV, seria o primeiro hospital cristão. Em contrapartida, para outros, o hospital construído em Roma, no mesmo século, teria sido a edificação hospitalar pioneira (GÓES, 2004).

Segundo Góes (2004), com o passar do tempo as instituições religiosas se tornaram fortemente ligas às edificações hospitalares. Foi no período da Renascença que as congregações religiosas começaram a perder a autoridade sobre os hospitais e estes obtiveram um caráter mais municipal. Um dos principais marcos da história hospitalar foi o incêndio de um hospital com 1.100 leitos individuais e 600 coletivos, o Hotel de Dieu em Paris (Figura 17), no ano de 1772. Essa edificação favorecia situações de contaminação e contágio de doenças infecciosas. Devido a isso, o governo procurou a Academia de Ciências de Paris para que fosse pensado um projeto de reforma eficiente. Nesta ocasião, grandes nomes como Lavoisier,

Laplace e Tennon auxiliaram na proposição de diretrizes de projeto hospitalar. As diretrizes foram as seguintes:

- o número de leitos nunca seria superior a 1.200 unidades;
- deveria ser reduzido o número de leitos para enfermaria;
- deveria haver maior isolamento entre as enfermarias;
- não deveria haver salas contínuas;
- as salas deveriam ser dispostas de modo a permitir a circulação do ar com abertura de todos os lados;
- os pavilhões deveriam ficar em ordem paralela;
- as fachadas deveriam ser uma ao norte e outra a sul;
- deveria ser construído um só pavilhão destinado aos enfermos ou dois pavilhões em caso de escassez de terrenos;
- deveria haver permissão para três andares em certos casos, sendo o mais elevado destinado aos empregados, enquanto que o intermediário e o térreo aos enfermos;
- deveria existir jardins entre os pavilhões.

Tais recomendações foram consideradas por mais de um século por um grande número de hospitais em escala global. O incêndio ocorrido pode ser considerado como determinante para a alteração da velha estrutura de edificações hospitalares, as quais possuíam condições de instalações insalubres e abrigavam centenas de enfermos agrupados (COSTEIRA, 2014).



Figure 17 Hospital De L' Hotel Dieu, Paris, France, 1849

Fonte: iStock (2020).

De acordo com Costeira (2014), a descoberta da transmissão de germes, no ano de 1860, alterou totalmente a concepção dos projetos de hospitais, isolando as patologias e os doentes em pavilhões específicos. Destacaram-se neste contexto os trabalhos de Louis Pasteur, os quais explicitaram a necessidade do combate o contágio e a transmissão de doenças por meio da separação de pacientes e a esterilização de utensílios utilizados pelo corpo médico e seus assistentes. Ocorreu uma mudança drástica no cenário hospitalar a partir da tomada de medidas de isolamento. A partir disto, a distribuição dos elementos arquitetônicos, bem como sua composição em pavilhões múltiplos, auxiliou no desenvolvimento das edificações e a integração com o seu espaço de instalação, possibilitando a criação de hospitais do tamanho de quarteirões, e nessas implantações que lembravam pequenas cidades-jardim. Foi nesse período de tempo que se estabeleceu o padrão hospitalar contemporâneo.

Destacam-se ainda os estudos de Florence Nightingale, enfermeira autora do livro 'Notas sobre hospitais' (2010), que a partir de suas observações sobre o sistema pavilhonar definiu bases e dimensões do que ficou posteriormente conhecido como 'enfermaria Nightingale' (NIGHTINGALE, 2010). Florence fez uso de projetos arquitetônicos da época com a finalidade de estabelecer diretrizes construtivas e reformar hospitais ingleses do século XIX, o que foi imprescindível para diminuir, consideravelmente, os índices de morbidade e mortalidade da época (DRAGANOV; SANNA, 2017). Suas considerações, atualmente, compõem algumas prescrições essenciais para a construção e reforma de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS).

Para Costeira (2014), a predisposição da verticalização de construções aparece, na segunda metade do século XIX, com o surgimento dos arranha-céus, na cidade de Chicago. Nesta época, houve o aumento no custo de terrenos urbanos, bem como a escassez de mão-de-obra no ramo da enfermagem, o anseio para a redução dos percursos existentes nos hospitais em modelo pavilhonar e a dificuldade na adequação dos longos corredores existentes nas circulações perante o clima rigoroso da América do Norte. De acordo com a autora, o aperfeiçoamento de tecnologias da área da construção civil como, por exemplo, o emprego das estruturas metálicas, elevadores, circulações otimizadas, os sistemas de ventilação mecânica, entre outros, foi a base para a definição da nova tipologia na construção de hospitais. Desta forma, mostrou-se o padrão de hospital em monobloco que, posteriormente, se apareceria na forma de múltiplos blocos verticais – marco das edificações hospitalares do século XX.

O modelo de hospital monobloco é considerado um símbolo do triunfo da medicina, afinal, sua forma é enérgica e remete aos avanços da pesquisa médica (COSTEIRA, 2014). Este modelo de arquitetura hospitalar contribui com sua estrutura física, com a racionalização das funções de assistência e a setorização de serviços, patologias e complexidade de cuidados, na implantação dos seus pavimentos e prédios.

Segundo Costeira (2014), a história da Saúde Pública no Brasil começa ao final do século XIX e início do século XX, exceto pelas Santas Casas de Misericórdia. Essas edificações surgiram ao Brasil devido à vinda dos padres da Companhia de Jesus, no século XVI – a primeira Santa Casa foi fundada em Santos, em 1543, pelo colono Braz Cubas. No limiar do século XX, ocorreu a Revolta da Vacina, ocasião em que se almejou a erradicação da peste bubônica, febre amarela e varíola. Indubitavelmente, com relação ao campo da assistência social, o governo Getúlio Vargas também introduziu importantes mudanças.

A partir desse período, iniciou-se uma era de construções com grandes edifíciospúblicos e carregados de programas de necessidades mais complexos, caracterizando, assim,a chamada arquitetura moderna brasileira.

3.2 Alguns parâmetros de conforto térmico na arquitetura hospitalar

Conforto térmico é definido – em linhas gerais, de duas maneiras, a primeira como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é analisado por avaliação subjetiva. Existem grandes variações, tanto psicológicas quanto fisiológicas, particulares de acordo com a pessoa, sendo, assim, complexo agradar as pessoas em sua generalidade quando referido a um mesmo espaço, visto que as circunstâncias ambientais demandadas para a obtenção de conforto são variadas de indivíduo para indivíduo (LUKIANTCHUKI; CARAM, 2014). Já a segunda, fisiologicamente, o conforto térmico de um indivíduo se dá devido às condições que o meio permite ao sistema termorregulador. Devendo este, encontrar-se em um mínimo estado de tensão (RUAS, 1999).

Há também normativas que conceituam o termo, como a NBR 15220-1 (2005), em que conforto térmico trata-se da satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente. Já a ISO 7730 (2005) define conforto térmico a partir do estado que expressa satisfação com o ambiente térmico. Também de acordo com a *American Society of Heating, Refrigeration and Ar conditining Engineers* (ASHRAE), a terminologia 'conforto térmico' considera a condição da mente a qual o indivíduo expressa satisfação com

o ambiente térmico (ASHRAE, 1992). Portanto, as normativas incluem assim, a ventilação natural.

De acordo com Ruas (1999), o conforto e equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados na medida em que a sensação de bem-estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico. Portanto, ainda segundo o autor, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto (RUAS, 1999). As trocas térmicas do corpo humano com o meio ocorrem basicamente através de quatro processos:

- 1. condução;
- 2. convecção;
- 3. radiação trocas secas e
- 4. evaporação troca úmida.

Comiran (2014) considera que o cuidado e o tratamento dos ambientes hospitalares são fundamentais para a recuperação do paciente, de maneira especial quando levado em conta que a doença fragiliza o ser humano não somente em aspectos físicos. Neste caso, Comiran (2014) sugere que no caso de ambientes hospitalares, muitas vezes a alta tecnologia dos equipamentos é evidenciada perante à organização da logística espacial, tornando-os inóspitos e desumanos.

Quando mencionada a arquitetura hospitalar, é indubitável a necessidade que os consultórios sejam pensados caso a caso, para que atendam às características das diversas especialidades médicas existentes, uma vez que cada clínica demanda adequações que as unidades de terapia intensiva e as demais áreas críticas do hospital exerçam a primazia do cuidado específico na sua implantação e compatibilização tecnológica. Assim, surge também a necessidade de aliar conforto e bem-estar ao espaço de trabalho. Afinal, esse mesmo ambiente pode tornar-se a residência temporária dos seus principais usuários (pacientes e profissionais de saúde). A formulação da solução projetual, além de considerar as necessidades da tecnologia médica, as características geográficas da região, a flexibilidadedos espaços definida pelas variáveis epidemiológicas, deve ponderar com elementar relevância a atenção à satisfação do usuário por meio do conforto ambiental em seus numerosos aspectos (BITENCOURT, 2002).

3.2.1 Avaliação do conforto térmico relacionado à ventilação natural

Segundo Sampaio e Chagas (2010), o projeto arquitetônico hospitalar deve ser pensado considerando-se fatores como o clima onde ele este será edificado, a insolação, topografia, condições ambiental e paisagística, seu programa de necessidades de acordo com as atividades a serem realizadas no local, sua flexibilidade e expansibilidade, a segurança, a adaptabilidade a novas descobertas e tecnologias e a satisfação e bem-estar dos seus usuários. Justamente no bem-estar que se deve estar atento a questões de conforto ambiental nomomento em que o projeto está em desenvolvimento. Em se tratando de ambientes hospitalares, é de suma importância considerar o conforto ambiental.

De acordo com Sampaio e Chagas (2010), ambientes hospitalares devem ter adequadas temperaturas, trocas de ar e umidade, iluminação natural e artificial; contatointerior/exterior com visualização do meio externo; jardins para contemplação e passeios e ruídos adequados quando forem inevitáveis. Se exigido em alguns ambientes pelas normas de projetos de estabelecimentos de saúde, o uso de condicionamento de ar artificial deve ser projetado adequadamente, possibilitando o seu melhor desempenho, eficiência e economia energética.

Quando em pauta fatores como a iluminação, Carpman *et al.* (1986) recomendam com relação às áreas externas que todos os ambientes devem ter acesso a áreas sombreadas, com fontes de água, vegetação, local adequado e confortável para sentar, para que possam caminhar acompanhados de enfermeiros e acessível para cadeiras de rodas e macas. Ao se tratar de pacientes impossibilitados de ir para fora, as janelas devem proporcionar contatocom o exterior, para que esses identifiquem as diferentes épocas do ano, horas do dia e o clima, se chuvoso, nublado ou ensolarado.

A relação harmônica entre o exterior e o interior é importante para se viabilizar acesso à ventilação e iluminação natural, o que traz muito conforto ao usuário, principalmente, ao paciente. Por causa do fator psicológico – extremamente importante –, trabalhadores têm afirmado que, embora gostem do conforto estabelecido por condições controladas, também gostam de vidro suficiente para ao menos verem como o tempo está (ROSENFIELD, 1950). Logo, é importante destacar que a conexão do paciente com a área externa proporciona um relaxamento físico e psicológico. De acordo com Hopkinson e Kaey (1969), uma janela viabiliza descanso visual, uma vez que permite ligação direta do interior com o exterior, apresentando as diferentes variações que ocorrem no durante um dia. O homem necessita de tal variação e as janelas fornecem um relaxamento físico e também psicológico, afinal,

permitem o deslumbrar do infinito sem a necessidade de forçar o músculo à acomodação como ocorre quando se observa alguma coisa próxima.

De acordo com Quadros e Mizgier (2020), a ventilação natural é um parâmetro de conforto ambiental que pode ser empregado em ambientes hospitalares com baixo risco de infecção, principalmente, em regiões de clima quente e úmido. O funcionamento da ventilação natural é um fenômeno complexo de ser modelado devido aos procedimentos de termodinâmica e de escoamento de ar envolvidos no ambiente interno.

Juntamente com os estudos citados neste projeto de pesquisa, outras pesquisas internacionais também objetivaram a avaliação do conforto em ambientes hospitalares. Dentre esses, destacaram-se as pesquisas de Skoog, Fransson e Jagemar (2005), que realizaram análises quantitativas e qualitativas, avaliando o conforto térmico de uma edificação hospitalar localizada na Suécia, durante as estações de inverno e verão. Os autores obtiveram resultados que constatam divergências com relação à percepção da temperatura entre funcionários e pacientes, especialmente durante o inverno.

Em se tratando de fatores referentes a projetos arquitetônicos, a definição do fluxo de ar no interior das edificações é devido ao tamanho, a forma e a localização das aberturas (CANDIDO; BITTENCOURT, 2006). Segundo os autores Ayata e Yildiz (2006), o zoneamento de maneira funcional nas edificações acresce de forma significativa a ventilação natural, principalmente, durante dias com a temperatura elevada, ou seja, estações mais quentes – especialmente no verão ou em regiões com climas moderados.

Para Adamu, Price e Cook (2012), a disposição das aberturas de um recinto determina sua maneira de ventilar. É fator decisivo quando mencionada a variação na velocidade do ar, os modelos de ventilação adotados em enfermarias, sendo estes a abertura unilateral simples, a abertura unilateral dupla e a abertura unilateral com torre de ventilação e abertura unilateral com saída pelo forro. Com relação a ambientes ventilados unilateralmente, identifica-se uma ou mais janelas em apenas uma das fachadas. Logo, a entrada e a saída do ar nesses locais podem ocorrer devido à ação dos ventos ou pela própria diferença de temperatura do ar (ALLOCCA; CHEN; GLICKSMAN, 2003; SCHULZE; EICKER, 2013).

Quando analisada uma única abertura, os autores Stabat, Caciolo e Marchio (2012) apontam que o ar em temperatura mais elevada do ambiente interno sai pela parte superior da esquadria, ao mesmo tempo em que o ar frio, que vem do ambiente externo, entra pela parte inferior da esquadria. Consequentemente, há uma altura em que o fluxo de ar é invertido, na qual a diferença de pressão é nula, correspondendo ao chamado nível de pressão neutra.

3.3 Normativas brasileiras para ventilação natural

Objetivando a qualidade dos estabelecimentos, a Resolução RDC nº 50/2002, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, propõe critérios para o planejamento, dimensionamento, elaboração e avaliação de projetos e construções de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS). Apesar disso, os tópicos relacionados a conforto, embora mencionados na resolução, são reduzidos a uma pequena importância, uma vez que a resolução está empenhada em tópicos de dimensionamento mínimo, quantificação e instalações prediais. Dentre as especificações desta resolução, os diferentes ambientes de um EAS podem ser classificados quanto ao risco de transmissão de infecções:

- Áreas críticas ambientes em que existe risco aumentado de transmissão de infecção, onde são realizados procedimentos de risco, com ou sem pacientes, ou onde se encontram pacientes imunodeprimidos.
- 2. Áreas semicríticas são todos os compartimentos ocupados por pacientes com doenças infecciosas de baixa transmissibilidade e doenças não infecciosas.
- Áreas não críticas tratam-se de todos os demais compartimentos dos EAS não ocupados por pacientes, onde não se realizam procedimentos de risco (ANVISA, 2002, p. 86).

Considerando tal classificação, as áreas de internação hospitalar, quartos e enfermarias, são definidas como áreas semicríticas. É necessário ponderar que os EAS, englobando hospitais, divergem em alguns fatores de outras edificações, pois as condições de higiene são de extrema relevância para impedir a disseminação de bactérias e vírus patogênicos. Isto é, além das necessidades de conforto térmico, outras normativas devem ser consideradas (COMIRAN, 2014).

Entende-se que a ventilação natural cruzada é um recurso viabilizado pela arquitetura, permitindo a circulação de ar no interior das edificações, auxiliando, desta forma, no conforto térmico dos usuários e na obtenção de salubridade (SCHERER; MASUTTI, 2019). Pode-se conceituar a ventilação natural como a obtenção do condicionamento térmico por meio do fluxo natural do ar. De acordo com Mermet (2005), as funções que servem como base da ventilação natural são: oferecer conforto térmico nas épocas quentes por meio da ventilação de conforto e da ventilação noturna sobre a massa do edifício através do resfriamento, além de assegurar a qualidade do ar interior através da ventilação higiênica.

Segundo Possebom *et al* (2016), seu desempenho ocorre por meio da instalação de esquadrias, com aberturas em faces opostas ou mesmo adjacentes; com o intuito de que o ar flua pelo ambiente, carregando o ar quente e tornando o ar mais fresco na parte interna da edificação. Logo, a circulação adequada do ar, proporcionando bom conforto ambiental, pode acudir na diminuição do gradiente térmico e no ar da edificação (RODRIGUES, 2008). A ventilação cruzada é uma alternativa arquitetônica para a obtenção da circulação natural do ar de forma a proporcionar benefícios ambientais; esta deve adequar-se às necessidades dos usuários, por meio da correta localização e dimensionamento das aberturas (FONSECA *et al.*, 2010). De acordo com Fonseca *et al.* (2010), por meio da escolha de esquadrias adequadas de acordo com o objetivo do projeto, é possível direcionar o fluxo de ar, seja por retirada de ar quente da camada mais alta do ambiente com direcionamento de fluxo para o usuário, seja somente visando à ventilação higiênica.

Quando analisadas pesquisas realizadas sobre a temática, bem como o trabalho de Bittencourt e Cândido (2006), mensura-se que o uso da ventilação para conforto é indicado para temperaturas entre 18°C e 32°C, com velocidade máxima de aproximadamente 2 m/s. Acima de 32°C, os ganhos térmicos por convecção são considerados indesejáveis, assim como abaixo de 18°C ocorre maiores níveis de desconforto por baixas temperaturas. Por conseguinte, na hipótese de baixas temperaturas, a ventilação deve ser usada apenas com a função de higienizar o local (COMIRAN, 2014).

Gratia, Bruyère e Herde (2004) ressaltam a diferença entre os termos 'ventilação higiênica' e 'ventilação para resfriamento'. Ventilação higiênica é o termo usado quando o intuito for proporcionar um ambiente limpo, saudável e confortável em um edifício para as pessoas que o utilizam e trabalham (GRATIA; BRUYÈRE; HERDE, 2004). Já a ventilação para resfriamento é uma terminologia empregada quando o objetivo for refrescar o edifício; esse tipo de ventilação pode ocorrer tanto quando o edifício não está ocupado quanto durante o horário de funcionamento – em casos comerciais ou de prestação de serviços.

3.3.1 Ventilação higiênica

Segundo Nico-Rodrigues (2008), o ser humano vive em média entre 80% a 90% do seu tempo em locais fechados. Tais ambientes originam microclimas, podendo ocasionar em enfermidades aos ocupantes do espaço, gerados devido a determinados elementos. Exemplificando isto, pode-se mencionar um ar condicionado sem manutenção, ou ainda um local com pouca ventilação, a fumaça proveniente de um cigarro, os mobiliários

empoeirados, os papéis, os computadores, os odores e bactérias oriundos dos banheiros, entre outros. É, portanto, a ventilação natural um fator primordial quando o objetivo é a eliminação dos malefícios gerados por esses microclimas (Figura 18).

Figure 18 Ventilação Higiênica

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

3.3.2 Ventilação de conforto

Ventilação de conforto (Figura 19), também conhecida como ventilação de resfriamento passivo, ou ainda ventilação direta sobre as pessoas é, basicamente a transferência de calor do corpo humano para a ventilação naturalque envolve o ambiente interno, com os resultados quase nulos sobre as temperaturas radiantes das superfícies (MERMET, 2005).

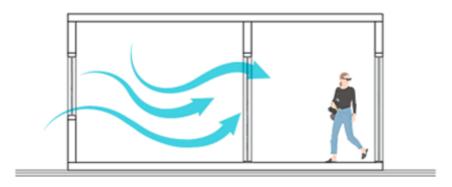


Figure 19 Ventilação de conforto

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

3.3.3. Resfriamento

Conforme a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHARE), os níveis de qualidade do ar interior devem ser avaliados levando em

controle da umidade e a filtração adequada (MERMET, 2005). Para Nico-Rodrigues (2008), a utilização de esquadrias que maximizem a inserção de vento no interior de uma construção é uma das abordagens adotadas para modelos tipológicos de janelas onde caixilhos superiores proporcionam a troca do ar dos ambientes internos, beneficiando, assim, a ventilação higiênica, uma vez que são correlacionados à permeabilidade do fluxo de ar por toda a edificação mediante outras aberturas. Espaços com formatos descomplicados permitem que a brisa transite em maior área na edificação. Existe ainda o efeito chaminé, capaz de executar o recolhimento de ar quente e realizar a entrada de ar frio, comumente utilizado em situações que não há disponibilidade de vento (FONSECA *et al.*, 2010).

Para Nico-Rodrigues (2008), o resfriamento por meio da ventilação noturna constituise em uma troca térmica entre a estrutura de uma edificação com a passagem de ar sobre as superfícies circundantes, como ilustrado na Figura 20. Desta maneira, o calor absorvido pela estrutura da construção no decorrer do dia é eliminado ao longo da noite, por meio da ventilação natural, no momento em que as temperaturas são menores. Assim, no dia seguinte, a estrutura da edificação esfriada atua de maneira condensadora de calor, objetivando absorver o calor que entra pela construção e o calor gerado no interior deste.

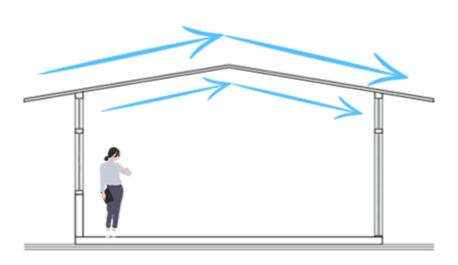


Figure 20 Resfriamento

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A ventilação natural em hospitais dedicados ao cuidado de pacientes infectados com SARS-CoV-2 requer cuidado preventivo – cuidado que deve ser tomado ainda em fase de

projeto. Em muitos casos, utilizam-se esquadrias que permitem maior controle da ventilação nos ambientes; é o caso do Hospital da rede Sarah Kubitschek, em Salvador, projetado por João da Gama Filgueiras Lima (Lelé). O arquiteto responsável pelo planejamento do local explorou a ventilação da melhor forma devido a seu conhecimento na área — o que ressalta ainda mais a importância de se compreender os métodos para aproveitamento da ventilação em um ambiente.

CAPÍTULO IV: ARQUITETURA HOSPITALAR MODULAR PARA O ATENDIMENTO DO COVID-19

O arquiteto não é um apêndice de uma máquina constrangedora e terrível. Ao contrário, abe-lhe ajudar a dominar, a submeter a estrutura impositiva que transforma o homem em coisa, em vítima de sua própria criatura. (Vilanova Artigas)

O presente Capítulo II apresenta uma abordagem voltada à arquitetura hospitalar modular para o atendimento da COVID-19 no Brasil, pelos seguintes tópicos: breve enfoque sobre arquitetura modular – em que comenta-se sobre como é o processo do sistema construtivo do objeto de estudo, bem como diferencia-se arquitetura modular de construções modulares; seguindo com a função da tecnologia na modulação de hospitais, sequencialmente, mencionase os hospitais modulares e por fim, os hospitais construídos pelaBrasil ao cubo.

4. Arquitetura hospitalar modular para o atendimento da Covid-19 no Brasil

O Hospital Independência conta com o Sistema Construtivo Tecverde, que consiste em 70% das etapas alocadas em ambiente fabril, objetivando controle de qualidade e eficiência do produto e processos, reduzindo em 85% a geração de resíduos em 90% o uso de recursos hídricos e acelerando em até 3 vezes o processo construtivo, uma vez que a produção fabril não sofre impacto com as condições climáticas. Este sistema construtivo foi homologado junto ao Ministério das Cidades, o qual foi desenvolvido com base no sistema *wood frame* alemão (TECVERDE, 2020).

Os materiais aplicados nos painéis Tecverde passam por controle de qualidade em todo o processo produtivo e inspeção final no canteiro de obras (TECVERDE, 2020). De acordo com a empresa, o *frame* utiliza madeira estrutural de florestas plantadas com dupla secagem e tratada com produtos químicos que garantem durabilidade superior a 50 anos. Com relação ao fechamento dos *frames*, este ocorre por meio de chapas OSB, chapa de madeira estrutural com tratamento anticupim, empregada com a finalidade de contraventamento da estrutura do painel Tecverde. Posteriormente, sobre a chapa é aplicada amembrana hidrófuga, a qual é um material que protege o painel Tecverde – funcionando

como uma barreira contra o calor e vapor d'água, possibilitando a respiração dos painéis de parede Tecverde. Por sua vez, as paredes internas recebem gesso acartonado sobre o OSB, proporcionando um ambiente de fácil higienização, com conforto térmico e acústico.

De acordo com a Tecverde (2020), os pontos hidráulicos e elétricos são inseridos no painel ainda na fábrica, permitindo, desta forma, maior controle de qualidade do sistema — que é submetido a testes de estanqueidade e pressão de ar. Para a fixação das chapas de madeira e usinagem das aberturas, o processo de industrialização deste sistema construtivo conta com uso de máquinas alemãs. A empresa assegura que por meio do processo automatizado é possível garantir qualidade, eficiência e maior produtividade durante todo o processo, além de assegurar maior segurança para a equipe operacional.

Sobre o transporte – terceira etapa da Figura 21 – os painéis são transportados fechados, revestidos externa e internamente, possibilitando uma logística eficiente e uma construção mais industrializada, diminuindo, desta forma, as etapas de execução em obra. A fase de obra consiste na montagem dos módulos no canteiro de obras, os painéis são içados com dispositivos de segurança por equipes responsáveis, as quaissão especializadas, contando com produtividade média de montagem de 3 m2/homem*hora, permitindo, desta forma, uma obra com até 3 vezes mais agilidade que a alvenaria convencional.

Com o intuito de tornar o canteiro de obras mais seguro e eficiente, a empresa afirma que propõe o uso de uma cobertura industrializada, composta por treliças pré-fabricadas, com conectores (chapas de dente estampado), projetadas e produzidas conforme a NBR 7190, possibilitando, desta forma, que a cobertura seja montada no chão e içada, melhorando o controle de qualidade e a segurança em obra. O piso é estrutural, construído por chapas de madeira e barrotes de madeira tratada, posteriormente é executado o contrapiso de argamassa sob malha de aço, assegurando estabilidade estrutural e conforto acústico.

O acabamento externo é por meio de chapas cimentícias na superfície externa do painel, garantindo estética similar à alvenaria, conforme a NBR 15575. Os materiais aplicados passam por ensaios de homologação quanto à durabilidade e resistência a impactos (TECVERDE, 2020). Já para o acabamento interno, em áreas molhadas é aplicado revestimento cerâmico sobre o gesso acartonado, sendo este do tipo resistente à umidade (RU).

Projeto Projeto e aprovações Construção Modular Montagem Permanente Montagem de Timeline componentes e módulos Construção modular permanente ou temporá execução Transporte Transporte dos módulos Obra Forma final: através da instalação dos blocos no local e fixação entre os mesmos

Figura 21 Fases da construção modular

Fonte: Imagem adaptada de Tecverde (2020).

4.1 Arquitetura modular

Para Castelo (2008), a construção modular nada mais é que uma metodologia que objetiva a criação de uma dimensão padrão, a fim de racionalizar a concepção e a construção de edificações, permitindo, desta maneira, elevar o grau de industrialização da construção, sem abrir mão da flexibilidade na concepção arquitetônica de um projeto. Ou seja, a construção modular busca a racionalização de materiais e processos, com padronização dimensional, explorando a eficiência construtiva desde sua fabricação até à sua montagem *in loco*. Sabe-se que a construção modular tem o potencial de encurtar o tempo de projeto, reduzir custos e melhorar a produtividade da construção (GENERALOVA *et al.*, 2016).

Ao realizar-se uma pesquisa sobre construção modular, existe sempre uma relação muito próxima com a temática da construção pré-fabricada, podendo, assim ocorrer comparações entre arquitetura modular e modulação arquitetônica. Freitas (2014) afirma que apesar das temáticas serem complementares umas a outras, há propósitos e características distintas entre ambas. Ainda que ocorra a utilização modular na construção já na antiguidade, comumente vincula-se a construção modular ao uso de blocos independentes que conjugados criam um determinado objeto (PATINHA, 2011).

Autores como Bregatto (2008) e Filho (2007) alegam a implementação do conceito de modulação arquitetônica durante a construção das pirâmides do Egito – devido à dimensão

dos blocos (Figura 22), ou ainda na construção de templosna Grécia – devido aos pilares (Figura 23.).



Figura 22 Pirâmide de Quéops, no Egito

Fonte: Gazeta Online (2017).

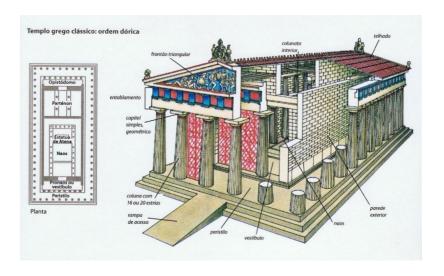


Figura 23 Templo Grego

Fonte: Arquitetura em passos (2017).

No entanto, foi com a revolução industrial que o desenvolvimento e o uso generalizado de maquinário potencializou a sistematização e padronização de alguns materiais e sistemas construtivos. Emergem, desta forma, os elementos de arquitetura modular pré-fabricados, facilitando a montagem e proporcionando agilidade na execução, passando, assim, a estar interligados com a temática da modelação (FREITAS, 2014).

Impulsionada pela industrialização, Joseph Paxton projetou o palácio de cristal (Figura 24), que foi construído entre 1850 e 1851 para a exposição universal de Londres (ROSSO, 1976). De acordo com Freitas (2014), o empreendimento contava com a incorporação de uma rede modular em placas de vidro, padronizados e construídos à escala industrial, que promoveram a sua rápida construção, bemcomo a sua posterior desmontagem. Esse sistema de construção utilizado no palácio incentivou a construção modular pré-fabricada no século XIX, com a construção de hospitais, estações de comboio, entre outros. Porém, a partir desse período, identificou-se a redução da utilização do método da construção modular. O mercado norteamericano exerceu importante papel na utilização deste conceito, apesar das opções arquitetônicas e da qualidade construtiva serem bastante reduzidas durante esse período (RAMOS, 2007).

Figura 24 Gravura de Joseph Paxton da fachada do Palácio de Cristal em 1851

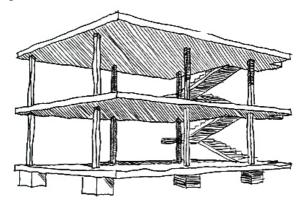


Fonte: Associação nacional de vidraçarias (2013).

A segunda metade do século XX marca o surgimento de alguns projetos que motivaram o conceito da construção modular e da pré-fabricação (FREITAS, 2014). Como exemplo disso, tem-se o Maison Dom-ino, desenvolvido pelo arquiteto suíço Charles- Edouard Jeanneret-Gris, mais conhecido como Le Corbusier. O sistema Dom-ino (Figura 25), que foi pensado entre os anos 1914 e 1917, consiste em um sistema construtivo composto por lajes planas, fundações e pilares em concreto

armado, propondo subsistemas de organização e a implementação de edificações com traços modernistas – pisos em balanço, pilotis, plantas e fachadas livres, entre outros.

Figura 25 Le Corbusier: Maison Dom-ino



Fonte: Research Gate (2017).

Destaca-se ainda a contribuição do arquiteto alemão Walter Gropius, que dentre diversos projetos visando à interação entre os ambientes (Figura 26), planejou, no ano de 1932, a 'casa ampliável'. O projeto consiste em uma sistemática modular elaborada a partir de elementos pré-fabricados com conceito parcialmente aberto, devido à interação entre módulos, em que implementou um sistema de adição e acoplação de elementos volumétricos (CASTELO, 2008).

Figura 26 Casa Gropius, construída em 1938



Fonte: ArchDaily (2012).

Partindo do pressuposto de que existem diversos sistemas construtivos com construção modular, destaca-se:

- Sistemas de construção com recurso a elementos pré-fabricados;
- Sistemas de construção por montagem, através de encaixes sucessivos;
- Sistemas em que os elementos estruturais são modulares e padronizados.

Dentre estes, a classificação utilizada, baseia-se no trabalho desenvolvido por Lawson (2007), que define os seguintes sistemas:

• Sistemas modulares fechados:

Geralmente, consistem em módulos uniformes que podem ser montados e acoplados, promovendo algumas variações arquitetônicas de grande impacto. Este sistema limita as modificações de seu aspecto exterior (Figura 27) (FREITAS, 2014).



Figura 27 Sistema modular fechado

Fonte: Lagram (2019).

• Sistemas modulares parcialmente abertos:

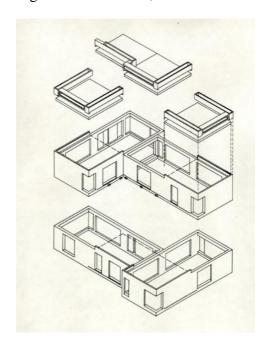
Similar ao sistema mencionado no tópico anterior, este se difere apenas por permitir a interligação entre blocos, possibilitando conexão entre eles (Figuras 28 e 29).

Figura 28 Sistema modular parcialmente aberto: Habitat 67, Canadá



Fonte: ArchDaily (2012).

Figura 29 Habitat 67, Canadá



Fonte: ArchDaily (2012).

• Sistemas modulares abertos:

De acordo com Freitas (2014), comumente são módulos parcial ou completamente abertos, sendo apenas compostos por sistemas verticais (pilares), laje de pavimento e cobertura, conforme percebe-se na Figura 30.



Figura 30 Sistema modular aberto

Fonte: Vitruvius (2015).

• Sistemas construtivos de elementos modulares:

Esses sistemas não se baseiam na construção de módulos, mas sim na padronização de diversos elementos construtivos que permitam conectividade no local, por meio de encaixes predeterminados (Figura 31).



Figura 31 Sistemas construtivos de elementos modulares

Fonte: Mabc (2020).

Sistemas mistos ou híbridos:

Não ocorre a classificação total nos sistemas acima mencionados e utiliza diversas soluções no projeto da edificação (Figura 32).



Figura 32 Sistema modular misto ou híbrido

Fonte: Soluções industriais (2020).

4.1.1 Função da tecnologia na modulação de hospitais

De acordo com Generalova, Generalov e Kuznetsova (2016), a instalação de edifícios modulares é econômica, segura e ecológica. Além de possibilitar a diminuição do tempo de concepção e engenharia do projeto, ainda reduz custos e melhora a produtividade da construção. O sistema construtivo modular é amplamente utilizado em edifícios de baixa altura, com diferentes funcionalidades — desde escritórios, casas, armazéns, etc. No entanto, nos últimos anos, o sistema construtivo modular tem sido experimentado em edifícios com diversos andares e até mesmo em arranha-céus. A construção modular combina várias tecnologias baseadas em princípios de construção ágeis.

Para Nessen (2005), o termo 'modular' remete a unidades autônomas que permitem ser conectadas e desconectadas umas das outras ou ainda de elementos com escala superior em um todo, exigindo reestruturação mínima. Tendo, desta forma, a finalidade de dar suporte a todas as possibilidades de flexibilidade e funcionalidade de forma eficiente de que uma unidade hospitalar necessita. Por essa razão, o autor realizou uma pesquisa chamada 'O hospital cirúrgico móvel modular: futura unidade de ação do departamento do exército médico' (Figura 33 e Figura 34), objetivando a avaliação de eficiência de uma edificação hospitalar, bem como buscou definir se essa unidade é planejada para proporcionar a possibilidade de uma construção móvel e modular que pode ser facilmente adaptada a vários requisitos (AMEDD, 2004).

Figura 33 A 212ª instalação de tratamento médico MASH de nível III em apoio às operações ofensivas durante a operação "Iraqi Freedom" em março de 2003



Fonte: NESSEN (2005 apud AMEDD, 2004).

Figura 34 O 47º Hospital de Apoio de Combate configurado como um hospital de 296 leitos no Kuwait durante a operação "Iraqi Freedom I" em 2003



Fonte: NESSEN (2005 apud AMEDD, 2004).

Com este estudo, Nessen (2005) almejava que os resultados revelassem modelos de unidades que permitissem maior flexibilidade em desdobramento e que proporcionassemmais facilidade no quesito deslocamento, fornecendo, assim, aos comandantes, versatilidade para planejar missões específicas usando conceitos modulares — o que facilitaria para os comandantes médicos ao executarem seu trabalho. Salienta-se que tratamentos de saúde eficientes e disponíveis perto do campo de combate proporcionam maiores índices de sobrevivência, assim como a queda em índices de morbilidade por ferimentos. Desta forma Nessen (2005) ressalta que se deve buscar a melhorias dos modelos edificados no suporte à

4.2 Hospitais modulares

O Sistema de Construção Modular (MBS) é uma estratégia emergente de construção através de unidades pré-fabricadas, transportadas e montadas no local; neste processo, a etapa mais significativa é a fase projetual (RAJANAYAGAM *et al.*, 2021). Diversos hospitais expandiram sua capacidade de atendimento por meio de edificações modulares, a exemplo disto, pode-se citar o hospital Wuhan Leishenshan, na China. Trata-se de um hospital de caráter emergencial, construída em 10 dias (Figura 35), destinado ao tratamento de pacientes diagnosticados com a nova pneumonia infectada por coronavírus (NCIP) (CHEN *et al.*, 2021).



Figura 35 Construção do Hospital Wuhan Leishenshan, China

Fonte: Xinhua/Li He(2020).

A técnica construtiva do hospital utilizou BIM em fase de projeto, bem como o uso de elementos modulares ao máximo, reduzindo, desta forma, a carga de trabalho das operações de campo e reduzindo o tempo de construção. Ademais, fez-se uso de análises de dados dos veículos aéreos não tripulados (VANTs); e na plataforma de aplicação, utilizou a digitalização e a inteligência na construção de engenharia como táticas de aprimoramento (CHEN *et al.*, 2021). Para alcançar eficiência máxima, simultaneamente ocorreu a construção no local e o içamento geral. Além desta edificação, muitas outras foram pensadas e materializadas desta forma, que é o caso dos hospitais brasileiros construídos pela Brasil ao Cubo (BR3).

4.3 Hospitais construídos pela Brasil ao cubo

Segundo a Brasil ao Cubo, empresa responsável pela execução do Hospital Independência, foram realizados até o presente momento cinco unidades hospitalares em arquitetura modular – sendo eles:

 Hospital M'boi Mirim (Figura 36): Localizado em São Paulo, SP – o tempo para projeto, fabricação, transporte, instalação e montagem foi de 33 dias;



Figura 36 Hospital M'boi Mirim

Fonte: Uol (2020).

 Hospital Independência (Figura 37): localizado no município de Porto Alegre, RS – o tempo para projeto, fabricação, transporte, instalação e montagem foi de 30 dias;



Figura 37 Hospital Independência

Fonte: Gaúcha ZH (2020).

 Hospital da Retaguarda (Figura 38): localizado emSão José dos Campos, SP – o tempo para projeto, fabricação, transporte, instalação e montagem foi de 34 dias;

Figura 38 Hospital da Retaguarda



Fonte: G1 – Globo (2020).

 Hospital Regional (Figura 39): localizado na cidade de Ceilândia, DF – o tempo para projeto, fabricação, transporte, instalação e montagem foi de 35 dias;

Figura 39 Hospital Regional



Fonte: Secretaria de Saúde do Distrito Federal (2020).

• Hospital Cemetron (Figura 40): localizado em Porto Velho, RO – o tempo para projeto, fabricação, transporte, instalação e montagem foi de 35 dias.

Figura 40 Hospital Cemetron



Fonte: JBS (2020).

A Brasil ao Cubo iniciou suas atividades no ano de 2016, *Startup* destinada a transformar processos e gerar valor através de uma construção que utiliza tecnologia ao seu favor, classificando-se, assim, como uma Construtech. A especialização da empresa é gerir obras de forma rápida e eficiente e atualmente possui 150 obras entregues, mais de 500 módulos fabricados, com atendimentos em 13 estados. O método utilizado é *off-site* (Figura 41); tratase de uma metodologia em que a obra não acontece no terreno em que o empreendimento será localizado. Esta ocorre em um parque fabril, permitindo maior controle de processos e materiais. Segundo a empresa, os módulos são entregues prontos para serem utilizados em tempo ágil, transportados por carretas prancha, para posteriormente serem colocados dentro do terreno desejado, através de guindastes juntamente com toda a parte elétrica, hidráulica, ar condicionado instalado, cabeamento de TV e, opcionalmente, com a decoração interna (CUBO, 2020).

Figura 41 Sistema off-site



Fonte: Brasil ao Cubo (2020).

As edificações hospitalares representam um dos programas mais complexos a ser atendido pela composição arquitetônica, pois trata-se de construções multifacetadas (GÓES, 2004). Vê-se que a tecnologia tem o poder de facilitar isto e ainda acelerar os processos construtivos, seja em sua fase de planejamento – por meio das ferramentas utilizadas em para projetar (a exemplo disto, cita-se a tecnologia BIM), seja em fase de execução – que é o caso de construções elaboradas por meio de arquitetura modular. Em situações de caráter emergencial, como é o caso da pandemia causada pelo SARS-CoV-2, torna-se essencial que estudos e pesquisas sejam desenvolvidos sobre a temática, com o objetivo de que projetos com caráter emergencial sejam cada vez mais eficientes.

Conforme Paroli (2019) menciona, em uma configuração urbana as pessoas não se locomovem na cidade de forma aleatória. Assim, sabe-se que o objeto de estudo possui influência regional por estar próximo a outras cidades e tratar-se de um local de atendimento especializado no tratamento da COVID-19; sua inserção provoca maior fluxo de pessoas no entorno. Logo, é fundamental que se compreenda o meio em que a edificação está inserida. Afinal, é essencial que se perceba a cidade não apenas como contexto, mas principalmente com meio promotor de interações sociais (PAROLI, 2019).

CAPÍTULO V: EDIFICAÇÃO, ESCALA URBANA E ANÁLISE DE VENTILAÇÃO EXTERNA NAS PROXIMIDADES DO OBJETO DE ESTUDO

Arquitetura deve falar de seu tempo e lugar, porém anseia por ser atemporal. As cidades têm que ter ícones. Bibliotecas, hospitais, museus. Dentro de 100 anos, as pessoas os verão e dirão: 'O que é isso?'. E pensarão: É arte. (Frank Gehry)

Ao avaliar um projeto arquitetônico, deve-se ponderar seu raio de influência perante o meio em que este se insere. Para tanto, é imprescindível que ocorram análises em escala macro e micro, entendendo o ambiente para posteriormente compreender como a inserção de uma edificação pode ou não alterá-lo. Trata-se de um modo de sociologia urbana, buscando compreender como uma cidade se prepara antes da concepção de um novo edifício (RAEVSKIKH, 2018). Quando edificações de grande impacto já se encontram presentes na centralidade urbana, não é possível realizar análises de maneira antecedente. Contudo, pode-se observar sua influência na cidade de modo geral, que assim como a região do município é afetada pela existência de tais locais.

Com fundamento nos argumentos a cima, reforça-se a importância da realização de estudos relacionados ao impacto de edificações em seu entorno, especialmente quando estas exercem papel de importância regional, como é o caso do Hospital Independência — localizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Sendo assim, esta etapa objetiva avaliar a relação do hospital com seu entorno, com o intuito de compreender como o hospital interfere em na área e identificar os espaços livres públicos no local, por meio dos seguintes tópicos: edificação e escala urbana; a cidade como cenário de interações relação do hospital com o entorno; relação do hospital com o entorno. Os dois primeiros como fase introdutória às análises de ventilação que foram apresentadas no último tópico deste capítulo. Já o último contém a explanação de como ocorreu desde a seleção das ferramentas utilizadas, paraposteriormente relacionar as condições iniciais de simulação e finalizar com a apresentação dos resultados obtidos em relação aos resultados obtidos de ventilação natural neste estudo com base em simulação computacional.

5. Edificação e escala urbana

Para Grostein (2001), o processo de urbanização, sua escala e velocidade, não compõem um problema em si, exceto pela maneira que essa se sucede. Desta forma, é imprescindível que se esteja vigilante quanto a esse processo, afinal, o avanço sustentável do adensamento urbano/metropolitano, como elemento físico-urbanístico, interliga-se com os aspectos a seguir: a forma de ocupar o território; a disponibilidade de insumos para seu funcionamento; a descarga de resíduos (destino e tratamento de esgoto e lixo); o grau de mobilidade da população no espaço urbano (qualidade do transporte público); a oferta e o atendimento às necessidades da população por moradia, equipamentos sociais e serviços e a qualidade dos espaços públicos. Tendo isso em vista, ressalta-se a importância das políticas que sustentam o parcelamento, uso e ocupação do solo, bem como as práticas urbanísticas que viabilizam estas ações da população sobre o ambiente (GODOY, 2009).

Ao mencionar espaços externos públicos, ressalta-se que é característica do processo de urbanização sua escala e concentração (GODOY, 2009). Afinal, as cidades estão repletas de novas edificações sendo construídas, podendo estas serem grandes empreendimentos ou habitações populares. Deve-se lembrar de, também, que um dos fatores considerados ao mensurar o desenvolvimento de uma determinada região é a quantidade de obras que o município apresenta. Tais intervenções encontram-se ligadas de maneira direta à construção de uma edificação e ao seu tempo de vida útil, impactando de maneira direta o meio em quese encontram as pessoas e modificando o entorno e as características físicas e culturais das cidades (SOUZA, 2016).

De acordo com Jacobs (1961), é o rico acervo e variedade de elementos que compõem as cidades e assim dão vida à paisagem urbana. Portanto, é fundamental que se analise a influência da edificação (Hospital Independência) no local em que se encontra. O objeto de estudo está localizado na Avenida Antônio de Carvalho, nº 450, do bairro Agronomia. Seu entorno é arborizado e próximo ao ponto mais alto de Porto Alegre (Morro Santana), contando com diversos pontos de lazer e comércio. Com a finalidade de que se reproduzisse na modelagem o relevo do local, realizou-se uma análise topográfica por meio do *software* QGis 3.10 (Figura 42), utilizando a base de dados do Google.

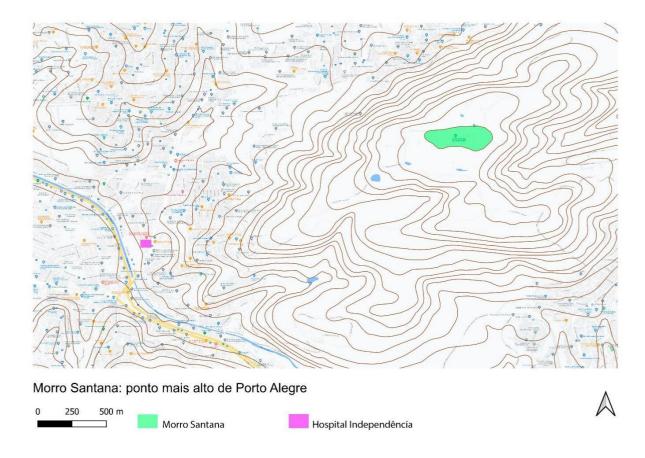


Figura 42 Localização do Hospital Independência em relação ao Morro Santana

Fonte: Adaptado do banco de dados do Google (2021).

As localizações são notáveis de acordo com a ancoragem das interações entre osseres, e estas interações estabelecidas no tempo e no espaço acabam por definir a natureza da cidade (JACOBS, 1961). Partindo do pressuposto de que o objeto de estudo se trata de uma edificação com caráter de influência regional, torna-se imprescindível que ocorram análises relacionadas ao entorno em que este se insere.

5.1 A cidade como cenário de interações

A existência das cidades em diferentes formas e disposições são artefatos de encantamento para pesquisadores e estudiosos, outrossim, são parte crucial da civilização humana, podendo serem consideradas como motores de potencial desastre, como também a solução para os problemas da humanidade. Sendo assim, torna-se essencial a compreensão de sua dinâmica, o entendimento sobre seu crescimento e evolução de maneira quantitativa e prevista cientificamente. Ainda que ocorra inconstância relacionada a suas formações,

estudos revelam certa regularidade em cidades que respeitam leis de escala, em que há harmonia na repetição de padrões em divergentes proporções (BETTENCOURT; WEST, 2010). Potencialmente, tal regularidade estaria vinculada aos efeitos gerados devido ao relacionamento entre agentes urbanos (BATTY, 2012; BETTENCOURT, 2013).

Para Jacobs (1961), a cidade é vista como consequência das interações pessoais, segundo a autora; o oposto da interação de usos e da unidade funcional é a monotonia. Desta forma, a cidade é composta também pelos problemas e interações daqueles que a utilizam, sendo, assim, denominadas redes sociais maciças e, portanto, como sistemas complexos. Afinal, as localizações são notáveis de acordo com a ancoragem das interações entre os seres, e estas interações estabelecidas no tempo e no espaço acabam por definir a natureza da cidade. São em distritos vivos e com diversidade que surgem as centralidades de atividades, por conseguinte, favorecendo e fortalecendo a identidade do distrito, da localidade. Logo, é necessário instalações comerciais e culturais, não deixando de lado as barreiras físicas dispostas ao longo da malha urbana. A exemplo disto, pode-se citar cursos d'água, linhas férreas, parques extensos, tráfego intenso, agrupamentos institucionais em demasia, entre outros – que prejudicam direta ou indiretamente a interação de usos (JACOBS, 1961).

Em se tratando de sistemática das cidades, de acordo com Bettencourt e West (2010), há três características determinantes que variam sistematicamente com a população: primeiramente, o espaço necessário per capita diminui, devido ao assentamento mais denso e à utilização mais intensa da infraestrutura urbana; posteriormente, acelera-se o ritmo de toda atividade socioeconômica, elevando, desta forma, a produtividade; também se destaca as atividades econômicas e sociais, que se diversificam e se tornam mais interdependentes, gerando, assim, um processo de diversificação econômica e expressão cultural.

Levando em consideração as reflexões anteriores acerca de como ocorrem as interações pessoais, tendo as cidades como cenário, ou ainda as interações entre os elementos que compõe o meio urbano, salientam-se que, conforme Jacobs (1961) menciona, os locais secaracterizam de acordo com a dinâmica de atividades nele executadas. Sendo assim, é crucial que se compreenda a relação do objeto de estudo com seu entorno.

5.2 Relação do hospital com o entorno

Segundo Paroli (2019), as pessoas não se deslocam de maneira aleatória. Conquanto que cada um procure suprir suas inevitabilidades e desejos, o ser humano está sujeito à rede urbana, controlando apenas sua locomoção nos espaços que esta permita. Outrossim, a cidade dispõe de elementos atratores de população. A exemplo disto, pode-se citar a oferta de

serviços e comércio, a demanda de empregados, instituições educacionais e pontos de lazer. Desta forma, nas direções percorridas pelas pessoas, estes encontram outros sujeitos, criando, reforçando e desfazendo relações, sem compreender muitas vezes que tais encontros são impulsionados pelo próprio local.

Quando mencionadas mudanças no perímetro urbano, deve-se considerar ainda que pesquisas e estudos desenvolvidos na área da climatologia urbana permitem, por exemplo, o entendimento alusivo à influência das modificações no uso do solo, sua relação com a temperatura da superfície, o impacto da geometria urbana no conforto térmico e qualidade do ar em áreas urbanas (KRÜGER *et al.*, 2011). Com a finalidade de conhecer melhor o local, foram realizados mapeamentos que permitiram compreender um pouco mais a relação da edificação hospitalar com seu entorno. Conforme se pode observar na Figura 4, a região possui forte adensamento urbano, com espaços livres predominantes nas vias de trânsito e áreas verdes (Figura 43).



Figura 43 Mapa Nolli

De acordo com a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM) (2021) de Porto Alegre, a capital gaúcha é considerada uma das capitais com maiores índices de arborização do Brasil e destaca-se com bom índice de área verde por habitante. A Secretaria afirma que a cidade conta com aproximadamente de 1,3 milhão de árvores apenas nas vias públicas e considerando apenas as áreas verdes municipais, Porto Alegre possui 14,78 m² de área verde por habitante. Levando-se em conta as áreas verdes estaduais e federais, o índice sobe para 49 m². Deve-se lembrar que para a Organização Mundial de Saúde (OMS), 12 m² de área verde por habitante é o mínimo recomendado.

Em relação às áreas verdes municipais (Figura 44),a capital conta com 608 praças (4.522.344 m²) — sendo a praça Leda Schneider a mais próxima ao Hospital Independência, localizada na Rrua Prof. Guerreiro Lima, 1014, bairro Partenon — estão ainda próximas ao local as praças: Clio Fiori Duck, Coronel Tristão José da Fraga, Universidade, Darcy Azambuja, Dr. Samir Sequeff, Javob Edmundo Weissheimer, Pericles Flores e Jardim das Oliveiras; 354 áreas verdes complementares (977.581 m²); 9 parques (2.548.067 m²) e 3 unidades de conservação (13.191.327 m²). Sobre as áreas verdes estaduais presentes na cidade, menciona-se o Parque Estadual Delta do Jacuí (44.230.000 m²)e o Jardim Botânico (430.000 m²). Já ao mencionar área federal, Porto Alegre conta com a Reserva Ecológica do Morro Santana (UFRGS), com área de 3.500.000 m².



Figura 44 Mapa de áreas verdes

Ao mencionar-se o Morro Santana, deve-se ressaltar que se trata do ponto culminante da cidade, com altitude igual a 311m (Figura 45). Este encontra-se a 12 km de distância do centro da cidade, entre os paralelos 30° 02' 14" e 30° 04'

45" S e meridianos 51° 06' 33" e 51° 08' 35" E. Com relação à malha urbana, tem como limites a Av. Protásio Alves ao Norte, o município de Viamão a Leste, a Av. Bento Gonçalves ao Sul e a Av. Antônio de Carvalho a Oeste; ocupa uma área de 1000ha, dos quaiscerca de 600ha pertencem à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (SOUZA, 2008).



Figura 45 Morro Santana: 311m de altitude

Fonte: Acervo pessoal de Carlos Alberto Steil (2021).

Segundo Souza (2008), sua vegetação é característica de Campo Sulinos, na encosta norte, noroeste e no topo do morro em aproximadamente 200ha; o local é ainda o divisor de águas de três sub-bacias hidrográficas, sendo elas as nascentes dos arroios Dilúvio, Feijó e Passo das Pedras. Sendo assim, o Morro Santana é constituído como a unidadegeomorfológica atual de maior cobertura vegetal nativa. Segundo Souza (2008), o local simboliza uma área importante para Porto Alegre pelo seu relativo grau de conservação em meio à malha urbana, já que se deseja implementar uma Unidade de Conservação da Natureza (UC) nos 321,12ha pertencente a UFRGS.

Apesar disto, há ocupações irregulares no local (Figura 46), principalmente em zonas de encosta, agravando ainda mais problemas como o desmatamento, expondo o solo e acentuando processos erosivos e de desmoronamentos de terra (SOUZA, 2008). Menciona-se ainda a poluição dos afluentes do arroio dilúvio, pelo esgoto e lixo residencial depositados em lugares inapropriados (Figura 47).



Figura 46 Ocupações irregulares no Morro Santana

Fonte: Google Earth (2008)



Figura 47 Ocupações irregulares no Morro Santana.

Fonte: Google Earth (2008).

De acordo com Maricato (2015), esse tipo de urbanização contempla implicações jurídicas, econômicas, políticas e culturais – não apenas para os moradores dessas áreas, mas para a cidade em linhas gerais. Notam-se, assim, problemas relacionados à moradia da população residente do local, por se tratarem de ocupações irregulares (Figura 48) – ocorre falta de infraestrutura urbana na região. Residir em uma área irregular compromete não apenas a estrutura das residências em si, como também ocasiona problemas sanitários e consequentemente interfere de maneira direta na qualidade de vida das pessoas (MARICATO, 2015).

Google Earth

Figura 48 Ocupações irregulares no Morro Santana

Fonte: Google Earth (2008).

O Morro Santana ocupa aproximadamente 1000 ha, dos quais 600 são pertencentes à Universidade Federal do Rio Grande do Sul – desses, 321,12 há compõe o Refúgio de Vida Silvestre, e está situado a 12 quilômetros de distância do centro da cidade; faz limite com as avenidas Protásio Alves ao norte, Bento Gonçalves ao sul, Antônio da Carvalho ao leste, e o município de Viamão a oeste, entre os paralelos 30° 02' 14"e 30° 04' 45" S e meridianos 51° 06' 33" e 51° 08' 35" (Figura 49) (UFRGS, 2021) e é considerado uma das principais fontes de ar fresco da cidade de Porto Alegre (MENEGAT, 1998).



Figura 49 Morro Santana: escalada

Fonte: Acervo pessoal de Carlos Alberto Steil (2021).

Devido à geomorfologia do local – que acarreta em divergências microclimáticas –, ocorre a formação vegetal variada, agregando, desta forma, a biodiversidade da área (UFRGS, 2021). Segundo a UFRGS (2021), o local abriga um mosaico vegetal composto por campos, capoeiras e florestas, visto que há 168 espécies de plantas já registradas nas áreas de floresta, 178 espécies de plantas nas áreas de campo e 99 espécies de aves registradas. A região é também utilizada como rota para trilhas, escaladas e outras atividades (Figura 50).

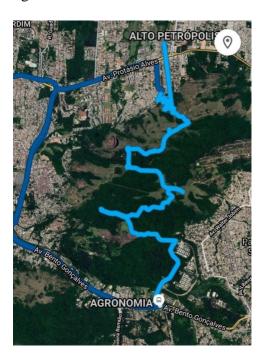


Figura 50 Morro Santana: rota de trilha

Fonte: Acervo pessoal de Carlos Alberto Steil (2021).



Figura 51 Morro Santana: grupo realizando trilha

Fonte: Acervo pessoal de Carlos Alberto Steil (2021).

Com relação ao uso do solo (Figura 52), observa- se a predominância de edificações residenciais (na cor azul), seguindo por edificações de uso comercial (em rosa), institucionais (como escolas, creches, instituições de ensino, Academia da Polícia Civil, entre outros, de cor roxa), de saúde (incluindo o Lar de Santo Antônio dos Excepcionais, posto de saúde e edificações hospitalares, na cor verde) e de cunho religioso (laranja). Percebe-se maior adensamento na área próxima ao Morro Santana, onde selocalizam loteamentos irregulares.

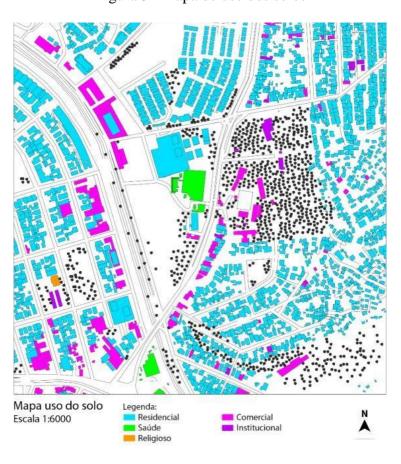


Figura 52 Mapa de uso dos solos

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Sobre o trânsito nas proximidades ao objeto de estudo (Figura 53), a Avenida Ipiranga, a Avenida Antônio de Carvalho e a Avenida Bento Gonçalves demarcam as vias arteriais da localidade, sendo as demais todas vias coletoras. Deve-se mencionar também a existência de vias informais nos loteamentos irregulares. Há a presença de diversas faixas para pedestres e paradas de ônibus, mas apenas nas vias principais e algumas coletoras; quanto a ciclovia, esta encontra-se na Avenida Ipiranga, interrompendo-se na conexão com a Avenida Antônio de Carvalho.

Figura 53 Mapa viário

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Pode-se perceber que, quanto à localização o hospital, insere-se bem em seu entorno, afinal, possui bom acesso viário – com ruas largas e com a presença de diversas faixas para pedestres e paradas de ônibus para transporte público nas vias principais – havendo falta de tais recursos nas proximidades ao Morro Santana, onde há diversas ocupações irregulares. Com relação ao fluxo de veículos, percebe-se maior intensidade na Avenida Ipiranga e Avenida Antônio de Carvalho (via de acesso à edificação) (Figura 53).

Há forte presença de edificações com uso comercial na localidade, bem como áreas públicas livres para lazer, sendo a mais próxima ao Hospital Independência a praça Leda Schneider, localizada na Rua Prof. Guerreiro Lima, 1014, bairro Partenon. Estão próximas também as praças: Clio Fiori Duck, Coronel Tristão José da Fraga, Universidade, Darcy Azambuja, Dr. Samir Sequeff, Javob Edmundo Weissheimer, Pericles Flores e Jardim das Oliveiras.

Sobre o uso das edificações no entorno, nota-se que a grande maioria é destinada auso residencial, seguindo-se por construções comerciais e, posteriormente, locais para tratamentos de saúde – destaca-se ainda além do Hospital Independência, o Lar de Santo Antônio dos Excepcionais (localizado na Avenida Antônio Carvalho, nº 105 e a Unidade de Saúde São Carlos, localizado na Avenida Bento Gonçalves, nº 6670). Como edificações institucionais, pode-se citar a Academia da Polícia Civil – Acadepol (localizada na Avenida Antônio de Carvalho, nº 555) –, como também escolas e instituições de ensino. Há também, em sua minoria, a presença de algumas edificações com uso de cunho religioso.

Por um lado, maioria dos espaços livres é referente às áreas verdes, com grande presença de cobertura vegetativa no solo e arborização. Por outro lado, há grande adensamento de residências em mata preservada nas proximidades do Morro Santana. A importância deste tópico consiste na verificação de elementos relevantes na malha urbana local e, desta forma, contribui para melhor compreensão da dinâmica do entorno do Hospital Independência e sua relação com o entorno.

5.3 Análise de ventilação do entorno

Desde o início da pandemia causada pelo SARS-CoV-2, algumas das recomendações de médicos e pesquisadores da área é de que a população preste atenção na lavagem das mãos, mantendo o distanciamento social e que se tome precauções devido ao contágio por meio de gotículas (MORAWSKA; MILTON, 2020). O contágio viral através de microgotas epartículas transportadas pelo ar (ditas como 'aerossóis', ≤1 μm) tem se destacado de maneira notável (CAO, 2020; DOMINGO *et al.*, 2020; HADEI *et al.*, 2020; KLOMPAS *et al.*, 2020; MORAWSKA). Klompas *et al.* (2020) salientam a importância de um espaço com ventilação

natural adequada, considerando que a exposição de um indivíduo infectado a um espaço mal ventilado propicia que quantidades insignificantes de aerossóis carregados de vírus se acumulem. Além disso, de acordo com Morawska e Milton (2020), há relevância de ambientes com ventilação satisfatória e eficiente para fornecer limpeza ao ar externo em espaços públicos e, desta forma, retardar a propagação do vírus.

Quando mencionadas mudanças no perímetro urbano, deve-se considerar que pesquisas e estudos desenvolvidos na área da climatologia urbana permitem, por exemplo, o entendimento alusivo à influência das modificações no uso do solo, sua relação com a temperatura da superfície, o impacto da geometria urbana no conforto térmico e qualidade do ar em áreas urbanas (KRÜGER *et al.*, 2011). De acordo com Mora-Pérez *et al.* (2015), estratégias de ventilação natural são relativas à localização de cada edifício. Por este motivo,

o presente estudo aborda uma análise de entorno imediato ao Hospital Independência e seu anexo. Mora-Pérez *et al.* (2015) afirma que para a avaliação de melhorias no desempenho da ventilação natural de uma edificação, é indispensável que ocorram análises sobre a influência da localização, bem como das construções circundantes nos caminhos de fluxo do vento no entorno da edificação.

Para Mora-Pérez *et al.* (2015), deve-se utilizar de recursos disponíveis através de ferramentas computacionais, que é o caso das análises realizadas por simulações em *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Os autores ainda ressaltam que os modelos CFD são ideias para representar tanto espaços internos quanto externos. De acordo com Olenkov *et al.* (2019), a utilização de simulações durante a fase de projeto permite reduzir consideravelmente os custos de reparar falhas e acelera a melhoria de complicações, afinal, a apresentação de maneira clara das evidências é algo que se deve considerar como critério significativo durante o processo de escolha dos métodos e do *software* de simulação. SegundoOlenkov *et al.* (2019), o emprego de metodologias modernas, incluindo a visualização de dados CFD em tempo real, pode facilitar a compreensão dos resultados das análises para pessoas que não são profissionais da área.

5.3.1 Seleção do software

Para esta etapa da pesquisa (simulações no entorno da edificação), o *software* escolhido para as simulações desta etapa foi o *Autodesk Flow Design*. Segundo Olenkov *et al.*(2019), esta ferramenta proporciona testes de forma ágil e simples; além disto, o programa também é recomendado no estudo de Souza et al. (2016) por ser intuitivo e de *interface* simplificada.

O Autodesk Flow Design possibilita a visualização de resultados em plano de corte, bem como a demonstração tridimensional com representação dos fluxos de ar através de diversos meios de representação gráfica. Este software está relacionado à categoria meshless. A visualização é apresentada em forma plana de corte, objetivando a obtenção de maiores detalhes relacionados ao raio imediato da edificação e em perspectiva isométrica para uma compreensão de maneira geral do entorno. A metodologia aplicada nesta etapa é sugerida no estudo de Olenkov, Lazareva e Biryukov (2019). Portanto, a simulação é realizada de acordo com a seguinte logística: 1) modelagem de massa poligonal na escala original; 2) importação do modelo no programa; 3) ajustes de parâmetros do túnel de vento virtual de acordo com a velocidade fornecida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (enquanto que a

velocidade recomendada pelos autores é 6 metros por segundo) e 4) estabelecer condições iniciais, ajuste de dimensão da área amostrada. Segundo Olenkov, Lazaareva e Biryukov (2019), não é fundamental que se sigam os requisitos alusivos ao tamanho da área de cálculo de acordo com ANSYS, ademais, recomenda-se manter distâncias significativas no entorno do modelo, a fim de reduzir o embate nas áreas limite.

5.3.2 Condições iniciais da simulação

Antecedendo as simulações propostas na etapa III, utilizou-se o *software Sketchup 2019* para fins de modelagem do entorno (Figura 54).

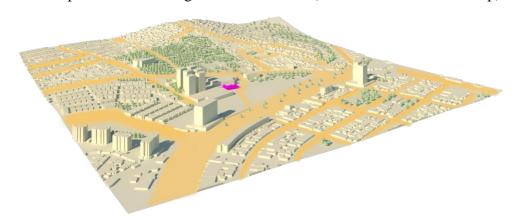


Figura 54 Perspectiva da modelagem 3D do entorno (ainda no software Sketchup)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Conforme mencionado anteriormente, o modelo foi construído a partir da análise topográfica realizada com o *software QGis 3.10*, em que foi possível verificar a existência do ponto mais alto de Porto Alegre no entorno do hospital (a distância aproximada do objeto de estudo é de 2km). Posteriormente, exportou-se a modelagem no formato 3ds do programa inicial e, assim, utilizando o *Autodesk Flow Design* importou-se o modelo. Considerou-se que a velocidade do vento em Porto Alegre costuma variar entre 5 e 10 km/h (1,4 e 2,8 m/s) (Figura 55) (INMET, 2016; Meteoblue, 2021). Portanto,as condições iniciais de simulação no *software Flow Design* contam com a velocidade média de ventilação natural igual a 2,1 m/s com orientação nordeste – paralelamente, a velocidade adotada nas simulações de ventilação natural em ambiente interno ao objeto de estudo.

5.3.3 Resultados e discussão

Com a finalidade de simplificar a compreensão de como a ventilação é no entorno do Hospital Independência, utilizou-se a ferramenta '*Plan*' (Figura 55), em que o corte está alocado interseccionando a edificação e, posteriormente, *Surface Pressures* (Figura 56), permitindo, desta forma, que se visualize a pressão presente na superfície das edificações presentes no entorno, quandoem contato com a ventilação.

Velocity (in v)

3.764

3.203

3.605

3.605

1.884

9.004 pp.

1.88 pp.

1.8

Figura 55 Análise de ventilação no entorno: local onde está alocado o plano de corte

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

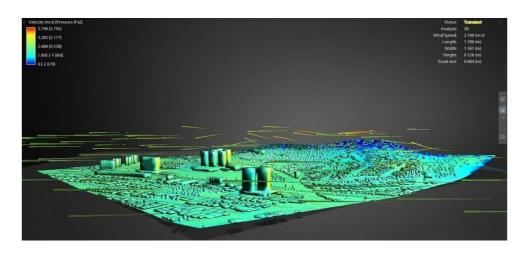


Figura 56 Análise do entorno: Superfícies em contato com a ventilação

Ambas as opções fornecem resultados utilizando a mesma legenda e localizam-se na parte superior da *interface* do programa (Figura 57).

Figura 57 Interface parcial do software Flow Design



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Já na primeira amostragem é perceptível a influência das edificações em altura presentes na localidade. Percebem-se maiores níveis de ventilação em que o relevo é mais acidentado (2.624 m/s e 3.214 m/s); em maior altitude os índices se mantêm entre 1.856 m/s e 2.624 m/s, enquanto que na camada próxima as edificações há locais em que se registram velocidade nula (=0). Ressalta-se também que em decorrência à insolação diurna na superfície da edificação, dá-se o engrossamento da camada limite urbana, afinal, os ventos na face do prédio mesclam-se cada vez mais aos ventos de altitude (BATCHELOR, 2000). De acordo com Arakeri e Shankar (2000) esta camada em que ocorre o atrito da superfície, desacelerando o vento e modificando, assim, a orientação do fluxo, é definida como a UBL conforme se percebe nas Figuras 58 e 59 (edificação destacada na cor *pink*).

Figura 58 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte

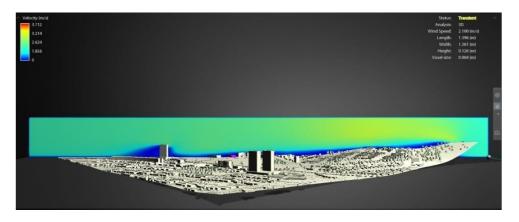


Figura 59 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Batchelor (2000) sugere que durante o período noturno ocorra o aumento do cisalhamento de vento vertical como consequência da dissociação dos ventos na parte mais alta da UBL devido ao resfriamento radiante. Segundo Batchelor (2000), tanto líquidosquanto gases, por se tratarem de fluidos, podem fluir para dentro de uma edificação de duas maneiras diferentes, sendo estas: laminar e/ou turbulenta. Menciona-se fluxo laminar, quandohá fluxo de fluido que está fluindo em camadas paralelas sem interrupções entre eles. Desta forma, os fluidos propendem a permanecer em seu caminho sem que haja a combinação de camadas laterais em baixas velocidades. Quando há ausência de correntes verticais, tais como redemoinhos ou turbilhões por meio da corrente principal, presume-se que ocorra fluxo laminar. Neste caso, as partículas movem-se de forma regular e paralela as partículas mais próximas, deslocando-se sobre a superfície sólida (Figura 60).

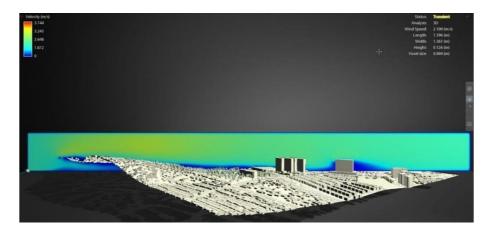


Figura 60 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte

Embora autores como Morawska (2006) afirmem que a disseminação de infecções respiratórias virais ocorra por contato direto (superfícies, toque ou gotículas contaminadas pelo vírus), há quem diga que as partículas virais podem permanecer estáveis por um período de dias (VAN DOREMALEN et al. 2020). Em relação à transmissão do vírus no ar, no momento em que um indivíduo contaminado espirrar, imediatamente, o conteúdo líquido presente nas gotículas começa a evaporar e algumas destas tornam-se tão pequenas que acontece o deslocamento por meio da corrente de ar (MORAWSKA et al., 2009). Desta maneira, é preocupante a situação de quem transita no entorno imediato da edificação, não somente nesta unidade hospitalar, como também nas demais que realizam o tratamento de pessoas contaminadas pelo SARS-CoV-2. Afinal, pode ocorrer a sua propagação. Destaca-se também que o objeto de estudo está localizado próximo a condomínios residenciais e áreas verdes – locais onde há grande fluxo e/ou permanência de pessoas (Figura 61, Figura 62 e Figura 63).

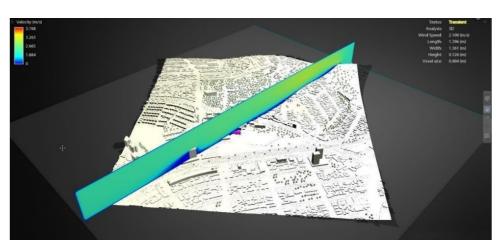


Figura 61 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

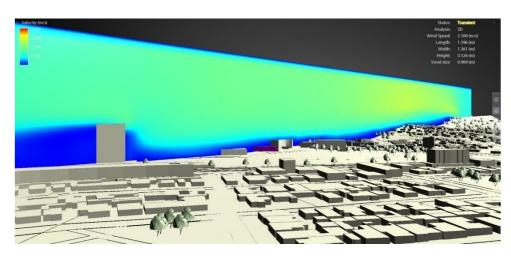
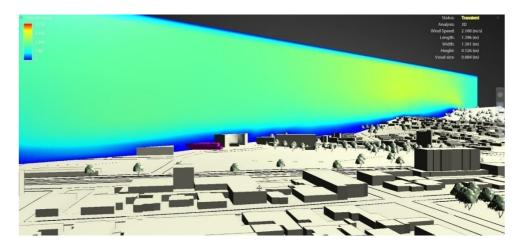


Figura 62 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte

Figura 63 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Segundo Zorzi *et al.* (2021), é preciso estar atento a diversos fatores, pois ocorre a variação de padrões e velocidade da ventilação conforme a estação do ano e condições meteorológicas. Para Tavares (2009), ao se coordenar uma avaliação relacionada a dispersões atmosféricas, é necessário considerar que tal processo depende, principalmente, do relevo da localidade analisada, bem como da morfologia encontrada no terreno e das condições meteorológicas. Consequentemente, considera-se como um destes agravantes a topografia do local, que conta com a existência do ponto mais alto da capital gaúcha em sua proximidade, interferindo desta forma na ventilação (Figura 64).

Figura 64 Morro Santana: ponto mais alto de Porto Alegre

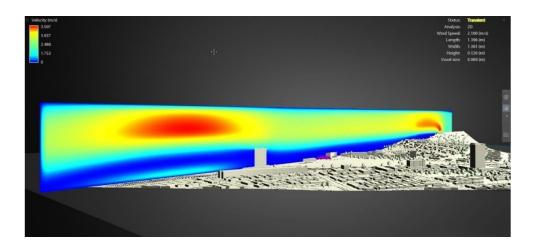


Fonte: acervo de Carlos Alberto Steil (2021).

As variações de resultado ocorreram de forma similar umas às outras na camada próxima as edificações – com os menores índices registrados, enquanto que o túnel de vento

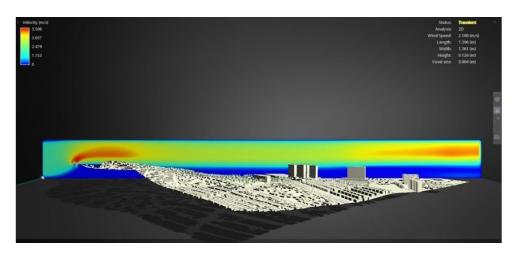
virtual simulou maiores índices de velocidade em altitudes maiores na segunda simulação, chegando a 3.507 m/s nas regiões representadas pela cor vermelho (Figura 65 e Figura 66).

Figura 65 Análise de ventilação no entorno em relação ao morro Santana: Plano de corte



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 66 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Nota-se, por meio destas simulações computacionais, que não há dispersãoatmosférica acirrada próximo ao Hospital Independência, sendo assim, ocorre a densificação do ar por vapor d'água e alterações na temperatura local (Figura 67). É importante ressaltar que para verificações mais completas e complexas relacionadas à dispersão atmosférica, faz-se necessária a aplicação da modelagem a modelos matemáticos desenvolvidos especialmente para tal finalidade (ZORZI *et al.*, 2021). Afinal, há modelos de dispersão de poluentes atmosféricos que fazem uso de equações matemáticas objetivando descrever a atmosfera, a dispersão e os processos físico-químicos que ocorrem a partir de emissões de uma determinada

fonte (MARTINS *et al.*, 2015). De acordo com Martins *et al.* (2015), esses modelos são de fundamentais para fazer predições de impactos nomeio atmosférico, seja por meio de fontes fixas, seja por fontes lineares. A exemplo disto, cita-se o Modelo de Dispersão Gaussiana, comumente utilizado para simular a emissão de poluentes, baseando-se nas condições atmosféricas em suas simulações em que uma fonte se inclina a apresentar a dispersão de seus poluentes em uma forma de curva similar à Curva Normal usada em estatística (MARTINS *et al.*, 2015).

Figura 67 Análise de ventilação no entorno: Plano de corte

Fonte: Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Com relação à pressão na superfície das edificações, esta ocorre em menores índices em que a topografia possui maior altitude (azul escuro, próximo a 0Pa). Nas superfícies dos edifícios de condomínio verticais próximos ao hospital, encontram-se os maiores registros (tonalidade entre o verde e o amarelo, entre 2.673Pa e 3.274Pa); já na maior parte da modelagem a pressão se mantém entre 1.890Pa e 2.673Pa em decorrência da ventilação (Figura 68).

| Velocity (mod (Pressure Pol.) | Status | Thoulest | T

Figura 68 Análise do entorno: Superfícies em contato com a ventilação

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Como resultado das simulações apresentadas neste capítulo, ressalta-se grande preocupação com a saúde da população residente no entorno do objeto de estudo analisado, pois pode ocorrer a concentração de partículas do vírus SARS-CoV-2, enquanto houver pacientes em tratamento da COVID-19, ou outras doenças transmitidas através de partículas virais. Destaca-se o estudo de Noorimotlagh *et al.* (2021), que afirmam a transmissão deste vírus ao ar livre ocorre quase exclusivamente por via aérea. Desta forma, é indispensável que se pense em um controle estratégico de ventilação nas esquadrias e/ou fachadas de edificações hospitalares utilizadas para tratamento de enfermidades como esta (COVID 19).

CAPÍTULO VI: ANÁLISES DE VENTILAÇÃO EM AMBIENTE INTERNO HOSPITALAR

O projeto ideal não existe, a cada projeto existe a oportunidade de realizar uma aproximação. (Paulo Mendes da Rocha)

O SARS-CoV-2 pode comprometer o uso de ambientes, pois potencialmente é capaz tornar os sistemas de ventilação natural em ambientes hospitalares inadequados. Ressalta-se a importância de pesquisas e análises – principalmente por meio de simulações computacionais (por sua agilidade e facilidade), tanto em fases projetuais quanto após a edificação do local. Pensando nisto, o presente Capítulo VI estrutura-se da seguinte forma: abordagem introdutória relacionada ao método de modelagem BIM e as análises internas e seguindo peloagrupamento de *k-means* a partir dos pontos coletados para análise de ventilação e resultados obtidos – referente às análises de ventilação natural e de *cluster* aplicada a pontos amostrados de ventilação natural.

6. Exportação da modelagem BIM e análises em compartimento interno

Com relação ao modelo Building Information Modeling (BIM), o arquivo com a extensão 'Rte' foi exportado diretamente do Revit para o software Autodesk CFD 2021, através do Faixa de opções 'Add-Ins' (CALAUTIT *et al.*, 2020; KIM *et al.*, 2020). Isso possibilitou o carregamento do modelo em geometria 3D no modelo Revit de forma paramétrica, considerando parâmetros e interfaces construtivas em relação aos tipos de materiais modulares que compõem a construção em relação à velocidade do ar (CALAUTIT *et al.*, 2020; MOUSA *et al.*, 2017; PORRAS-AMORES *et al.*, 2019).

O software Autodesk CFD tem sido usado por muitos pesquisadores em todo omundo. Por exemplo, uma simulação CFD do desempenho da ventilação natural dentro de uma sala, entrando através de uma válvula de ar fresco, em Lublin, Polônia, foi feita e comparada com dados experimentais (RACZKOWSKI et al., 2019). Os autores descobriram que ao utilizar o Autodesk CFD, a simulação gerada pelo programa pode prever o desempenho térmico de uma sala ventilada naturalmente com precisão. No outro exemplo, a velocidade do vento foi analisada dentro de uma casa de madeira em Tomohon, Nort Sulawesi (KRISTIANTO et al., 2014). Depois de definir as condições de limite de entrada, os autores foram capazes de definir os casos ideais para a velocidade do vento dentro doedifício.

Para validar o processo do modelo de avaliação de ventilação natural, gerado neste estudo, utilizou-se o procedimento recomendado por Nalamwar *et al.* (2017), Johansson,

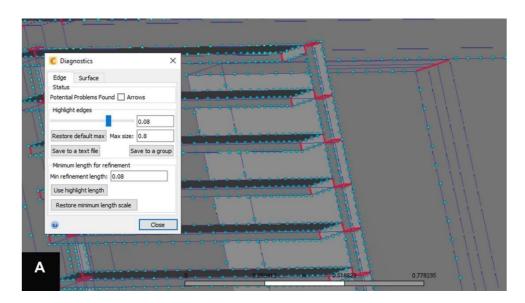
Wasim (2020), Utkucu e Sözer (2020). Este procedimento envolve as seguintes etapas:

- (a) simplificar a geometria dos elementos do modelo para diminuir o tamanho da malha necessária para obter resultados adequados em tempos mais curtos;
- b) após importar o modelo no *Autodesk CFD*, defina os materiais com seus parâmetros e atribua-os aos elementos do modelo:
 - c) definir as condições do entorno de acordo com a velocidade do ar;
- d) gerar uma malha que garanta que o software faça cálculos corretos em formas pequenas ou curvas, para que nesta etapa, a opção de malha *Autosize* do *Autodesk CFD* seja utilizada pela primeira vez para obter uma massa inicial e, em seguida, refina onde se faz necessário com as ferramentas 'Diagnóstico' e 'Regiões' do software mencionado;
- e) definir os parâmetros de resolução como a turbulência aplicada ao modelo e magnitudes almejadas. Nos três casos estudados (JOHANSSON; WASIM, 2020; UTKUCU; SÖZER, 2020; NALAMWAR *et al.*, 2017), os autores usaram o k-ε modelo como turbulência. Além disso, o site oficial do *Autodesk CFD* (2021) recomenda o caso que melhorse adapta a cada modelo, em que uma tabela explica que o k-ε modelo é o padrão que funciona adequadamente para a maioria dos aplicativos. Por esta razão, adotamos o modelo de turbulência sugerido;
- f) definir as coordenadas dos pontos de controle em que o usuário deseja obter os resultados naquele ponto específico. Em versões mais antigas do software, por exemplo, *Autodesk* CFD (2019), esta etapa deve ser realizada antes da simulação começar.

A verificação do CFD teve como base um volume externo gerado para simular o ar (DAS *et al.*, 2016). A velocidade e direção do ar de admissão foram definidas com o critério de 2,1 m/s, enquanto a saída do volume de ar foi definida com uma pressão estática manométrica de 0. Para simular um ambiente de espaço livre, foi necessário atribuir Deslizamento/Simetria na parte superior e nas laterais do volume de ar. Esta análise considerou a geometria do modelo de entrada e determina o tamanho da malha e distribuição em cada borda, superfície e volume no modelo.

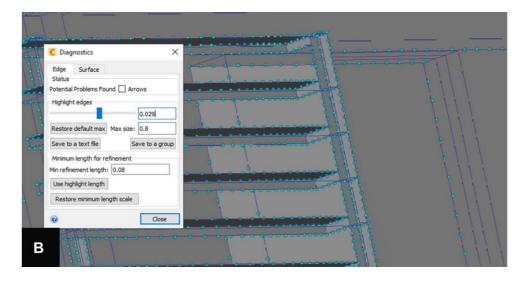
Este processo considera a curvatura geométrica, gradientes e proximidade com a geometria vizinha, o que requer uma malha mais fina. No modelo analisado nesta pesquisa, utilizou-se um tamanho de malha automático (Figura 69); foi o primeiro gerado, que foi analisado com a ferramenta de diagnóstico a fim de encontraros elementos que precisava de uma malha refinada (Figura 70), como na estrutura externa do brise de madeira e a borda das janelas. Consequentemente, a malha final sem o externo o brise de madeira possui aproximadamente 380.000 elementos e a malha com o externo o brise de madeira possui 720.000 elementos, conforme apresentado na Figura 71.

Figura 69 Ferramenta de diagnóstico. A) Áreas críticas que necessitavam de malha refinada, indicadas em vermelho



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Figura 70 Ferramenta de diagnóstico. B) Malha refinada



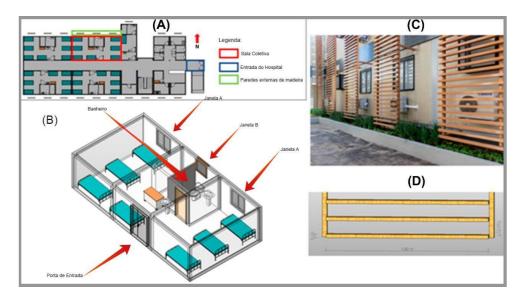
b)

Figura 71 Malha final aplicada ao modelo. a) Vista plana. b) Vista de perfil e frontal visualizar

Fonte: elaborado pela autora (2021).

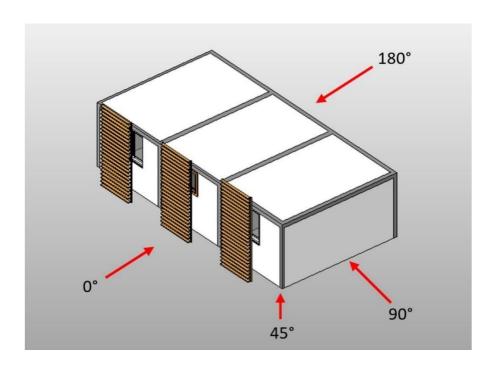
A análise neste estudo foi simplificada, a fim de calcular o fluxo de ar natural identificado por meio de pontos de distribuição. A janela A (Figura 72AB) foi considerada como uma janela deslizante, o que significa que pode ser abertano máximo apenas metade (50%) de sua largura, enquanto a janela B é saliente, o que significa que pode ser totalmente aberta. As análises foram realizadas com vento soprandodas quatro direções mostradas na Figura 73 (0°, 45°, 90° e180°). Todas as janelas foram consideradas abertas em sua capacidade máxima – lembrando que algumas só conseguiram abrir 50% –, além das demais angulações, apenas utilizando o cenário de direção do vento de 0°. Ao considerar as dimensões da malha e os parâmetros pesquisados, entre 200 e 400 iterações foram necessárias para os cálculos da ventilação natural.

Figura 72 Layout interno do Hospital Independência, com projeção 3D paramétrica da sala selecionada para o estudo da ventilação interna. (A) Layout interno da sala coletiva. (B) Vista da estrutura externa de *brise* em madeira (C) e dimensões do *brise* madeira (D)



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Figura 73 Diagrama do quarto do hospital em estudo com setas indicando o fluxo de ar direção do Hospital Independência



É importante mencionar que o *Autodesk CFD* não permite a modificação de nenhum componente, ao contrário do Revit. Portanto, uma vez que o modelo é importado para CFD, a ferramenta nos permite apenas identificar bordas que podem ser mescladas e pequenosobjetos podem ser eliminados. Também pode-se preencher alguns vazios ou criar um volume externo para simular adequadamente o fluxo de ar natural dentro da sala (CALAUTIT *et al.*, 2020; KIM *et al.*, 2020).

Depois de atribuir o material adequado a cada elemento e textura para uma melhor representação da estrutura real, as condições do entorno foram configuradas de acordo com os ângulos do vento acima mencionados, considerando a entrada e saída do vento (MOUSA *et al.*, 2017; PORRAS-AMORES *et al.*, 2019; CALAUTIT *et al.*, 2020). Para definir o fluxo do ar, uma superfície lateral do volume externo gerado é selecionada como a direção normal em que o ar está se movendo. O lado oposto da estrutura modular é então atribuído pressão de0Pa, enquanto os lados e o topo da estrutura devem ser atribuídos como Deslizamento/Simetria para simular adequadamente o ambiente.

6.1 Agrupamento de *k-means* a partir dos pontos coletados para análise de ventilação

A análise de *cluster* consiste em um método de alto nível atribuído para detectar saliências; técnicas multivariadas que visam agregar objetos com base nas semelhanças de suas características. É uma análise baseada na proximidade, que permite compreender as relações geofísicas de estruturas em um determinado ambiente (ZHANG *et al.*, 2021; JING *etal.*, 2021). Os elementos do projeto estrutural do Hospital Independência apresentam alta homogeneidade interna e alta heterogeneidade externa.

Os algoritmos de agrupamento utilizados foram otimizados para a identificação de estruturas ocultas nos conjuntos de dados (ZHANG et al., 2021; JING et al., 2021). A estrutura identificada é traduzida em associações de grupo correspondentes a uma técnica não especificada e, desta forma, as informações de associação não são reconhecidas ou usadas como uma entrada prioritária. Assim, o algoritmo reconhece semelhanças e define classes (UEDA et al., 2020; ZHOU et al., 2020). De acordo com Ueda et al. (2020) e Zhou et al. (2020), uma vez que os clusters são definidos, é possível escolher o objeto mais representativo de um determinado grupo.

Assim, durante a simulação *k-means*, prossegue interativamente. Partindo de uma solução inicial, a configuração aleatória dos centróides dos *clusters* obtidos através dospontos coletados na área de estudo são agrupados aleatoriamente em células raster. Na fase

de realocação, cada célula é alocada para o mais próximo centróide (ZHOU *et al.*, 2020). Na etapa de recálculo, cada centróide é deslocado para a média das coordenadas das células alocadas a esse centróide. O processo de iteração é interrompido quando a distância quadrada mínima média (MSSD) não pode ser mais reduzida ou quando as melhorias se tornammenores do que um limite especificado para o objeto estudado.

Este estudo contou com onze pontos de controle, que foram selecionados para coletar dados em diferentes cenários, com direção do vento de 0° (Figura 74). Dados de três planos diferentes foram coletados para análise posterior. Uma grade foi definida com pontos separados por 0,5 m para calcular a magnitude da velocidadedo vento em diferentes posições dentro e fora da sala. Essa grade foi posicionada em 3 alturasdiferentes: 0,5 m acima do chão, metade da altura da sala (1,27 m) e 0,5 m abaixo do teto. Além disso, quatro cenários foram analisados: 1) todas janelas totalmente abertas com a estrutura externa de brise de madeira; 2) todas as janelas abertas totalmente sem a estrutura externa de brise de madeira; 3) todas as janelas abertas pela metade (50%) com a estrutura externa de brise de madeira e 4) todas as janelas abertas pela metade (50%) sem a estrutura externa de brise de madeira. Esses cenários foram escolhidos por terem as maiores variações na magnitude da velocidade do fluxo de ar e valores dentro da sala.

2.72:112
-2.4
-2.2
-1.8
-1.6
-0.8
-0.6
-0.4
-0.2
0
0

Figura 74 Fluxo de ar modelado e comportamento utilizando 0° como fonte de vento

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Duas propriedades são usadas para definir melhor a qualidade do *cluster* de dados, compressão e separação (UEDA *et al.*, 2020; ZHOU et al., 2020). *Clusters* têm boa

compressão quando os pontos de dados estão próximos uns dos outros. Os *clusters* estavam bem separados quando eles estavam distantes. Os índices de validação avaliam a qualidade de soluções de *clustering*, e duas técnicas de visualização foram adotadas, distribuição histogramas e *boxplots* (UEDA *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2020).

Esses conjuntos de dados relacionados à construção foram reunidos e organizados em um banco único, o qual é analisado para identificar o número de edifícios características, o número de entradas de informações coletadas repetidas e a integridade das informações obtidas. A limpeza destes relatórios é necessária para criar um conjunto completo, que é usado como uma entrada para algoritmos de agrupamento (UEDA et al., 2020; STAVROULAKIS *et al.*, 2020). Isto é necessário, pois alguns procedimentos de *cluster* não podem lidar com valores ausentes (CAI *et al.*, 2020; STAVROULAKIS *et al.*, 2020). Procedimentos de remoção de dados ausentes foram realizados, o que resultou em uma diminuição do número de entradas disponíveis. Posteriormente, a análise foi realizada usandoo *software JASP*, versão 0.14.1.0, para demonstrar possível deslocamento de partículas SARS-CoV-2 na estrutura construída do hospital e seus arredores, através da análise de pontos de intensidade dos níveis de deslocamento de ventilação. O trabalho de Cao *et al.* (2021) e Jansi *et al.* (2021), como também outros estudos, comprovam a facilidade dedeslocamento do SARS-CoV-2 pelo ar, por meio de micropartículas ultrafinas.

6.2 Análise de ventilação natural

Os resultados renderam interações de 300 relacionamentos que ocorreram no espaço analisados. Assim, apresentamos dados de alta relevância e confiabilidade na intensidade da ventilação natural, independe das características do isolamento térmico da estrutura modular (LI; CHEN, 2020). Na Figura 75, a representação da dinâmica existente de entradas, circulação de ar e saída de vento pode ser visualizada, observando que a circulação da ventilação natural no interior do prédio é de menor intensidade.

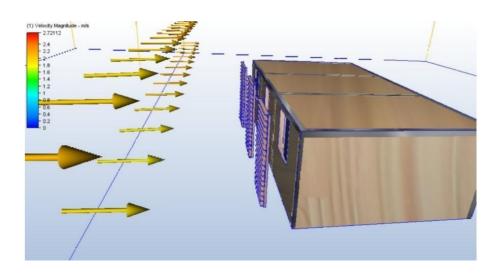


Figura 75 Velocidade inicial do fluxo de ar local na projeção 3D

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A consequência para este ambiente é que ele pode concentrar de forma consistente o vírus SARS-CoV-2, desde que os pacientes COVID-19 estejam na sala e ocorra ativamente o derramamento de partículas virais, o que explica a ocorrência de contaminação entre os profissionais da saúde – que trabalham em ambientes hospitalares (KENARKOOHI *et al.*, 2020; NOORIMOTLAGH *et al.*, 2021; VANDERCAM *et al.*, 2020). Noorimotlagh *et al.* (2021) demonstraram que a transmissão de SARS-CoV-2 ao ar livre ocorre quase exclusivamente por via aérea, principalmente por meio de partículas ultrafinas suspensas no ar (CAO *et al.*, HADEI *et al.*, 2021; 2021; LÓPEZ *et al.*, 2021; SHAO *et al.*, 2021). Vários estudos examinaram o fluxo de ar interno em construções e edifícios impulsionado exclusivamente pela influência de ventos externos naturais (LIU; LEE, 2020; CUI *et al.*, 2021; HIROSE *et al.*, 2021; MARONI *et al.*, 2021; MATOUR *et al.*, 2021). A mostra a simulação inicial de vetores de velocidade do vento soprando diretamente naestrutura. Já a Figura 76 demonstra a mudança na direção e velocidade do vento causada pela estrutura de madeira estrutura colocada na frente das janelas abertas na estrutura.

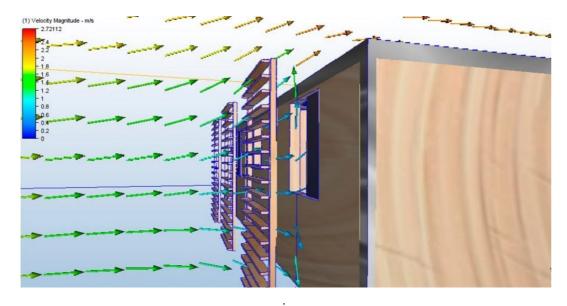


Figura 76 Velocidade inicial do fluxo de ar local na projeção 3D

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A Figura 77 e demonstra a queda na velocidade doar interno devido à mudança na direção do fluxo de ar nos *brises* de madeira. Além disso, *o Autodesk CFD* nos permite visualizar a trajetória do fluxo de ar dentro da sala. Partindo disto, ressalta-se que a movimentação de ar dentro deste ambiente altamente infeccioso pode conter partículas suspensas contendo o vírus SARS-CoV-2 (CAO *et al.*, 2021; JANSI *et al.*, 2021).

Gatheeshgar *et al.* (2021) enfatizaram que uma solução potencial para mitigar a propagação de SARS-CoV-2 e ambientes hospitalares é a maior utilização de divisórias modulares capazes de direcionar o ar circulação para as janelas e exaustão para a atmosfera externa. Entretanto, deve ser tomado cuidado para evitar a criação de áreas externas nas quais o ar contaminado pode ser concentrado e, desta forma, expor visitantes ou funcionários do hospital a condições potencialmente perigosas. É impossível estimar a quantidade de SARS-CoV-2 suspensa em partículas ultrafinas presentes no ar, que varia de acordo com o foco de uma possível contaminação (SHAO *et al.*, 2021). Portanto, neste estudo, presumimos a existência da probabilidade de contaminação em um ambiente construído para o tratamentoda COVID-19, reforçando, assim, os estudos de Shao *et al.* (2021), que mostrou que o SARS-CoV-2 pode ser suspenso no ar por um longo tempo.

Figura 77 Velocidade do ar dentro e fora da sala estudada no Hospital Independência

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Foi mostrado que o fluxo de ar entra nas duas janelas do quarto do hospital se move ao longo das paredes do quarto, enquanto no banheiro entra e sai pela única janela. Os móveis da sala tiveram um impacto perceptível na velocidade do ar, reduzindo a velocidade de o ar fluir ao longo do eixo Y e desviar os fluxos para os eixos X e Z. O posicionamento do mobiliário da sala deve ser levado em consideração, pois afeta claramente a entrada do fluxo de ar no meio ambiente (MORA-PÉREZ *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2021).

Há a presença de áreas com fluxo de baixa velocidade dentro da sala, alcançando valores próximos a 0 m/s em alguns lugares. Essas áreas apresentam o maior risco geral paraa saúde, uma vez que podem conter ou estarem suspensos no ar agentes infecciosos (SHAO *et al.*, 2021). Para questões de saúde adequadas, especialmente entre os pacientes COVID-19,toda a sala deve ser ventilada adequadamente (GOTTESMAN *et al.*, 2021; LANE *et al.*, 2020). O ar mostrou-se fluido por toda a sala e saindo por ambas as janelas em geral, então,há uma contribuição notável da ventilação natural.

Nossas análises de diferentes cenários consideraram 11 pontos de controle gerais de onde os dados foram coletados (Figura 78), com base na necessidade de avaliar o ambiente em mais detalhes (AHMED *et al.*, 2021; AVIV *et al.*,

2021; MATOUR *et al.*, 2021). Esses pontos foram selecionados por apresentarem as maiores variações na magnitude da velocidade do fluxo de ar interno (AHMED *et al.*, 2021; MATOUR *et al.*, 2021).

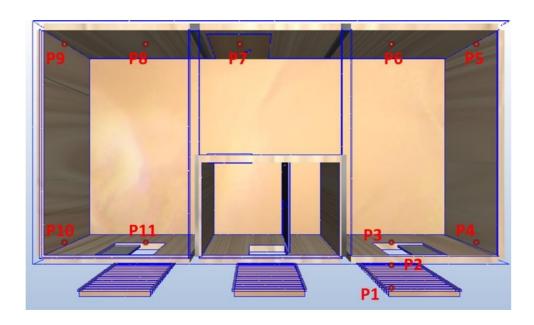


Figura 78 Distribuição de pontos na sala em estudo

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O resultado de velocidade do ar interno mais alto de qualquer cenário testado foi no Ponto 1 do cenário 90°, exibindo um valor de 1,21 m/s (lembre-se da velocidade do ar exterior de 2,1m/s). O ponto 2 rendeu um valor de 0,50 m/s no mesmo cenário (Tabela 1) (Figura 79). Esta análise foi realizada com todas as janelas dos três cômodos totalmente abertas. De acordo com Vassella *et al.* (2021), a avaliação da intensidade da ventilação natural é extremamente importante para analisar a qualidade do ar interno (IAQ), como contaminantes do ar, como os vírus SARS- CoV-2 estão contidos nesse fluxo.

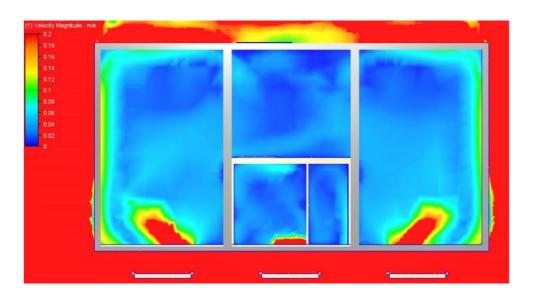
Tabela 1 - Velocidade do ar interno simulada (m / s) em todos os 11 pontos da sala analisada do Hospital Independênci

Pontos	0°	45°	90°	180°
1	0.78 m/s	0.84 m/s	1.21 m/s	0.19 m/s
2	0.50 m/s	0.56 m/s	0.49 m/s	0.16 m/s
3	0.22 m/s	0.32 m/s	0.11 m/s	0.06 m/s

4	0.11 m/s	0.02 m/s	0.00 m/s	0.03 m/s
5	0.04 m/s	0.01 m/s	0.00 m/s	0.00 m/s
6	0.05 m/s	0.10 m/s	0.00 m/s	0.02 m/s
7	0.01 m/s	0.04 m/s	0.02 m/s	0.00 m/s
8	0.07 m/s	0.00 m/s	0.05 m/s	0.01 m/s
9	0.04 m/s	0.00 m/s	0.04 m/s	0.00 m/s
10	0.12 m/s	0.00 m/s	0.04 m/s	0.02 m/s
11	0.26 m/s	0.15 m/s	0.19 m/s	0.05 m/s

Fonte: Elaborado ela autora (2021).

Figura 79 Velocidade do ar dentro da sala, definida para um máximo de 0,2 m / s para obter uma melhor vista das velocidades lentas



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A Tabela 2 lista as velocidades do fluxo de ar interno em todos os 11 pontos dentro da sala no cenário de direção da fonte de vento de 0°. Algumas variações do cenário 0° também foram feitas. A mesma análise anterior foi feita em todas as janelas, que foram mantidas totalmente abertas durante a primeira variação, mas fecharam em 50% para a segunda. Algumas variações incluíram a estrutura externa de treliça de madeira, enquanto outros não. O espaço entre cada mesa horizontal na sala foi duplicado em um ponto. Os resultados podemser vistos na Tabela 2. Finalmente, é apresentada uma comparação entre a janela B quando está totalmente aberta e um caso quando está aberto apenas 50%.

Tabela 2 - Velocidades do ar interno resultantes de variações em relação ao cenário original de 0 $^\circ$

Pontos	2 janelas abertas	2 janelas fechadas	1 janela fechada	Sem <i>brises</i> de madeira	Com brises de madeira
1	0.78 m/s	0.73 m/s	0.74 m/s	0.84 m/s	0.77 m/s
2	0.50 m/s	0.45 m/s	0.47 m/s	0.49 m/s	0.49 m/s
3	0.22 m/s	0.00 m/s	0.19 m/s	0.17 m/s	0.20 m/s
4	0.11 m/s	0.00 m/s	0.11 m/s	0.05 m/s	0.08 m/s
5	0.04 m/s	0.00 m/s	0.04 m/s	0.00 m/s	0.03 m/s
6	0.05 m/s	0.00 m/s	0.04 m/s	0.00 m/s	0.04 m/s
7	0.01 m/s	0.00 m/s	0.01 m/s	0.00 m/s	0.00 m/s
8	0.07 m/s	0.00 m/s	0.00 m/s	0.01 m/s	0.04 m/s
9	0.04 m/s	0.00 m/s	0.00 m/s	0.00 m/s	0.01 m/s
10	0.12 m/s	0.00 m/s	0.00 m/s	0.05 m/s	0.08 m/s
11	0.26 m/s	0.00 m/s	0.00 m/s	0.16 m/s	0.23 m/s

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A influência da direção do fluxo de ar observada em cada cenário é notável. Embora cada um desses cenários tenha zonas em que a velocidade do fluxo de ar tem valores altos, o cenário 0° parece ser o mais equilibrado, em geral, pois não há muitas zonas em que a velocidade diminui para valores muito baixos. No entanto, em todos os cenários, a velocidade muito baixa é perceptível, atingindo valores próximos de zero em alguns cenários na área de chuveiro, dentro do banheiro privativo. Grandes variações entre cada ponto de controle são também perceptíveis devido ao comportamento do fluxo de ar dentro da sala. Mesmo em baixa velocidade, o ar flui em três dimensões nos eixos X, Y e Z. A falta de ventilaçãonatural nos banheiros privativos do quarto representa mais do que apenas uma escolha projetual inconveniente devido aos odores desagradáveis (TUNG *et al.*, 2010), representando também uma forma de contágio e propagação do vírus pelo ar.

Barker e Jones (2005) mostraram que partículas aerossolizadas entram pelo ar a cada descarga do vaso sanitário, causando tanto na superfície quanto no ar contaminação com partículas de matéria fecal, microrganismos e vírus. Isso não é, geralmente, um problema para indivíduos saudáveis com um sistema imunológico totalmente funcional, mas representa um perigo real em um ambiente hospitalar para pacientes que podem ser imunocomprometidos (SHAO *et al.*, 2021). Shao *et al.* (2021) mostraram que a propagação de aerossóis contendo vírus SARS-CoV-2 no autoclismo tornou-se uma das formas de

transmissão do vírus entre indivíduos, afetando até pessoas saudáveis que não são imunocomprometidos.

6.2.1 Análise de *cluster* aplicada a pontos amostrados de ventilação natural

Para maior precisão das variações que ocorrem na ventilação natural neste estudo, utilizou-se uma 'grade' virtual com 198 pontos localizados em três alturas acima do nível do solo: 0,5, 1,27 e 2,04 m. Os pontos amostrais foram realizados em triplicata, totalizando 594 pontos amostrais para cálculo e modelagem da velocidade do fluxo de ar interno alimentado apenas por ventilação natural, com análises de *Cluster* em diferentes locais dentro e fora da sala. A escolha das três alturas (0,5, 1,27 e 2,04 m) utilizadas para o Hospital Independência baseou-se no trabalho de Silva *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2021), que consideram a presença de contaminação em partículas ultrafinas suspensas no ar. As três alturas específicas foram derivadas da escala humana – alturas nas quais o ar entraria no sistema respiratório de humanos de tamanho médio (SHAO *et al.*, 2021).

Quatro cenários adicionais foram analisados para a sala amostrada do Hospital Independência: 1) janelas totalmente abertas com a estrutura externa debrise de madeira; 2) janelas totalmente abertas, sem a estrutura externa de brise de madeira; 3) meio abertas (50%), janelas com estrutura externa de brise de madeira e 4) janelas entreabertas (50%), sem a estrutura externa de brise de madeira, todas com direção de vento inicial de 0°.

A análise *k-means* se ajusta a um modelo que apresenta a pontuação de ajuste para o modelo, em que K=4 consiste nos agrupamentos atribuídos a cada conjunto de dados, totalizando 594 amostras. Segundo Ly e Cornelisse (2019), R² é a razão entre as somas dos quadrados e as somas totais dos quadrados. Quanto mais próximo o valor estiver de 1, melhor será o ajuste. O R² observado de 0,95 demonstra grande confiabilidade nos resultados do estudo. O índice de silhueta variou de -1 a 1, e o valor de K=4 *clusters* foi de 0,88, mostrando uma alta tendência para agrupamento, de acordo com as variáveis estabelecidas. A alta tendência de agrupamento entre as variáveis analisadas refere-se à ocorrência de uma relação que continua sequencialmente na 'grade' de pontos analisados em suas diferentes camadas, que varia de acordo com a altura determinada para análise (UEDA *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2020). Assim, observamos que para otimizar a relação entre K e AIC, o modelo ideal é K=3. ATabela 3 mostra os tamanhos dos *clusters*, a variabilidade dentro de cada *cluster* em termos de soma dos quadrados, a proporção de heterogeneidade explicada dentro do *cluster* e índice de silhueta. Em relação ao tamanho, o *Cluster* 3 apresenta um número elevado depontos.

Quanto à análise da proporção explicada dentro da heterogeneidade do *cluster*, a maior heterogeneidade corresponde a 1. Observa-se que o *cluster* 2 com 0,53203 tem a maior proporção de heterogeneidade. A soma dos quadrados também lida com o total de distribuição entre os *clusters*, verificando, assim, a representatividade de cada *cluster* no conjunto estudado, e o *Cluster* 2 apresenta alta proporção da soma dos quadrados de 56.86011, apesar de ter 56 pontos. O índice de silhueta demonstra homogeneidade e coesão: quanto mais próximo de 1, melhor o resultado. O *cluster* 3 apresenta índices de 0,96037, e, assim, representam alta homogeneidade – são os pontos internos, demonstrando ahomogeneidade na velocidade interna do ar. Para os clusters 1 e 2, os valores são respectivamente, 0,45830 e 0,46719, o que demonstra que são heterogêneos.

Tabela 3 - Valores do *cluster* em relação aos pontos amostrados

Informações de Cli ster				
Cluster	1	2	3	
Tamanho	44	56	494	
Proporção explicada dentro da heterogeneidade do <i>cluster</i>	0.3281	0.53203	0.13985	
Dentro da soma dos quadrados	35.067 66	56.86011	14.94638	
Pontuação da silhueta	0.4583	0.46719	0.96037	

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Este resultado demonstra que os diferentes cenários e alturas dos pontos pode alterar significativamente a velocidade do vento na área externa. Assim, o índice de silhueta mostrou homogeneidade e coesão nos pontos analisados, pois quanto mais próximo o valor está de 1, melhor será a confiabilidade do resultado (LY; CORNELISSE, 2019). Esses valores também demonstram heterogeneidades entre os pontos analisados (UEDA *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2020).

A Tabela 4 mostra as médias de *cluster* para cada variável preditora. O cenário 1 tem Janelas 100% abertas com brise externo de madeira; as maiores velocidades foram obtidas em *cluster* 2, com valor de 2.55849. Para o cenário 2, em que as janelas estão 100% abertas sem o brise externo de madeira, o *cluster* 2 foi mais significativo. No o cenário 3, as janelas 50% abertas e contendo o brise externo de madeira; o *cluster* 2 também teve uma maior

média de maior velocidade. Cenário 4, em que as janelas estão 50% abertas sem o brise externo de madeira, as médias foram maiores no c*luster* 2. Por meio da análise de ventilação natural que se move entre as janelas, é possível perceber a influência nessas trocas de ar e variações na temperatura externa para o interior do edifício ambiente (VASSELLA *et al.*, 2021).

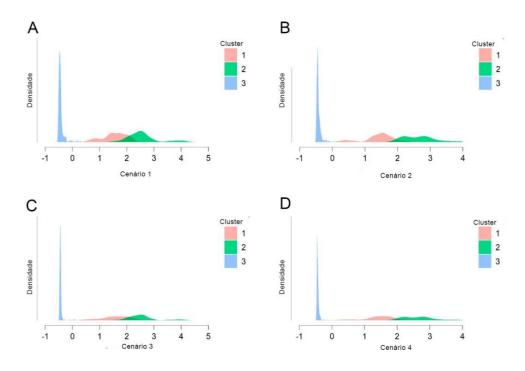
Tabela 4 - Médias dos *cluster*s em relação aos resultados totais da amostragem de pontos (m/s)

Média dos Cluste s					
Clusters	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	
Cluster 1	1.54 m/s	1.41 m/s	1.56 m/s	1.44 m/s	
Cluster 2	2.55 m/s	2.64 m/s	2.55 m/s	2.63 m/s	
Cluster 3	-0.42 m/s	-0.42 m/s	-0.42 m/s	-0.42 m/s	

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A ventilação natural e cruzada para o tratamento de indivíduos infectados com SARS-CoV-2 é considerada fundamental dentro e ao redor de leitos hospitalares, sendo recomendada pela comunidade médica (SHAO et al., 2021). A melhor opção para conseguir isso são as aberturas que seriam capazes de mudar a velocidade do fluxo de ar combinadocom um sistema alimentado como um sistema HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) (WANG et al., 2021). Nesta relação, a Figura 80 mostra a densidade com base no kernel gaussiano, suavizando as distribuiçõesde altura do dossel (& gt; 0 m) com base em uma amostra aleatória estratificada de cada cluster. A frequência da ventilação natural pode ser comparada com base nos cenáriosanalisados. Como cada cluster tem uma cor específica, a legenda descreve as atribuições de cores em mais detalhes. Para cada gráfico é possível para ver as densidades dos clusters em cada variável e a sobreposição resultante, quando isso ocorrer. Isso reflete os vértices de cada uma das variáveis capturadas em cada cluster.

Figura 80 Velocidade do ar interior, definida para um máximo de 0,2 m/s, em relação a: Densidade gráficos, velocidade do fluxo de ar e valores dentro da sala em relação: (A) Cenário 1 com 100% janelas abertas e com a parede externa de madeira; (B) Cenário 2

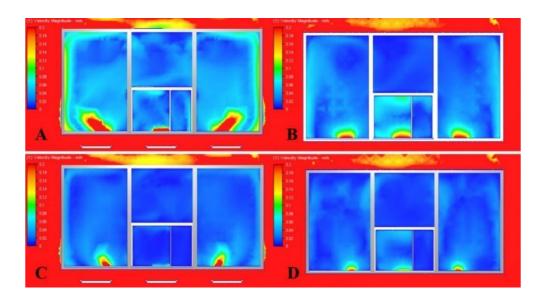


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A Figura 80 apresenta os gráficos de densidade baseados em kernel gaussiano suavizado das distribuições de altura do dossel (& gt; 0 m), com base em uma amostra aleatória estratificada de cada *cluster*. Cada *cluster* tem uma cor específica e a legenda descreve a cor do *cluster* atribuições em mais detalhes. Para cada gráfico é possível visualizar as densidades dos *clusters* em cada variável e as sobreposições quando ocorrem. Como isso, reflete os ápices de cada uma das variáveis capturadas em cada *cluster*.

A Figura 81 mostra a velocidade do fluxo de ar e valores dentro da sala em relação ao seguinte: (A) Cenário 1 com 100% aberto janelas e brise externo em madeira; (D) Cenário 4 com as janelas 50% abertas e sem brise externo em madeira. O *cluster* 3 conforme os pontos internos; é possível observar que este possui a maior densidade, ou seja, o maior número de pontos. Outra característica é a concentração da velocidade do ar, independente do cenário proposto. No cenário 2 (B) com as janelas 100% abertas e sem o *brise* de madeira, O *cluster* 2 apresenta maior amplitude, por outro lado, no Cenário 3 (C), com janelas 50% abertas e com *brise* externo em madeira, tem a menor amplitude no ar valores de velocidade. Ao considerar as variações nos *clusters* analisados, a dinâmica de ventilação natural torna-se mais intensa quando as janelas estão abertas. Assim, pode-se ser assumiu que a intensidade de ventilação natural pode transportar SARS-CoV-2 em partículas virais para outros ambientes hospitalares, ou mesmo para áreas externas (CARRATURO *et al.*, 2020; ABRAHÃO *et al.*, 2021) no entorno do Hospital Independência.

Figura 81 Velocidade do fluxo de ar e valores dentro da sala em relação ao seguinte. (A) Cenário 1 com 100% aberto janelas e *brise* externo em madeira. (D) Cenário 4 com as janelas 50% abertas e sem *brise* externo em madeira



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A contaminação de partículas de SARS-CoV-2 ocorre em superfícies suspensas no ar em ambientes externos e internos de hospitais e, portanto, contribuiu para a expansão contínua da pandemia COVID-19 (CAO *et al.*, 2021; HADEI *et al.*, 2021; LÓPEZ *et al.*, 2021; SHAO *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2021). A transmissão deste vírus não ocorre apenas por contato ou proximidade entre indivíduos, mas por partículas ultrafinas suspensas no ar. Essas partículas transportadas pelo ar são suscetíveis ao movimento de uma região para outra com base na intensidade da velocidade do vento.

De acordo com Silva *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2021), estudos relacionados à qualidade do ar em uma escala global são indispensáveis. Portanto, este estudo, bem como o trabalho de Carraturo *et al.* (2020), alerta que a ventilação natural em hospitais dedicados principal ou exclusivamente ao cuidado de pacientes infectados com SARS-CoV-2 requer *design* proativo e cuidado preventivo, pois são ambientes que concentram grandes quantidades de partículas virais no ar que permitem a acomodação dessas partículas nas superfícies, se a velocidade do fluxo de ar não for adequada.

Esta pesquisa não abordou quaisquer tipologias, sistema ou mecanismo que permita ventilação que não fosse de forma natural. No presente tópico foi definido por apenas pontuar a importância de se ter meios alternativo e inteligente, para que combinados de maneira estratégica com a ventilação natural existente possibilite a redução da propagação do vírus em ambientes hospitalares, bem como em outros espaços internos e no entorno imediato das edificações. Salienta-se que os resultados obtidos a partir desta pesquisa podem ser conclusivos para a definição de novas técnicas e/ou decisões de projeto em fase de planejamento ou ainda

permitindo a compreensão e estudo de possíveis intervenções quandoe onde necessário.

A ventilação natural e cruzada para o tratamento de indivíduos infectados com SARS-CoV-2 é considerada fundamental dentro e à volta de leitos hospitalares, sendo assim, recomendada pela comunidade médica (SHAO *et al.*, 2021). A melhor opção para conseguir isso são as aberturas que seriam capazes de mudar a velocidade do fluxo de ar combinado com um sistema alimentado como um sistema *Heating, Ventilating and Air Conditioning*(HVAC), ou seja, um sistema que permita aquecimento, ventilação e ar condicionado – um sistema mecanizado permitiria maior controle de fluxo do ar (WANG *et al.*, 2021).

Outra forma de se conseguir isto ocorre por meio da ventilação higiênica, que é recomendada a partir do surgimento da necessidade de renovação do ar quando no local não há meios de renovação mecânica do ar, demandando, assim, a obrigatoriedade da dissolvência de infecciosos causados devido ao uso do espaço. A respeito disso, Mermet (2005) destaca que dentro das funções básicas da ventilação natural, tem-se a ventilação higiênica como a responsável por assegurar a qualidade do ar interior. Como sugestão, pode- se trocar as esquadrias, uma vez que o uso de aberturas que potencializem a entrada do vento no interior das edificações é uma das estratégias adotadas para exemplares tipológicos de

janelas em que caixilhos superiores auxiliam na troca do ar dos ambientes internos, favorecendo a ventilação higiênica quando associados à permeabilidade do fluxo de ar por toda a edificação através de outras aberturas (NICO-RODRIGUES, 2008).

A exemplo disto, pode-se citar esquadrias com caixilho superior e com toldo – o que não seria indicado devido aos *brises* de madeira existentes na fachada. Outra alternativa seria a instalação de esquadrias maxim-ar com vidro insulado na fachada sul – permitindo a renovação do ar no ambiente interior, gerando pressão positiva na fachada em períodos de calmaria (CUNHA, 2006). Também pode ser uma ótima alternativa o uso de esquadrias tipo guilhotina com persiana projetável. De acordo com Cunha (2006), este tipo de janelas possibilita, através do recolhimento da persiana projetável, a incidência da radiação solar direta e a abertura da parte superior do caixilho permite a ventilação higiênica. Pode-se adaptar também modelos de esquadria mista. Em se tratando de alternativas, algumas possibilidades não são consideradas nesta pesquisa – como as aberturas com veneziana, ou persiana projetáveis, esquadrias com bandeja de luz, entre outras –, por conta dos elementos externos alocados na fachada. Para melhor visualização das esquadrias sugeridas, adaptou-se (Figura 82) o material de Cunha (2006).

Figura 82 Esquadrias sugeridas para ventilação higiênica no objeto de estudo

ESQUADRIAS SUGERIDAS PARA VENTILAÇÃO HIGIÊNICA NO OBJETO DE ESTUDO

ESQUADRIA MAXIM-AR ESQUADRIA TIPO GUILHOTINA COM PERSIANA PROJETÁVEL FINANCIA DE SOCIA MISTA ESQUADRIA MISTA

Fonte: adaptado de Cunha (2006).

Ressalta-se que, com relação a esquadrias, um ponto importante a ser observado e aproveitado é a direção dos ventos. Além disto, pode-se tirar partido também da incidência de radiação solar de forma direta (plano horizontal), uma vez que próximo ao forro encontra-se o ar com temperaturas mais elevadas e, portanto, janelas e/ou portas com aberturas junto à forração auxiliam no processo de saída do ar interno aquecido – assim, as aberturas da altura dos indivíduos operam na entrada de ar no local (CUNHA, 2008).

Durante o ano, as temperaturas tendem a oscilar de forma brusca em determinadas regiões do globo (ROSA, 2005), o que torna esta temática complexa e muito abrangente. Nesse sentido destaca-se que o estado em que se encontra a edificação analisada é o Rio Grande do Sul, logo, há dias que a temperatura é considerada extrema ao longo das estações do ano (ROSA, 2005). Salvo isto, em épocas do ano onde a temperatura não oscila tanto pode-se utilizar métodos complementares ao somar-se o auxílio da ventilação controlada por meio de esquadrias. Isto é, o uso da ventilação natural induzida somada ao uso de ventilação mecânica, o que possibilitaria maior controle da ação dos ventos no local.

Um recurso que pode ser trabalhado em conjunto com a ventilação mecânica é a instalação de *sheds* ou lanternins. Tais elementos direcionam a ventilação da seguinte forma: sendo o ar quente mais leve que o ar frio (SILVA e FLAUZINO, 2017) — ocorre o posicionamento das esquadrias em altura aproximada ao solo com a finalidade de que o ar fresco se insira no ambiente e, desta forma, conduza o ar quente para a parte superior do pé direito, onde estão localizadas as saídas de ar denominadas de *sheds* ou lanternins.

Figura 83- Hospital da rede Sarah Kubitschek em Salvador



Fonte: Kon (2018).

Um exemplo da utilização desta estratégia (*sheds*) é o Hospital da rede Sarah Kubitschek (Figura 83), em Salvador, projetado pelo arquiteto brasileiro João Figueiras Lima (o Lelé). O arquiteto que fez uso de *sheds* metálicos curvos, em grandes e variadas extensões, que foram distribuídas de forma repetida sucessivamente. O intuito desta estratégia é ventilar os ambientes através da liberação do ar quente e impurezas por meio de aberturas superiores que ainda proporcionam iluminação natural (ARCHDAILY, 2018).

Alternativas que minimizem impactos ambientais têm se destacado através dos últimos anos. Mas, indubitavelmente, é necessário que se considere a ação do vento como umtodo, ao utilizar como estratégia um sistema passivo. Muitas vezes, práticas básicas de projeto arquitetônico são negligenciadas por responsáveis técnicos da área ao apontarem elementos utilizados durante o planejamento e construção de uma edificação – objetos estes conceituados por Martinez (2000) como partes físicas de uma edificação. Logo, não se trata apenas de utilizar determinadas esquadrias, como também de aliar isto a outras estratégias que podem ser adotadas ao longo da concepção projetual.

Ao mencionar práticas de projeto, ressalta-se que cada projeto é único e estudos constantes relacionados à melhores alternativas para intervenções ou técnicas utilizadas durante a concepção do projeto arquitetônico, devem ocorrer considerando sempre as condições climáticas referentes à região do projeto. Além disto, deve-se atentar as normativas vigentes. Para fins de compreensão da Norma de Desempenho o Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU) disponibiliza em sua *homepage* um Guia para Arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho (ABNT - NBR 15.575).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao retomar o objetivo geral desta dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo: verificar a ventilação natural externa e interna de compartimento hospitalarselecionado do Hospital Independência, na cidade de Porto Alegre, localizada no estado do Rio Grande do Sul. Lembrando que a edificação foi construída utilizando arquitetura modular, especialmente para o tratamento de pacientes infectados durante a pandemia de COVID-19. Conclui-se que este estudo tem grande importância não apenas na verificação da ventilação natural em área próxima externa e compartimento interno do objeto de estudo, como também para fins de promoção de *insights* para outros estudos relacionados ao tópico. Haja vista que esta dissertação de mestrado pode instigar futuros estudos que auxiliem na compreensão desta temática de forma mais abrangente, haja vista que se trata de um assunto pertinente em proporções mundiais.

O fluxo de ar dentro do setor amostrado do Hospital Independência, impulsionado por ventilação natural e ações do vento, foi analisado através de uma projeção 3D em BIM da edificação construída de forma modular, para, então, serem realizadas as simulações propostas. Mencionando-se os resultados, quando as janelas estão totalmente abertas, a ventilação natural, por vezes, demonstrou certa incapacidade de manter a quantidade recomendada de ventilação considerada adequada para pacientes COVID-19. Os padrões e a velocidade do vento também variam de acordo com a estação e fatores meteorológicos. Por isso, é difícil manter a consistência ao contar apenas com os padrões climáticos locais para ventilar os quartos.

A análise de *clusters* demonstrou as variações da ventilação natural entre os pontos amostrados, o que permitiu um melhor entendimento relacionado à intensidade e velocidade do vento. Para um trabalho futuro, recomenda-se a avaliação de diferentes modelos de turbulências. Blocken (2018) afirma que alguns dos modelos de turbulência mais usados em simulação de construção estão disponíveis nestas opções: o padrão k-ε, o RNG k-ε e alguns modelos k-ω. Este autor indica que o modelo RNG k-ε é um pouco mais preciso do que o padrão k-ε, mas requer mais *hardware* computacional. O oficial site da *Autodesk CFD* (2021) recomenda começar com o modelo k-ε padrão e, em seguida, a alternância para RNG depois que o fluxo estiver quase totalmente convergido.

Jacobs (1961) afirma que os locais são caracterizados através da dinâmica de atividades nele executadas. Para tanto, destaca-se a importância de se compreender a relação do objeto de estudo deste artigo com seu entorno. Portanto, fez-se necessária a continuidade deste estudo por meio da análise ventilação no entorno do objeto de estudo, em que se compreendeu a importância da edificação para o local em que se situa. Concluiu-se que o hospital se insere bem em seu entorno, afinal, possui bom acesso viário – com ruas largas e com a presença de diversas faixas para pedestres e paradas de ônibus para transporte público nas vias principais. Porém, há a falta de tais recursos nas proximidades ao Morro Santana, onde há diversas

ocupações irregulares, há a presença de áreas arbóreas, comércio, residências e instituições no local.

As análises foram possíveis através de uma análise urbana do local, considerando como estudo do solo a topografia existente, a observação de cheios ou vazios da áreaselecionada, o mapeamento das áreas verdes, bem como o apontamento do uso do solo por parte das edificações existentes e um mapeamento viário do local. Este estudo foi posteriormente aliado a simulações em *Computational Fluid Dynamics* (CFD) por meio do *software* Flow Design. As análises iniciais permitiram compreender os resultados obtidos através das simulações, as quais demonstraram forte influência da topografia, presença de massa vegetativa e edificações em altura na região. Percebem-se maiores níveis de ventilação em que o relevo é mais acidentado (2.624 m/s e 3.214 m/s). Em maior altitude os índices se mantêm entre 1.856 m/s e 2.624 m/s, enquanto que na camada próxima as edificações há locais onde registra-se velocidade nula (=0).

Haja vista o fluxo contínuo e em determinados locais a permanência de pessoas, é necessário que ocorra o planejamento estratégico de novas edificações e frequentemente avaliações de espaços já existentes. Que, como este – funcionam para o cuidado e tratamento da saúde da população – na eventualidade de não apenas o SARS-CoV-2 pode tornar ambientes expostos a doenças ou ainda inutilizados, como também outros vírus transmitidos pelo ar. É imprescindível que sejam realizadas de forma periódica avaliações como esta, assim como a utilização de parâmetros institucionais e/ou órgãos como a ASHRAE, que mede os níveis de qualidade do ar interior baseado em quatro elementos: o controle da fonte de contaminação; a ventilação desejada; o controle da umidade e a filtração adequada (MERMET, 2005).

Por meio deste estudo, pôde-se verificar a ventilação natural em compartimento interno hospitalar do objeto de estudo, bem como nas proximidades da edificação. Através desta dissertação de mestrado foi possível compreender como ocorre a ventilação natural noslocais analisados e, desta maneira, entender a dinâmica das partículas responsáveis pelocontágio viral através do ar, ou seja, como ocorre a contaminação do SARS-CoV-2 através da ventilação. Em vista disso, foi possível também compreender a relação do HospitalIndependência com seu entorno, além de fornecer insights para a continuidade desta pesquisa.

Destaca-se que esta dissertação de mestrado foi realizada no período da pandemia da COVID-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, nos anos de 2020 a 2022. Portanto, os dados mencionados neste estudo são referentes a esta época. Ao considerar a data de desenvolvimento do trabalho, destaca-se as seguintes limitações: cogitou-se a instalação de sensores para medições mais apuradas, não sendo possível contato físico com a edificação devido a forma de contagio da doença. Como também, os Comitês de Ética em Pesquisa estavam restringindo entrevistas com usuários do espaço. Destaca-se também que a média de ventilação adotada para o ar interno é diferente dos resultados obtidos nas simulações externas pois o desenvolvimento

não seguiu esta mesma ordem, outro fator importante é que o *software* Autodesk Flow Design não está mais disponível no mercado.

Portanto, como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação de diferentes modelos de turbulências, como também a análise de outros cômodos do Hospital Independência e verificar os níveis de qualidade do ar interior sugerido pela ASHRAE. Isto permitirá melhor compreensão para futuros projetos ou mesmo para o aproveitamento do local em seu novo uso. Pode-se considerar também como alternativa para a continuidade desta pesquisa a realização de um estudo da forma, para que seja assim analisada a disposição de cômodos e esquadrias ao longo de toda a edificação – fator este que interfere de maneira direta no sentido e fluxo da ventilação.

Outra sugestão de trbalho futuro e motivada pelas seguintes perguntas: Para onde o vírus se desloca? Qual seu comportamento após um tempo? Assim como, aponta-se medições por meio de sensores para comparativos relacionando a eficiência dos *softwares* uilizados.

Haja vista que as partículas virais se deslocam por longas distâncias, torna-se imprescindível verificar qual a distância máxima em que o contágio pode ocorrer. Para tanto, é recomendado também a realização de um estudo com raio de maior abrangência em meio urbano, possibilitando, desta forma, que se observe a ventilação no local, considerando os desníveis topográficos presentes na região.

A partir disso, destaca-se a compreensão da área em que o objeto de estudo seencontra inserido, sendo imprescindível entender a influência e formação do local em âmbito histórico. Assim, é possível também que o presente estudo – dissertação de mestrado – seja continuado por meio de um viés analítico espacial, abordando pesquisas na área de morfologia urbana, podendo, desta forma, compreender também a formação das ocupações irregulares ao longo do Morro Santana e como se dá a dinâmica construtiva no local, haja vista a falta de infraestrutura urbana e a topografia acidentada.

Em linhas gerais, diversas situações motivaram a realização deste estudo, inicialmente o desejo de compreender sobre a temática da arquitetura hospitalar, posteriormente – com o cenário pandêmico – a oportunidade de analisar uma edificação construída de forma modular e de caráter emergencial. O direcionamento adotado a partir disso, foi realizar um estudo relacionado à propagação viral, por meio da ventilação natural no local e, por conseguinte, no entorno imediato a edificação. Diante disso, espera-se que esta dissertação de mestrado tenha cumprido seu intento e alcançado os objetivos propostos.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15.215: iluminação natural: parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005.

ABRIL. **Anexo pré-fabricado aumenta leitos de hospital no combate à Covid-19**. 2020. Disponível em: https://casa.abril.com.br/arquitetura/anexo-pre-fabricado-aumenta-leitos-de-ETAPAS.

ADAMU, Z, A; PRICE, A, D, F; COOK, M, J. Performance evaluation of natural ventilation strategies for hospital wards: a case study of Great Ormond Street Hospital. **Building and Environment**, v. 56, p. 211-222, 2012.

AGÊNCIA BRASIL. OMS reconhece evidências sobre transmissão da covid-19 pelo ar. **Agência Brasil**, Website, 8 jun. 2020. Disponível em:

https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2020-07/oms-reconhece-evidencias-sobre-transmissao-da-covid-19-pelo-ar. Acesso em: 20 jul. 2020.

AGHALARI, Zahra; DAHMS, Hans-Uwe; SOSA-HERNANDEZ, Juan Eduardo; OYERVIDES-MUÑOZ, Mariel A.; PARRA-SALDÍVAR, Roberto. Evaluation of SARS-COV-2 transmission through indoor air in hospitals and prevention methods: a systematic review. **Environmental Research**, [S.L.], v. 195, p. 110841, abr. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2021.110841.

AHMED, Tariq; KUMAR, Prashant; MOTTET, Laetitia. Natural ventilation in warm climates: the challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 138, p. 110669, mar. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.110669.

AIA (The American Institute of Architects). **Document G202TM – 2013: Project Building Information Modeling Protocol Form.** Disponível em: http://aiad8.prod.acquia-sites.com/sites/default/files/2016-09/AIA-G202-2013-Free-Sample-Preview.pdf . Acesso em: julho 2020.

ALLOCCA, C; CHEN, Q; GLICKSMAN, L, R. Design analysis of single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 785-795, 2003.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **Building Information Modeling Protocol Exhibit** – E202. AIA Document E202TM. 2008.

ANDRADE, F, C, D. **Uma poética da técnica:** a produção da arquitetura vernacular no Brasil. 2016. 1 recurso online, 276 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, SP. Disponível em: http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/320977>. Acesso em: 24 mar. 2021.

ANVISA. Regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/anexo/anexo_prt0050_21_02_2002.pd f. Acesso em: 20 set. 2020.

ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society

of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 1992. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005..

AUTODESK. **Computational Fluid Dynamics for AEC**. Disponível em: https://www.autodesk.com/campaigns/cfd2020. Acesso em: 15 ago. 2021.

AVIV, Dorit; CHEN, Kian Wee; TEITELBAUM, Eric; SHEPPARD, Denon; PANTELIC, Jovan; RYSANEK, Adam; MEGGERS, Forrest. A fresh (air) look at ventilation for COVID-19: estimating the global energy savings potential of coupling natural ventilation with novel radiant cooling strategies. **Applied Energy**, [S.L.], v. 292, p. 116848, jun. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116848.

AYATA, T; YILDIZ, O. Investigating the potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 8, p. 959-963, 2006.

BABORSKA-NAROZNY, M *et al.* Climate justice: air quality and transitions from solid fuel heating. **Buildings And Cities**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 120-140, 2020. Ubiquity Press, Ltd.. http://dx.doi.org/10.5334/bc.23. Disponível em: https://journal-buildingscities.org/articles/10.5334/bc.23/. Acesso em: 10 fev. 2021.

BARUA, A. Methods for decision-making in survey questionnaires based on likert scale. **Journal Of Asian Scientific Research**, Malaysia, v. 1, n. 3, p. 35-38, 2013.

BASSAS, E, C; PATTERSON, J; JONES, P. A review of the evolution of green residential architecture. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 125, p. 109796, jun. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.109796.

BATCHELOR, G. K. An Introduction to Fluid Dynamics (Cambridge Mathematical Library), Cambridge University Press, 2000.

BATTY, M. Building a science of cities. **Cities**, [S.L.], v. 29, n., p. S9-S16, mar. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2011.11.008.

BETTENCOURT, L, M. A. The Origins of Scaling in Cities. **Science**, [S.L.], v. 340, n. 6139, p. 1438-1441, 21 jun. 2013. American Association for the Advancement of Science (AAAS). http://dx.doi.org/10.1126/science.1235823.

BETTENCOURT, L; WEST, G. A unified theory of urban living. **Nature**, [S.L.], v. 467, n. 7318, p. 912-913, out. 2010. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/467912a.

BEVILAQUA, C. P *et al.* Análise da ventilação natural: simulações CFD e ensaios em um modelo físico reduzido. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019022, 30 maio 2019. DOI:https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652835.

BITENCOURT, F. Espaço e promoção de saúde: a contribuição da arquitetura ao confortodos ambientes de saúde. **Saúde em Foco/Informe epidemiológico em Saúde Coletiva**. Secretaria Municipal de Saúde da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Nº 23 issn 1519-5600.

BRASIL AO CUBO. **QUEM SOMOS**. 2020. Disponível em: https://brasilaocubo.com/. Acesso em: 11 set. 2020.

BREGATTO, P, R. Coordenação Modular - Parte 1: breve história e aspectos importantes. Breve história e aspectos importantes. 2008. Disponível em:

http://bregatto.blogspot.com/2008/09/coordenao-modular-parte-i.html. Acesso em: 20 out. 2020.

BURIOL, A, K; ADELI, G. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**: Ciênias naturais e tecnológicas, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, mar. 2001. Disponível em: https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1136. Acesso em: 10 out. 2021.

CANDIDO, C.; BITTENCOURT, L. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: Edufal, 2006.

CARDINALE, N; ROSPI, G; STEFANIZZI, P. Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: the sassi district of matera and the trulli district of alberobello. **Building And Environment**, [S.L.], v. 59, p. 590-598, jan. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.006.

CAO, Yaxin; SHAO, Longyi; JONES, Tim; OLIVEIRA, Marcos L.s.; GE, Shuoyi; FENG, Xiaolei; SILVA, Luis F.O.; BÉRUBÉ, Kelly. Multiple relationships between aerosol and COVID-19: a framework for global studies. **Gondwana Research**, [S.L.], v. 93, p. 243-251, maio 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2021.02.002.

CARPMAN, J, R, GRANT, M, A. Design that cares: planning health facilities for patients and visitors. **Chicago**: Publishing, 1986.

CARVALHO *et al.* Regressão linear geograficamente ponderada em ambiente SIG. **Transportes**, Anpet, v. 14, n. 2, p. 18-26, dez. 2006. Disponível em: https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/65/54. Acesso em: 31 jul. 2020. CASTELO, J. L. D. C. - **construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos**. 2008. 278 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – F.e.u.P., Universidade do Porto, Porto, 2008.

CASTELO, J. L. D. C. Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado a realização de edifícios metálicos. 2008. 278 f. Tese (Tese) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MestrAntigo/DESENVOL%20SIST EMA%20EDIFICIOS%20METALICOS.pdf. Acesso em: 06 Jun. 2019.

CHEN, L *et al*. Modular composite building in urgent emergency engineering projects: a case study of accelerated design and construction of wuhan thunder god mountain/leishenshan hospital to covid-19 pandemic. **Automation In Construction**, [S.L.], v. 124, p. 103555, abr. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103555.

CIRQUEIRA, C, B, R, Pl. A coordenação modular como ferramenta de projeto de arquitetura e levantamento de componentes normatizados no mercado da construção civil do distrito federal. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em:

https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18147/1/2015_ClarissaBelledeRezendePimentelCi queira.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

COMIRAN, S. Conforto e desempenho térmico em hospitais: estudo de caso na área de internação do hospital universitário de Santa Maria/RS. 2014. 156 f. Tese (Mestrado) - Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

- CONVERTINO, F; TURI, S; STEFANIZZI, P. The color in the vernacular bioclimatic architecture in Mediterranean region. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 126, p. 211-218, set. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.142. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217336287?via%3Dihub. Acesso em: 20 nov. 2020.
- CORBELLA, O, D. Perspective of bioclimatic architecture in brazil. **Passive And Low Energy Ecotechniques**, [S.L.], p. 326-339, 1985. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-031644-4.50024-2.
- COSTEIRA, E, M, A. **Arquitetura hospitalar:** história, evolução e novas visões. **Revista Sustinere**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 57-64, 16 dez. 2014. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. http://dx.doi.org/10.12957/sustinere.2014.14127.
- CUNHA, E, G. **Elementos de arquitetura de climatização natural:** método projetual buscando a eficiência nas edificações. Porto Alegre: Masquatro, 2006.
- DAEMEI, A *et al.*. Study on wind aerodynamic and flow characteristics of triangular-shaped tall buildings and CFD simulation in order to assess drag coefficient. **Elsevier**, [*S. l.*], v. 10, n. 3, p. 541-548, 25 set. 2019. DOI 10.1016/j.asej.2018.08.008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447919300255. Acesso em: 19 jul. 2021.
- DAHL, T. Climate and architecture. Abingdon, United Kingdom: Routledge, 2009.
- DESOGUS, G; CANNAS, L, G, F; SANNA, A. Bioclimatic lessons from Mediterranean vernacular architecture: the sardinian case study. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 129, p. 574-588, out. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.051.
- DEWEES, T, A *et al*. Investigation Into the Effects of Using Normal Distribution Theory Methodology for Likert Scale Patient-Reported Outcome Data From Varying Underlying Distributions Including Floor/Ceiling Effects. **Value In Health**, [s.l.], p. 1-7, mar. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jval.2020.01.007.
- DOMINGO, J, L; MARQUÈS, M; ROVIRA, J. Influence of airborne transmission of SARSCoV-2 on COVID-19 pandemic. **A review**. Environ. Res. 414, 109861, 2020.
- DRAGANOV, P, B; SANNA, M, C. Architectural drawings from hospitals described in Florence Nightingale's "Notes on hospitals" book. Hist Enferm Rev Eletrônica [Internet]. 2017 [cited 2018 Jun 10];8(2):94-105. Available from: http://here.abennacional.org.br/here/v8/n2/a04.pdf
- ELERT, K *et al.* Traditional roofing with sandstone slabs: implications for the safeguarding of vernacular architecture. Journal Of Building Engineering, [S.L.], v. 33, p. 101857, jan. 2021. **Elsevier BV**. http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101857. em: 05 maio 2020.
- FERNANDES, J *et al.* Passive strategies used in Southern Portugal vernacular rammed earth buildings and their influence in thermal performance. **Elsevier**, Website, ano 2019, v. 142, p. 345-363, 28 abr. 2019. DOI 10.1016/j.renene.2019.04.098. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119305828 via%3Dihub. Acesso em: 30 abr. 2021.

- FERNANDES, J *et al.*. Contribution of Portuguese Vernacular Building Strategies to Indoor Thermal Comfort and Occupants' Perception. **Buildings**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 1242-1264, 17 nov. 2015. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/buildings5041242.
- FERNANDES, J; MATEUS, R; BRAGANÇA, L. The potential of vernacular materials to the sustainable 833 building design, in: M. Correia, G. Carlos, S. Rocha (Eds.), **Vernac. Herit. Earthen Archit**. 834 Contrib. Sustain. Dev, CRC Press, Vila Nova da Cerveira, Portugal, 2013: pp. 623–629. 835 doi: 10.1201/b15685.
- FERNÁNDEZ-ZAYAS, J, L; VILLA-MEDINA, J, F; VALLE, N, C, D; PORTA-GÁNDARA, M, N. Experimental analysis of natural ventilation of an office building in Mexico city. **Case Studies in Thermal Engineering,** 28, 101661, 2021. https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101661.
- FONSECA, I, C, L *et al.* Avaliações de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, p. 41-58, jun. 2010.
- FORUZANMEHR, A; VELLINGA, M. Vernacular architecture: questions of comfort and practicability. **Building Research & Information**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 274-285, jun. 2011. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2011.562368.
- FREITAS, F, M, C. **Construção modular sustentável:** propostas de um projeto tipo. 2014. 307 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Mestrado em Construções Civis na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Instituto Politécnico de Viana de Castelo, Portugal, 2014. Disponível em: http://hdl.handle.net/20.500.11960/1146. Acesso em: 20 ago. 2020.
- GENERALOVA, E, M *et al.* Buildings in Modern Construction. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 153, p. 167-172, 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.098.
- GODOY, A, M, G. Mercado imobiliário? Planejamento público? Qual a controvérsia na ocupação do solo urbano? **Textos de Economia**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 11-37, 12 nov. 2009. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
- GÓES, R. **Manual prático de arquitetura hospitalar**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2004.
- GRALA, C, E. Brise-soleil: da estética à eficiência energética. Arquitextos, São Paulo, ano 11, n. 131.07, **Vitruvius**, abr. 2011. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.131/3844. Acesso em: 15 set. 2020.
- GRATIA, E; BRUYÈRE, I; HERDE, A. How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. **Building And Environment**, [S.L.], v. 39, n. 10, p. 1157-1170, out. 2004. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.005. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304000757. Acesso em: 05 out. 2020.

GROSTEIN, M, D. METRÓPOLE E EXPANSÃO URBANA: a persistência de processos. **São Paulo em Perspectiva**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 13-19, jan. 2001. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0102-88392001000100003. Disponível em: https://www.scielo.br/j/spp/a/mRWNMjWxbhGqfvZJkrdryDG/?lang=pt. Acesso em: 23 out. 2021.

HADEI, M *et al.* A letter about the airborne transmission of SARS-CoV-2 based on the current evidence. **Aerosol Air Qual. Res.** 20, 911–914, 2020.

HADEI, Mostafa; MOHEBBI, Seyed Reza; HOPKE, Philip K.; SHAHSAVANI, Abbas; BAZZAZPOUR, Shahriyar; ALIPOUR, Mohammadreza; JAFARI, Ahmad Jonidi; BANDPEY, Anooshiravan Mohseni; ZALI, Alireza; YARAHMADI, Maryam. Presence of SARS-CoV-2 in the air of public places and transportation. **Atmospheric Pollution Research**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 302-306, mar. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2020.12.016.

HERNANDES, P. **Entenda os relatórios de análise de fluidos**. 2020. Disponível em: https://www.alsglobal.com/%2Fpt-br%2Fnews%2Fartigos%2F2020%2F03%2Fentenda-os-relatrios-de-anlise-de-fluidos. Acesso em: 23 jan. 2021.

HOLDRIDGE, L, R. **Life zone ecology**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2000.

HOPKINSON, R, G; K KAY, J, D. **The lightning of buildings**. New York: Frederick A. Praeger, Inc. Publishers, 1969. hospital-no-combate-a-covid-19/. Acesso em: 31 jul. 2020.

HOYET, N; DUCHENE, F; DE FOUQUET, M. BIM et Architecture. Malakoff: Ed. Dunod, 2016.

 $http://dx.doi.org/10.5007/2175-8085.2009v12n1p11.\ Disponível\ em:$

https://periodicos.ufsc.br/index.php/economia/article/view/2175-8085.2009v12n1p11. Acesso em: 20 jul. 2020.

HUSSERL, E. **A ideia da fenomenologia**. Rio de Janeiro: Edições 70, 1950. 133p. IBGE. Cidades e estados: porto alegre. Porto Alegre. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/porto-alegre.html. Acesso em: 22 out. 2021.

IBGE. **CLIMA**: educa. Educa. Conheça o Brasil - Território. Disponível em: https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/20644-clima.html#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20um%20pa%C3%ADs,em%20quase%20to do%20o%20territ%C3%B3rio.&text=J%C3%A1%20o%20clima%20tropical%20varia,regi%C3%A3o%20mais%20fria%20do%20pa%C3%ADs.. Acesso em: 12 abr. 2021.

IBGE. **Porto Alegre**: serviços de saúde. Serviços de saúde. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/pesquisa/32/28163. Acesso em: 22 out. 2021.

INMET. **Climate archives**. 2016. Brazilian Institute Of Meteorology. Disponível em: http://www.mme.gov.br/projeteee/dados-climaticos/. Acesso em: 12 fev. 2021.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment. 3 ed. Geneva: International Standard, 2005.

JACOBS, J. Morte e vida de grandes cidades. São Paulo: Martins Fontes, 1961.

JANSI, R. Sagaya; KHUSRO, Ameer; AGASTIAN, Paul; ALFARHAN, Ahmed; AL-DHABI, Naif Abdullah; ARASU, Mariadhas Valan; RAJAGOPAL, Rajakrishnan; BARCELO, Damia; AL-TAMIMI, Amal. Emerging paradigms of viral diseases and paramount role of natural resources as antiviral agents. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 759, p. 143539, mar. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143539.

JAYWANT, A; SHANKAR, P, N. Ludwig Prandtl and boundary layers in fluid flow. **Resonance** 5, no. 12 (2000): 48-63.

JUSBRASIL. **Artigo 176 do Decreto Lei nº 5.452 de 01 de Maio de 1943**: clt - decreto lei nº 5.452 de 01 de maio de 1943. CLT - Decreto Lei nº 5.452 de 01 de Maio de 1943. Disponível em: https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10745612/artigo-176-do-decreto-lei-n-5452-de-01-de-maio-de-1943. Acesso em: 12 nov. 2021.

KENARKOOHI, Azra; NOORIMOTLAGH, Zahra; FALAHI, Shahab; AMARLOEI, Ali; MIRZAEE, Seyyed Abbas; PAKZAD, Iraj; BASTANI, Elham. Hospital indoor air quality monitoring for the detection of SARS-CoV-2 (COVID-19) virus. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 748, p. 141324, dez. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141324.

KHANDIA, R *et al.* Emergence of SARS-CoV-2 Omicron (B.1.1.529) variant, salient features, high global health concerns and strategies to counter it amid ongoing COVID-19 pandemic. **Environmental Research**, 209, 112816, (2022). https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112816

KLOMPAS, M; BAKER, M, A; RHEE, C. Airborne Transmission of SARS-CoV-2: theoretical considerations and available evidence. Jama, [S.L.], v. 324, n. 5, p. 441, 4 ago. 2020. **American Medical Association (AMA).** http://dx.doi.org/10.1001/jama.2020.12458.

KOLOKOTRONI, M. Ventilation for cooling. In: SANTAMOURIS, M. (Ed.). **Advances in passive cooling**. London: Earthscan, 2007.

KÖPPEN, William. Climatologia. México, Fundo de Cultura Econômica, 1931.

KRÜGER, E. L. *et al.* Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort and Air Quality From Field Measurements in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, v. 46, n. 3, p. 621-634, 2011.

KÜNAST, L, C, P. Clima Temperado. **Todo Estudo**. Disponível em: https://www.todoestudo.com.br/geografia/clima-temperado. Acesso em: 08 de October de 2021.

LABAKI, L, C.; KOWALTOWSKI, D, C.C.K.. Bioclimatic and vernacular design in urban settlements of Brazil. **Building And Environment**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 63-77, jan. 1998. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323(97)00024-3.

LAKATOS, E, M; MARCONI, M, A. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F, O, R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 2014.

LAWSON, M. - Technical: Building using modules. New Steel Construction, 2007.

LÓPEZ, Jorge Hernández; ROMO, Álvaro Santos; MOLINA, Daniel Coronado; HERNÁNDEZ, Gerardo Álvarez; CUREÑO, Ángel Benjamín Gutiérrez; ACOSTA, Magali Avilés; GAXIOLA, Carlos Andrés Avilés; FÉLIX, Marcos José Serrato; GALVÁN, Teresa Gollas. Detection of Sars-Cov-2 in the air of two hospitals in Hermosillo, Sonora, México, utilizing a low-cost environmental monitoring system. **International Journal Of Infectious Diseases**, [S.L.], v. 102, p. 478-482, jan. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.089.

LOU, Lun; SHOU, Dahua; PARK, Huiju; ZHAO, Dongliang; WU, Yuen Shing; HUI, Xiaonan; YANG, Ronggui; KAN, Edwin Chihchuan; FAN, Jintu. Thermoelectric air conditioning undergarment for personal thermal management and HVAC energy saving. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 226, p. 110374, nov. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110374.

LOVELL, J. Building envelopes an integrated approach. New York: Princeton Architectural Press, 2010. Acesso em: 31. Jun. 2020

LUKIANTCHUKI, M, A; CARAM, R, M. **Análise do conforto térmico na obra de João Filgueiras Lima, Lelé:** hospitais SARAH de Salvador e do Rio De Janeiro. Paranoá, Brasília, no 12, p. 33-44, 2014.

LUO *et al*. Ultra-rapid delivery of specialty field hospitals to combat COVID-19: lessons learned from the leishenshan hospital project in wuhan. **Automation In Construction**, [S.L.], v. 119, p. 103345, nov. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103345.

MAGNER, L, N. A history of medicine. New York: Marcel Dekker, 1992.

MALARD, M, L *et al*. Avaliação pós-ocupação, participação de usuários e melhoria de qualidade de projetos habitacionais: uma abordagem fenomenológica. **Coletânea Habitare**, São Paulo, v. 1, p. 242-267, 2002.

MANNING, R.; MESSNER, J. Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities. ITcon Vol. 13 (2008), pg. 446-457.

MARCONI, M, A; LAKATOS, E, M. **Técnicas de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

MARICATO, E. Para Entender a Crise Urbana. São Paulo: Expressão Popular, 2015.

MARQUES, A, C. A Análise Ambiental em Diálogo com a Ferramenta BIM. 2017. f 130. Tese (Doutorado em Ciência da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MARTINS, E, M; FORTES, J, D, N; LESSA, R, A. Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos: avaliação de modelos de dispersão de poluentes emitidos por veículos. **Revista Internacional de Ciências**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 2-19, 7 jul. 2015. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. http://dx.doi.org/10.12957/ric.2015.14498.

MENEGAT, R (Coord). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed da Universidade/UFRGS, 1998.

MERMET, A. G. **Ventilación natural de edifícios.** Buenos Aires: Eduardo Yarke – Nobuko, 2005.

MERSCHBROCK, C; MUNKVOLD, B, E. Effective digital collaboration in the construction industry – A case study of BIM deployment in a hospital construction project. **Computers In Industry**, [S.L.], v. 73, p. 1-7, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.003.

METEOBLUE. **Wind rose of Porto Alegre.** 2021. Disponível em:

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/basilea_suiza_2661604. Acesso em: 12 fev. 2021.

MINKE, G. **Building with Earth:** design and technology of a sustainable architecture. Basel: Birkhäuser Basel, 2006.

MORA-PÉREZ, M; GUILLÉN-GUILLAMÓN, Io; LÓPEZ-JIMÉNEZ, P. Amparo. Computational analysis of wind interactions for comparing different buildings sites in terms of natural ventilation. **Advances In Engineering Software**, [S.L.], v. 88, p. 73-82, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.06.003.

MORAWSKA, L *et al.* Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. **Journal Of Aerosol Science**, [S.L.], v. 40, n. 3, p. 256-269, mar. 2009. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.11.002.

MORAWSKA, L; MILTON, D, K. It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). **Clinical Infectious Diseases**, [S.L.], v. 9, n. 71, p. 1-9, 6 jul. 2020. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1093/cid/ciaa939. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32628269/. Acesso em: 15 jan. 2021.

MORAWSKA, L. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? **Indoor Air**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 335-347, out. 2006. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x. MORAWSKA, L; CAO, J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. Environ. Int. 139, 105730, 2020.

MORAWSKA, L; MILTON, D, K. It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). **Clinical Infectious Diseases**, [S.L.], p. 2311-2313, 6 jul. 2020. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1093/cid/ciaa939.

MOREIRA, D, C. Os principios da sintese da forma e a análise de projetos arquitetonicos. 2007. 351f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258191. Acesso em: 25 jun. 2020.

MUGA, H. **Psicologia da Arquitectura**. Vila Nova de Gaia: Edições Gailivro, Lda., 2005.

NECKEL, Alcindo; KORCELSKI, Cleiton; KUJAWA, Henrique Aniceto; SILVA, Izabella Schaefer da; PREZOTO, Fábio; AMORIN, Anderson Luis Walker; MACULAN, Laércio Stolfo; GONÇALVES, Affonso Celso; BODAH, Eliane Thaines; BODAH, Brian William. Hazardous elements in the soil of urban cemeteries; constructive solutions aimed at sustainability. **Chemosphere**, [S.L.], v. 262, p. 128248, jan. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128248.

NEMOTO, T; BEGLAR, D. Developing Likert-scale questionnaires. In N. SONDA & A. Krause (Eds.), JALT2013 **Conference Proceedings.** Tokyo: JALT, (2014).

NESSEN, M, S, C. The mobile modular surgical hospital: the army medical department's future unit of action. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Master

Of Military Art And Science, Faculty Of The U.s. Army Command And General Staff College, Fort Leavenworth, Kansas, 2005.

NGUYEN, A *et al.* Studies on sustainable features of vernacular architecture in different regions across the world: a comprehensive synthesis and evaluation. Frontiers Of Architectural Research, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 535-548, dez. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2019.07.006.

NICO-RODRIGUES, E, A. **Janelas X ventilação:** modelo de apoio à escolha de janelas para edificações multifamilhares em vitória, es.. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

NIGHTINGALE F. Notes on hospitals. London: Dover Publications Inc, 2015.

NOCERA, F *et* al. Energetic Retrofit Strategies for Traditional Sicilian Wine Cellars: a case study. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 12, p. 3237, 22 jun. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/en13123237.

OLENKOV, V D; LAZAREVA, I, V; BIRYUKOV, A, D. Numerical simulation of wind flow around building complex with different software approaches. **Iop Conference Series**: Materials Science and Engineering, [S.L.], v. 687, p. 055066, 10 dez. 2019. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/687/5/055066.

OLIVEIRA, Marcos L.s.; NECKEL, Alcindo; PINTO, Diana; MACULAN, Laércio Stolfo; ZANCHETT, Matheus Roberto Dalmagro; SILVA, Luis F.O.. Air pollutants and their degradation of a historic building in the largest metropolitan area in Latin America. **Chemosphere**, [S.L.], v. 277, p. 130286, ago. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130286.

PAROLI, Eliziéle Nunes. **A cidade como uma rede de interconexões sociais : uma abordagem configuracional**. 2019. 101 f. Dissertação (Dissertação) - Curso de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/204558. Acesso em: 20 set. 2021.

PARRACHA, J, L *et* al. Vernacular earthen buildings from Leiria, Portugal – Architectural survey towards their conservation and retrofitting. Journal Of Building Engineering, [S.L.], v. 35, p. 102115, mar. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102115.

PATINHA, S. M. P. A. Construcao Modular – Desenvolvimento da Ideia: Casa PBE. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. Sobre o Programa Brasileiro de Etiquetagem. 2018. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sobre. Acesso em: 30 out. 2018.

PERONDI, Beatriz; MIETHKE-MORAIS, Anna; MONTAL, Amanda C.; HARIMA, Leila; SEGURADO, Aluisio C.. Setting up hospital care provision to patients with COVID-19: lessons learnt at a 2400-bed academic tertiary center in são paulo, brazil. **The Brazilian Journal Of Infectious Diseases**, [S.L.], v. 24, n. 6, p. 570-574, nov. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.bjid.2020.09.005.

PETERSON, F *et al.* Teaching construction project management with BIM support:: Experience and lessons learned. **Elsevier**, [*S. l.*], ano 2011, v. 20, n. 2, p. 115-125, mar. 2011. DOI 10.1016/j.autcon.2010.09.009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051000138X. Acesso em: 12

jul. 2020.planning health facilities for patients and visitors. Chicago: American Hospital.

POSSEBOM, A *et al.* Ventilação cruzada. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5., 2016, Passo Fundo. **Anais**. Passo Fundo: Imed, 2016. v. 1, p. 1 - 4.

PROVIDÊNCIA, D. **Hospital Independência inicia atendimento para Covid-19**. 2020. Disponível em: http://divinaprovidencia.org.br/noticias/2020/06/15/hospital-independencia-inicia-atendimento-para-covid-19/. Acesso em: 30 jul. 2020.

QUADROS, B, M; MIZGIER, M, O. Conforto térmico em ambientes de internação hospitalar naturalmente ventilados. **Ambient. constr.**, Porto Alegre , v. 20, n. 2, p. 113-134, June 2020 . Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000200113&lng=en&nrm=iso. access on 11 Sept. 2020. Epub May 08, 2020. https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200391.

QUEIRÓZ, G. R. Análise da interoperabilidade entre os programas computacionais Autodesk Revit e Energyplus para asimulação térmica de edificações. 2016. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

QUEIRÓZ, G, R et al. Simulação De Iluminação Natural No Autodesk Revit Conforme Normativas Brasileiras. ENCAC, João Pessoa, 2019.

RAEVSKIKH, E. Anticipating the "Bilbao effect": transformations of the city of arles before the opening of the luma foundation. **Cities**, [S.L.], v. 83, p. 92-107, dez. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2018.06.012.

RAJANAYAGAM, H *et al.* A-State-Of-The-Art review on modular building connections. **Structures**, [S.L.], v. 34, p. 1903-1922, dez. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.114.

RAMOS, A. T. Prefab Perfection. Essential Lisboa, 2007.

RIO GRANDE DO SUL, Secretaria da Saúde. 1ª CRS (Passo Fundo): Municípios. *In*: **1ª CRS (Porto Alegre)**: Municípios. [*S. l.*], 30 jul. 2020. Disponível em: https://saude.rs.gov.br/1-crs-porto-alegre. Acesso em: 30 jul. 2020.

ROBOTTO, Angelo; QUAGLINO, Paola; LEMBO, David; MORELLO, Marcello; BRIZIO, Enrico; BARDI, Luisella; CIVRA, Andrea. SARS-CoV-2 and indoor/outdoor air samples: a methodological approach to have consistent and comparable results. **Environmental Research**, [S.L.], v. 195, p. 110847, abr. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2021.110847.

RODRIGUES, L, S. Ventilação natural induzida pela ação combinada do vento e da temperatura em edificações. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

ROSENFIEL, I. **Hospitals: Integrated Design.** New York: Ed Reinhold Publishing Corporation, 1974.

ROSSI, A. A arquitetura da cidade. São Paulo: Martins Fontes, 1995.

RUAS, Álvaro César. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. São Paulo: Ministério do Trabalho Fundacentro, 1999. 97 p.

SAKIYAMA, N et al.. Natural ventilation potential from weather analyses and building

- simulation. **Energy and Buildings**, 231, 110596. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110596, 2021.
- SALJOUGHINEJAD, S; SHARIFABAD, S, R. Classification of climatic strategies, used in Iranian vernacular residences based on spatial constituent elements. **Building And Environment**, [S.L.], v. 92, p. 475-493, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.005.
- SAMPAIO, A, V, C, F. **Arquitetura hospitalar:** projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade. Proposta de um instrumento de avaliação. 2006. 396 f. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponíveis/16/16131/tde-23102006-175537/. Acesso em: 07 jun. 2020.
- SAMPAIO, A, V, C, F; CHAGAS, S, S. Avaliação de conforto e qualidade de ambientes hospitalares. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 155-1801, 11 nov. 2010. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informação Academica (AGUIA). http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v5i2.107.
- SANTOS, D, R, C. **O Fluxo como Condicionante na Arquitetura dos Hospitais**. 2013. 173 f. Dissertação (Mestrado) Ciclo de estudos integrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.
- SAUD FILHO, I, C. A coordenação modular como ferramenta de projeto de arquitetura e levantamento de componentes normatizados no mercado da construção civil do Distrito Federal. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Energia, Ambiente e Materiais, Federal Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2006.
- SECRETARIA DA SAÚDE. **Coordenadorias Regionais de Saúde**: municípios por coordenadoria. Municípios por coordenadoria. Disponível em: https://saude.rs.gov.br/crs. Acesso em: 22 out. 2021.
- SHIMODA, Y *et al.* Energy demand science for a decarbonized society in the context of the residential sector. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 132, p. 110051, out. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.110051.
- SIENA, O. **Metodologia da Pesquisa Científica:** Elementos para Elaboração e Apresentação de Trabalhos Acadêmicos. Gepes. Ppgmad. Departamento de Administração, Porto Velho: Unir, 2007.
- SHAO, Longyi; GE, Shuoyi; JONES, Tim; SANTOSH, M.; SILVA, Luis F.O.; CAO, Yaxin; OLIVEIRA, Marcos L.s.; ZHANG, Mengyuan; BÉRUBÉ, Kelly. The role of airborne particles and environmental considerations in the transmission of SARS-CoV-2. **Geoscience Frontiers**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 101189, set. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101189.
- SILVA, Nayane Laurentino da. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em Joao Pessoa/PB.** 2015. 151 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- SILVA, Luis F.O.; PINTO, Diana; NECKEL, Alcindo; DOTTO, Guilherme L.; OLIVEIRA, Marcos L.s.. The impact of air pollution on the rate of degradation of the fortress of Florianópolis Island, Brazil. **Chemosphere**, [S.L.], v. 251, p. 126838, jul. 2020. Elsevier BV.

http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126838.

- SILVA, Luis F.O.; SANTOSH, M.; SCHINDLER, Michael; GASPAROTTO, Juciano; DOTTO, Guilherme L.; OLIVEIRA, Marcos L.s.; HOCHELLA JUNIOR, Michael F.. Nanoparticles in fossil and mineral fuel sectors and their impact on environment and human health: a review and perspective. **Gondwana Research**, [S.L.], v. 92, p. 184-201, abr. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2020.12.026.
- SINGH, M, K; MAHAPATRA, S; ATREYA, S. K. **Bioclimatism and vernacular architecture of north-east India. Building and Environment**, n. 44, p.878-888, 2008. Disponível em: www.elsevier.com/locate/buildenv. Acesso em 23: mar. 2021.
- SINGH, M, M; SAWHNEY, A; BORRMANN, A. Modular coordination and BIM: **Development of rule based smart building components.** Elsevier, Creative Construction Conference 2015 (CCC2015), p. 1-9, 2015. DOI 10.1016/j.proeng.2015.10.104. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815032051. Acesso em: 12 jul. 2020.
- SINGH, M, K; MAHAPATRA, S; ATREYA, S, K. Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. **Building And Environment**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 320-329, fev. 2010. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.009.
- SKOOG, J; FRANSSON, N; JAGEMAR, L. Thermal environment in Swedish hospitals. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 37, n. 8, p. 872-877, ago. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.11.003.

SMAM. Áreas verdes. Disponível em:

http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p_secao=283. Acesso em: 05 nov. 2021.

- SMITH, E, V *et al.* Optimizing Rating Scales for Self-Efficacy (and Other) Research. **Educational And Psychological Measurement**, [S.L.], v. 63, n. 3, p. 369-391, jun. 2003. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/0013164403063003002.
- SOLNOSKY, R, L.; MEMARI, Ali M.; RAMAJI, Issa J. Structural BIM Processes for Modular Multi-story Buildings in Design and Construction. **2nd Residential Building Design & Construction Conference**, Pennsylvania State University, University Park, USA, p. 201-215, 13 jul. 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Issa_J_Ramaji/publication/272092243_Structural_BIM_Processes_for_Modular_Multi-

- story_Buildings_in_Design_and_Construction/links/54da99ff0cf2ba88a68d4d0d/Structural-BIM-Processes-for-Modular-Multi-story-Buildings-in-Design-and-Construction.pdf. Acesso em: 12 jul. 2020.
- SOUZA, J, F; SILVA, R, M; SILVA, A, M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa pb. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 21-37, jan. 2016. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100058.
- SOUZA, T, L. A importância do Morro Santana como unidade de conservação à comunidade acadêmica da UFRGS. **Salão de Extensão (09. : 2008 : Porto Alegre, Rs). Caderno de Resumos**. Porto Alegre, v. , n. , p. 1-3, set. 2008.
- STABAT, P.; CACIOLO, M.; MARCHIO, D. Progress on single-sided ventilation techniques for buildings. **Advances in Building Energy Research**, v. 6, n. 2, p. 212-241, 2012.

TECVERDE. **Sistema Construtivo**. 2020. Disponível em: https://www.tecverde.com.br/. Acesso em: 26 ago. 2020.

THORNTHWAITE, C, W. An approach towards a rational classification of climate. Geographycal Review London, Nova Jersey n.38, p.55-94. 1948.

UFRGS. MORRO SANTANA. Disponível em: http://www.ufrgs.br/morrosantana/morrosantana/localizacao. Acesso em: 12 out. 2021.

VALÉRIO, D, A *et al.* Classificação do estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema de zonas de vida de holdridge. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 1776, 16 dez. 2018. Universidad Federal de Santa Maria. http://dx.doi.org/10.5902/1980509835337.

VANDERCAM, G.; SIMON, A.; SCOHY, A.; BELKHIR, L.; KABAMBA, B.; RODRIGUEZ-VILLALOBOS, H.; YOMBI, J.C.. Clinical characteristics and humoral immune response in healthcare workers with COVID-19 in a teaching hospital in Belgium. **Journal Of Hospital Infection**, [S.L.], v. 106, n. 4, p. 713-720, dez. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2020.09.018.

VAN DOREMALEN, N *et al.* Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **New England Journal Of Medicine**, [S.L.], v. 382, n. 16, p. 1564-1567, 16 abr. 2020. Massachusetts Medical Society. http://dx.doi.org/10.1056/nejmc2004973.

VERVLOET, R. J. H. M. A paisagem do diabo contemporâneo – como a dinâmica espacial articula as transformações da paisagem urbana segregando classes sociais. **Geografares**, Vitória, n. 3, jun. p.133-142, 2002.

VIRTUAL EXPO GROUP. Software Fluidodinâmica Computacional Autodesk® CFD. Disponível em: https://www.directindustry.com/pt/prod/autodesk/product-14521-1670237.html. Acesso em: 10 ago. 2021.

WEBER, W; YANNAS, S. Lessons from Vernacular Architecture. London: Taylor & Francis Group, Routledge, 2014.

WEIJTERS, B; MILLET, K; CABOOTER, Elke. Extremity in horizontal and vertical Likert scale format responses. Some evidence on how visual distance between response categories influences extreme responding. **International Journal Of Research In Marketing**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 85-103, mar. 2021. Elsevier BV.

http://dx.doi.org/10.1016/j.ijresmar.2020.04.002. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijresmar.2020.04.002. Acesso em: 08 abr. 2021.

WHO. **Coronavirus Disease** (**COVID-19**): situação dashboard. Situação dashboard. Disponível em: https://covid19.who.int/. Acesso em: 22 abr. 2022.

WIDERA, B. **Bioclimatic architecture as an opportunity for developing countries. Disponível em:** http://www.plea2014.in/wp content/uploads/2014/12/Paper_7B_2161_PR.pdf, Acessado em 1 abril, 2021.

WIDERA, B. Comparative analysis of user comfort and thermal performance of six types of vernacular dwellings as the first step towards climate resilient, sustainable and bioclimatic architecture in western sub-Saharan Africa. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 140, n. 110736, p. 1-21, abr. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2021.110736.

WIDERA, B. O processo de formação de uma relação com a natureza na arquitetura contemporânea. Wrocław: Editora da Universidade de Tecnologia de Wrocław: (2018).

- YANG, Shanshan; CHONG, Zhaohui. Smart city projects against COVID-19: quantitative evidence from china. **Sustainable Cities And Society**, [S.L.], v. 70, p. 102897, jul. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2021.102897.
- ZEVI, B. Saber ver a arquitetura. São Paulo: Martins Fontes, 1996.
- ZHAI, Z. Application of computational fluid dynamics in building design: aspects and trends. **Indoor and Built Environment**, v. 15, n. 4, p. 305-313, 2006.
- ZORZI, C, G, C *et al.* Geo-environmental parametric 3D models of SARS-CoV-2 virus circulation in hospital ventilation systems. **Geoscience Frontiers**, [S.L.], p. 101279, ago. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101279.