



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
Dissertação de Mestrado

**DESEMPENHO DA QUALIDADE DO AR EM ESTUDOS DE CASO DE
AMBIENTES HOSPITALARES
NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA – DF**

João Renato Carneiro de Aguiar

Brasília-DF

2017

JOÃO RENATO CARNEIRO DE AGUIAR

**DESEMPENHO DA QUALIDADE DO AR EM ESTUDOS DE CASO DE
AMBIENTES HOSPITALARES
NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA – DF**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Caio Frederico e Silva.

Brasília-DF

2017

Universidade de Brasília – UnB
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

JOÃO RENATO CARNEIRO DE AGUIAR

**DESEMPENHO DA QUALIDADE DO AR EM ESTUDOS DE CASO DE
AMBIENTES HOSPITALARES
NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA – DF**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Caio Frederico e Silva

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Caio Frederico e Silva – Orientador
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – PPG/FAU/UnB

Profa. Dra. Marta Adriana Bustos Romero – Membro Interno
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – PPG/FAU/UnB

Profa. Dra. Eliete de Pinho Araujo – Membro Externo
UniCEUB

Profa. Dra. Vanda Alice Garcia Zanoni – Suplente
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – PPG/FAU/UnB

Aprovado em _____/_____/_____

FICHA CATALOGRÁFICA

AGUIAR, JOÃO RENATO CARNEIRO
 DESEMPENHO DA QUALIDADE DO AR EM ESTUDOS DE CASO DE
 AMBIENTES HOSPITALARES NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA -
 DF.
 [Distrito Federal] 2017.
 xviii, 164., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2017).
 Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em
 Arquitetura e Urbanismo.
 Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Qualidade do Ar	2. Ventilação Natural
3. Ambiente Hospitalar	4. Dinâmica Computacional de Fluídos (CFD)
I. FAU/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, J. R. C. **Desempenho da qualidade do ar em estudos de caso de ambientes hospitalares no contexto climático de Brasília - DF**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: João Renato Carneiro de Aguiar

TÍTULO: Desempenho da qualidade do ar em estudos de caso de ambientes hospitalares no contexto climático de Brasília - DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa Dissertação de Mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

João Renato Carneiro de Aguiar
 3ª Av. Bloco 1740 Casa 10
 71.720-022 Núcleo Bandeirante – DF – Brasil
 E-mail: joao.re@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas bênçãos durante toda minha trajetória.

À toda minha família, pelo apoio durante o curso de Mestrado, em especial, à minha mãe Valdeci, ao meu pai César e aos meus irmãos Lucas, Daniel e Eduardo, e minhas cunhadas Glaciela e Amanda.

Aos meus grandes amigos: Paulo Silva, Yasmin Araújo, Rayane Rocha e Letícia Abreu.

Ao meu orientador, professor Doutor Caio Frederico, pela dedicação, orientação, incentivo à pesquisa e pelo ensino à docência.

À professora Doutora Marta Romero, pelo incentivo à docência.

À professora Doutora Eliete de Pinho Araujo, que desde a graduação, acompanha meu processo de crescimento acadêmico e profissional.

Aos amigos da Universidade de Brasília (UnB), em especial: João Francisco Walter, Daniela Werneck, Thiago Góes, Natália Sousa, Adriano Lopes e Lorena Nery.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos.

RESUMO

Estudos demonstram os efeitos negativos das altas concentrações de partículas indesejadas no ar para a saúde humana. Normas vigentes da área de saúde preconizam a utilização de equipamentos artificiais para manter a qualidade do ar interno nos ambientes hospitalares, em detrimento de soluções passivas de ventilação. Neste sentido, a presente dissertação aborda o tema da ventilação natural em ambientes de saúde, com o objetivo principal de avaliar a renovação do ar em ambientes hospitalares no contexto climático de Brasília por meio de simulações computacionais. Como estudos de caso foram estudados 5 ambientes hospitalares de Brasília: o Hospital de Base do Distrito Federal, Hospital da Criança de Brasília, Hospital Sarah Centro, Hospital Sarah Lago e Hospital de Apoio de Brasília. A pesquisa se estruturou a partir da revisão bibliográfica com o uso das normas e legislações específicas; coleta de informações referente aos estudos de caso escolhidos; métodos para a definição da velocidade dos ventos predominantes e, por fim, a realização da simulação pelo processo computacional CFD (Computacional Fluid Dynamics – CFD Autodesk 2015) para analisar o potencial da ventilação natural nos ambientes hospitalares estudados. Os parâmetros para definição da velocidade do vento foram fornecidos pelas normais climatológicas (INMET), pela ficha bioclimática e pela fórmula matemática que avalia condicionantes do terreno e altura das aberturas. Os resultados da pesquisa apontam que o uso da ventilação natural nos ambientes é eficaz na maioria dos casos, sobretudo quando são associados a boa qualidade do ar externo e uma boa análise das condicionantes do entorno (que envolve direção dos ventos predominantes e análise de barreiras urbanas), assim sendo suficiente para promover uma boa qualidade do ar interna.

Palavras-chave: Qualidade do Ar. Ventilação natural. Ambiente hospitalar. Dinâmica Computacional de Fluídos (CFD).

ABSTRACT

Studies demonstrate the negative effects of high concentrations of unwanted particles in the air for the human health. Currents health standards recommend the use of artificial equipment to maintain indoor air quality in hospital environments, in detriment of passive ventilations solutions. In this sense, the present dissertation aims to disseminate the topic of natural ventilation in health environments, with the main objective of evaluating the air renewal in the hospitals in the climatic context of Brasília by means of computational simulations. The case studies were 5 hospitals environments in Brasília: The Hospital de Base do Distrito Federal, Hospital da Criança de Brasília, Hospital Sarah Centro, Hospital Sarah Lago and Hospital de Apoio de Brasília. The research was structured from the bibliographical review with the use of specific norms and legislation, collection of information regarding the selected case studies, methods for definition of prevailing wind velocity and, finally a simulation performance for the CFD (Computational Fluid Dynamics – CFD Autodesk 2015) process to analyze the potential of natural ventilation in the hospitals studied. The parameters for definition the wind speed is provided by normal climatological (INMET), by bioclimatic chart and by mathematical formula that evaluates terrain conditions and height of the openings. The results of the research indicated that the use of natural ventilation in the health environments is effective in the most cases, especially when good external air quality is associated with a good analysis of the environmental conditions factors (involving predominant winds directions and analysis of urbans barriers), thus being sufficient to promote a good indoor air quality.

Keywords: Indoor Air Quality. Natural ventilation. Hospital environments. Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Consumo por uso final em edifícios públicos – ELETROBRÁS 2007..	19
Figura 2 –	Método geral da pesquisa.....	23
Figura 3 –	Planta da Enfermaria Nightingale.....	31
Figura 4 –	Ilustração da Enfermaria Nightingale.....	31
Figura 5 –	Desenho de dois volumes adimensionais (pavilhão e monobloco vertical) para demonstrar os benefícios da iluminação e ventilação naturais.....	32
Figura 6 –	Classificação de risco e ocorrência de eventos adversos à saúde por exposição ao ar ambiental.....	36
Figura 7 –	Sintomas da má qualidade do ar.....	38
Figura 8 –	Sintomas da alta concentração de Dióxido de Carbono no ar.....	39
Figura 9 –	Diagrama bioclimático de Givoni (1969) e adaptado por Lamberts, Dutra e Pereira (2013).....	47
Figura 10 –	Efeito chaminé por <i>shed</i>	49
Figura 11 –	Hospital SARAH Salvador.....	50
Figura 12 –	Taxa de Renovação de Ar por Hora e o efeito na diminuição da concentração de partículas no ar.....	54
Figura 13 –	Localização da cidade de Brasília, Brasil.....	55
Figura 14 –	Frequência da direção dos ventos na cidade de Brasília, Brasil, pela série histórica 2001-2013.....	57
Figura 15 –	Velocidade dos ventos na cidade de Brasília, Brasil, pela série histórica 2001-2013.....	58
Figura 16 –	Espacialização das estações de medição de qualidade do ar no Distrito Federal.....	62
Figura 17 –	Simulação CFD em <i>sheds</i> inspirados em Lelé (2012)	69
Figura 18 –	Modelo de um quarto de isolamento com antecâmara que foi utilizado para as simulações CFD.....	71
Figura 19 –	Método detalhado da pesquisa.....	75
Figura 20 –	Detalhes da fase experimental e analítica da pesquisa.....	79
Figura 21 –	Mapa da cidade de Brasília, Brasil, com os estudos de caso analisados.	80
Figura 22 –	Croquis do Hospital de Base do Distrito Federal.....	81

Figura 23 – Ficha técnica do Hospital de Base do Distrito Federal.....	82
Figura 24 – Enfermaria dos pavimentos tipos do Hospital de Base do Distrito Federal.....	83
Figura 25 – Posto de Enfermagem dos pavimentos tipos do Hospital de Base do Distrito Federal.....	84
Figura 26 – Análise dos ventos predominantes no Hospital de Base do Distrito Federal.....	85
Figura 27 – Planta Baixa do Hospital de Base do Distrito Federal – SES – DF com destaque da enfermaria estudada.....	86
Figura 28 – Planta baixa da Enfermaria localizada no 5º andar do Hospital de Base do Distrito Federal – SES-DF.....	87
Figura 29 – Corte da enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal – SES – DF.....	87
Figura 30 – Localização do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	88
Figura 31 – Ficha técnica do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	89
Figura 32 – Zoneamento básico do Hospital da Criança de Brasília José Alencar...	90
Figura 33 – Unidade de Terapia Endovenosa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	91
Figura 34 – Planta baixa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	92
Figura 35 – Cortes da Unidade de Terapia Endovenosa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	92
Figura 36 – Planta baixa da UTE do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	93
Figura 37 – Incidência dos ventos predominantes no Hospital da Criança de Brasília...	94
Figura 38 – Localização do Hospital SARAHA Brasília.....	95
Figura 39 – Internação do Hospital SARAHA Brasília.....	96
Figura 40 – Hospital SARAHA Brasília, localizado no Setor Hospitalar Sul, Asa Sul, Brasília, Distrito Federal.....	96
Figura 41 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital SARAHA Brasília.....	97
Figura 42 – Ficha técnica do Hospital SARAHA Brasília.....	98
Figura 43 – Planta baixa da internação do Hospital SARAHA Brasília.....	99
Figura 44 – Planta baixa da internação do Hospital SARAHA Brasília.....	100
Figura 45 – Corte da internação do Hospital SARAHA Brasília.....	101

Figura 46 – Hospital SARAH Lago Norte, Distrito Federal.....	102
Figura 47 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital SARAH Lago Norte.....	103
Figura 48 – Ficha técnica do Hospital SARAH Lago Norte.....	104
Figura 49 – Ficha técnica do Hospital SARAH Lago Norte.....	105
Figura 50 – Ficha técnica do Hospital SARAH Lago Norte.....	106
Figura 51 – Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.....	107
Figura 52 – Localização do Hospital de Apoio de Brasília.....	108
Figura 53 – Ficha técnica do Hospital de Apoio de Brasília.....	108
Figura 54 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital de Apoio de Brasília.....	109
Figura 55 – Corte do Hospital de Apoio de Brasília.....	110
Figura 56 – Planta do Hospital de Apoio de Brasília – SES- DF.....	111
Figura 57 – Enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.....	112
Figura 58 – Ficha bioclimática do espaço com destaque para os atributos espaciais...	114
Figura 59 – Ficha bioclimática espacial – Hospital de Base do Distrito Federal.....	116
Figura 60 – Fluxo de vento predominantes no Hospital de Base do Distrito Federal...	117
Figura 61 – Ficha bioclimática espacial – Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	118
Figura 62 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital da Criança de Brasília.....	119
Figura 63 – Ficha bioclimática espacial – Hospital SARAH Brasília.....	120
Figura 64 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital Sarah Centro de Brasília.....	121
Figura 65 – Ficha bioclimática do espaço – Hospital SARAH Lago Norte.....	122
Figura 66 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital Sarah Lago Norte.....	123
Figura 67 – Ficha bioclimática do espaço – Hospital de Apoio de Brasília.....	124
Figura 68 – Fluxo dos ventos predominantes no Hospital de Apoio de Brasília.....	125
Figura 69 – Distância da abertura da janela do 5º pavimento do nível do solo (H).....	128
Figura 70 – Distância da abertura da janela do térreo ao nível do solo (H).....	129
Figura 71 – Distância da abertura da janela da internação do nível do solo (H).....	131

Figura 72 – Distância da abertura da janela até o nível do solo (H).....	129
Figura 73 – Distância da abertura da janela até o nível do solo (H).....	130
Figura 74 – Abas principais do software Autodesk CFD.....	136
Figura 75 – Dimensionamento ideal para o volume de domínio para o software Autodesk CFD.....	137
Figura 76 – Volume de domínio com as <i>Boundary Conditions</i> do Autodesk CFD.....	132
Figura 77 – Simulação de fluídos no software Autodesk CFD.	139
Figura 78 – Resultado da simulação de vazão de ar no software Autodesk CFD.....	139
Figura 79 – Resultado em planta da simulação da Enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal.....	142
Figura 80 – Resultado em corte da simulação da Enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal.....	142
Figura 81 – Resultado em Vista da simulação da Enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal.....	143
Figura 82 – Resultado em planta da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	144
Figura 83 – Resultado em corte da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	144
Figura 84 – Resultado em Vista da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.....	145
Figura 85 – Resultado em Planta da Enfermaria do Hospital SARAH Brasília.....	146
Figura 86 – Resultado em Corte da Enfermaria do Hospital SARAH Brasília.....	146
Figura 87 – Resultado em Vista da Enfermaria do Hospital SARAH Brasília.....	147
Figura 88 – Resultado em Planta da Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.....	148
Figura 89 – Resultado em Corte da Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.....	148
Figura 90 – Resultado em Vista da Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.....	149
Figura 91 – Resultado em Planta da Enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.....	150
Figura 92 – Resultado em perspectiva da Enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.....	150
Figura 93 – Resultado em perspectiva da enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.....	151
Figura 94 – Relação entre a vazão de ar interna (resultados) em todos os estudos de caso.....	152

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Agentes biológicos.....	41
Quadro 2 – Agentes não biológicos.....	42
Quadro 3 – Distâncias mínimas entre a captação de ar e as fontes de poluentes.....	43
Quadro 4 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	56
Quadro 5 – Comparativo entre os <i>softwares</i> Autodesk CFD 2015 e o CFX (Ansys)...	68
Quadro 6 – Resultado das simulações CFD dos ambientes hospitalares e a relação com a Qualidade do Ar Interno.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Níveis mínimos de ventilação em ambientes hospitalares.....	40
Tabela 2 –	Taxa de renovação de ar em função da remoção de partículas em relação ao tempo.....	52
Tabela 3 –	Padrões nacionais pela qualidade do ar.....	60
Tabela 4 –	Relação dos níveis do índice de qualidade do ar com a saúde humana.....	61
Tabela 5 –	Nível de Partículas Totais em Suspensão no ar na Rodoviária do Plano Piloto, Brasília, Distrito Federal.....	63
Tabela 6 –	Nível de fumaça no ar na Rodoviária do Plano Piloto, Brasília, Distrito Federal.....	64
Tabela 7 –	Nível de Partículas Totais em Suspensão no ar no Setor Comercial Sul, Asa Sul, Brasília, Distrito Federal.....	64
Tabela 8 –	Nível de fumaça no ar no Setor Comercial Sul, Asa Sul, Brasília, Distrito Federal.....	65
Tabela 9 –	Série histórica de médias anuais de Partículas Totais em Suspensão por local, Brasília, Distrito Federal.....	66
Tabela 10 –	Série histórica de médias anuais de fumaça por local, Brasília, Distrito Federal.....	66
Tabela 11 –	Taxas mínimas de Renovações de Ar por Hora de acordo com cada ambiente hospitalar.....	70
Tabela 12 –	Quadro de revisão bibliográfica pesquisada sobre ventilação natural.....	72
Tabela 13 –	Compatibilização das informações extraídas dos estudos de caso.....	112
Tabela 14 –	Compatibilização das informações advindas das fichas bioclimáticas.....	126
Tabela 15 –	Coeficientes do terreno para determinar a velocidade dos ventos incidentes.....	127
Tabela 16 –	Compatibilização das informações da velocidade nas aberturas dos estudos de caso analisados.....	134
Tabela 17 –	Compatibilização das informações dos estudos de caso analisados.....	134
Tabela 18 –	Velocidade dos ventos e o seu impacto. Fonte Evans, Schiller (1994).....	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACE	- Associação Brasileira de Assistência às Famílias de Crianças Portadoras de Câncer e Hemopatias
AC	- Ar Condicionado
ANVISA	- Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAD	- <i>Computer Aided Design</i>
CC	- Centro Cirúrgico
CFD	- <i>Computacional Fluid Dynamics</i>
CIPLAN	- Cimentos Planalto
CNPq	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO ²	- Dióxido de Carbono
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DVN	- Diagrama de Ventilação Natural
EAS	- Estabelecimento Assistencial de Saúde
EPI	- Equipamento de Proteção Individual
HAB	- Hospital de Apoio de Brasília
HBDF	- Hospital de Base do Distrito Federal
HCB	- Hospital da Criança de Brasília José Alencar
HEPA	- <i>High Efficiency Particulate Air Filters</i>
IBRAM	- Instituto Brasília Ambiental
IEA	- <i>International Energy Agency</i>
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IQAR	- Índice de Qualidade do Ar
M ²	- Metros Quadrados
M ³	- Metros Cúbicos
MS	- Ministério da Saúde
NBR	- Norma Brasileira
NZEBs	- <i>Nearly Zero-Energy Buildings</i>
OMS	- Organização Mundial da Saúde
PMV	- <i>Predicted Mean Vote</i>
PNE	- Portador de Necessidades Especiais

PPD	-	Pessoas Portadoras de Deficiência
PPM	-	Partes por Milhão
PTS	-	Partículas Totais em Suspensão
QAI	-	Qualidade do Ar Interna
RA	-	Região Administrativa
RAH	-	Renovação de Ar por Hora
RDC	-	Resolução de Diretoria Colegiada
SAIN	-	Setor de Áreas Isoladas Norte
SCS	-	Setor Comercial Sul
SHS	-	Setor Hospitalar Sul
SID	-	Síndrome do Edifício Doente
SMHS	-	Setor Médico Hospitalar Sul
SRAS	-	Síndrome Respiratória Aguda Grave
SUS	-	Sistema Único de Saúde
TBS	-	Temperatura de Bulbo Úmido
TBU	-	Temperatura de Bulbo Seco
UF	-	Unidade da Federação
UnB	-	Universidade de Brasília
UTE	-	Unidade de Terapia Endovenosa
UTI	-	Unidade de Terapia Intensiva
UTSI	-	Unidade de Terapia Semi-Intensiva
W	-	Conteúdo de Umidade
WFO	-	<i>World Family Organization</i>
WHO	-	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
CAPÍTULO 1 - UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR.....	25
1.1 A ARQUITETURA E A SUSTENTABILIDADE	25
1.2 UM BREVE PANORAMA DA ARQUITETURA HOSPITALAR	26
1.3 A ARQUITETURA E AS INFECÇÕES HOSPITALARES.....	31
1.4 NORMATIZAÇÕES BRASILEIRAS EM AMBIENTES DE SAÚDE	33
1.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	43
CAPÍTULO 2 - QUALIDADE DO AR E DINÂMICA COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES.....	44
2.1 A VENTILAÇÃO NATURAL E O CONFORTO AMBIENTAL	44
2.2 QUALIDADE DO AR NA ARQUITETURA HOSPITALAR.....	50
2.3 CARACTERIZAÇÃO DO AR EM BRASÍLIA.....	54
2.3.1 Qualidade do ar externo	58
2.4 DINÂMICA COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS.....	66
2.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	72
CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	75
3.1 ESTUDOS DE CASO	79
3.1.1 Hospital de Base do Distrito Federal.....	80
3.1.2 Hospital da Criança de Brasília José Alencar	88
3.1.3 Hospital SARAHA Brasília.....	94
3.1.4 Hospital SARAHA Lago Norte.....	<i>Erro! Indicador não definido.....101</i>
3.1.5 Hospital de Apoio de Brasília.....	107
3.2 DEFINIÇÃO DA VELOCIDADE DOS VENTOS PREDOMINANTES	113
3.2.1 Ficha bioclimática espacial – Hospital de Base do Distrito Federal.....	114
3.2.2 Ficha bioclimática espacial – Hospital da Criança de Brasília.....	117
3.2.3 Ficha bioclimática espacial – Hospital SARAHA Brasília	119
3.2.4 Ficha bioclimática espacial – Hospital SARAHA Lago Norte.....	121
3.2.5 Ficha bioclimática espacial – Hospital de Apoio de Brasília	123
3.2.6 Potencial de ventilação dos estudos de caso por meio da ficha bioclimática espacial.....	125

3.3 POTENCIAL DE VENTILAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO POR MEIO DO MÉTODO MATEMÁTICO	126
3.3.1 Método matemático – Hospital de Base do Distrito Federal	127
3.3.2 Método matemático – Hospital da Criança de Brasília José Alencar	129
3.3.3 Método matemático – Hospital SARAH Brasília	130
3.3.4 Método matemático – Hospital SARAH Lago Norte	131
3.3.5 Método matemático – Hospital de Apoio de Brasília	132
3.3.6 Potencial de ventilação dos estudos de caso por meio da método matemático ..	133
3.4 O SOFTWARE AUTODESK CFD	135
CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	141
4.1 HOSPITAL DE BASE DO DISTRITO FEDERAL.....	141
4.2 HOSPITAL DA CRIANÇA DE BRASÍLIA JOSÉ ALENCAR.....	143
4.3 HOSPITAL SARAH BRASÍLIA	145
4.4 HOSPITAL SARAH LAGO NORTE	147
4.5 HOSPITAL DE APOIO DE BRASÍLIA.....	149
4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	151
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES	154
5.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	155
REFERÊNCIAS	157

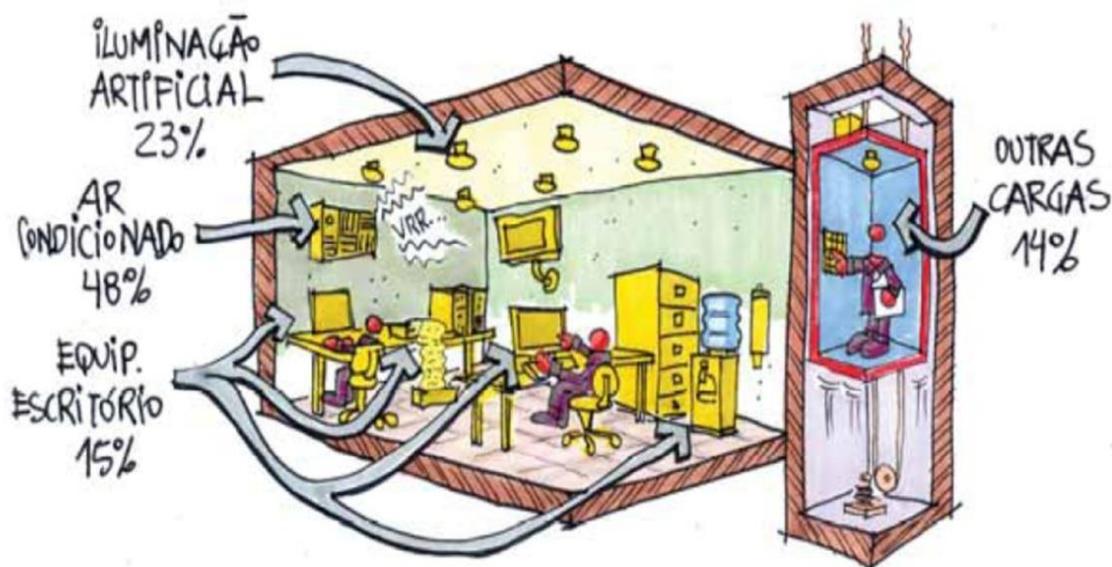
INTRODUÇÃO

Uma das diversas questões existentes na Arquitetura Hospitalar é a solução do desafio da ventilação natural *versus* a Qualidade do Ar Interna (QAI) para a promoção da diminuição dos riscos de transmissões de doenças hospitalares infecciosas. Estudos têm sido realizados apontando a eficiência da ventilação natural (ASHRAE, 2013; 2009; 1999; ATKINSON et al., 2009), partindo somente da boa qualidade do ar externo, no combate a infecção hospitalar e na contribuição da arquitetura passiva e mais humanizada.

A relação clara da utilização da ventilação natural em oposição à ventilação artificial climatizada (sistema de condicionamento de ar) tem sido algo recorrente em várias pesquisas (ROMERO, 2016a; 2016b; 2013; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015; HEYWOOD, 2015; BITENCOURT; COSTEIRA, 2014; LELÉ, 2012; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013; CORBELLA; YANNAS, 2003), para fins de eficiência energética e para o combate à Síndrome do Edifício Doente (SID).

Pode se destacar que o uso do ar condicionado e da iluminação artificial são os grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica, pois Lamberts, Dutra e Pereira (2013) afirmam que os edifícios públicos (edifícios hospitalares, por exemplo, são edifícios públicos), a soma de energia gasta com climatização e iluminação somam 71% do uso total (Figura 1).

Figura 1 – Consumo por uso final em edifícios públicos – ELETROBRÁS 2007.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013), p. 19.

Para Szklo et al. (2004 apud AZEVEDO, 2011), os hospitais brasileiros têm no condicionamento de ar o maior gasto energético, chegando, em alguns casos, a valores acima de 40% do total da energia consumida.

Segundo Góes (2011), o edifício hospitalar tem grande consumo devido aos ambientes que necessitam de climatização artificial para manter o ambiente asséptico (os Centros Cirúrgicos – CCs e as Unidades de Terapia Intensiva – UTIs, por exemplo).

Sobre a infecção hospitalar e os ambientes assépticos, Bicalho (2010, p. 114) assevera:

Outro ponto que reforça o cuidado com os sistemas de climatização é que, quanto maior a quantidade de particulados no ar, maior a possibilidade de que estes levem consigo microrganismos indesejáveis e contaminem as pessoas. Portanto, quanto mais limpo estiver o ar menor esta possibilidade. Também, a alta umidade do ar favorece proliferação de fungos, assim como a baixa prejudica as vias respiratórias de pacientes sensíveis (BICALHO, 2010, p. 114).

Aquele autor entende que o uso adequado do sistema de climatização é fundamental para os ambientes hospitalares, sejam eles, artificiais ou naturais, uma vez que auxiliam na assepsia do local mantendo a temperatura específica para cada ambiente, além de trazer uma boa sensação de conforto térmico aos pacientes e funcionários. A qualidade do ar interna é essencial para a manutenção e o funcionamento adequado dos ambientes hospitalares, pois trazem maior conforto ao usuário da edificação e mantém a limpeza e pureza do ar das salas onde é preconizada a assepsia.

Algumas pesquisas (SALES, 2016; HEYWOOD, 2015; PROCEL, 2010; ATKINSON et al, 2009; QUADROS et al., 2009) e normas nacionais e estrangeiras (ASHRAE, 2013; 2009; 1999; ABNT NBR 15.220-3/2005; ABNT NBR 7256/2005; BRASIL, 2003; 2002) relacionam a qualidade do ar com a taxa de renovação no ambiente, que é a quantidade de vezes que o volume de ar no interior de uma sala é renovado em um determinado período de tempo, diminuindo a quantidade de partículas concentradas no ar.

Sabe-se que a taxa de renovação do ar advinda da ventilação natural está relacionada diretamente com a velocidade dos ventos incidentes nas aberturas dos ambientes, que geralmente podem variar, pois, quando a velocidade do vento é baixa, é refletido diretamente no valor da renovação de ar e, assim, nos níveis de concentração de partículas no ar, podendo comprometer a boa QAI.

Um dos benefícios da climatização artificial é que os ambientes estão em total controle de temperatura, pressão, umidade e renovação de ar, criando locais totalmente controlados, porém, menos eficientes energeticamente (ARAÚJO, 2016a; PIMENTA, 2016).

Em julho de 2016, a Agência Internacional de Energias (*International Energy Agency – IEA*) (2016) publicou que a cada ano, cerca de 6,5 milhões de pessoas no mundo morrem por problemas associados à poluição e má qualidade do ar. Pesquisas recentes apontam o uso da ventilação natural como estratégia passiva para a obtenção da QAI, por meio de trocas de ar entre o meio externo e interno.

Atualmente existem mecanismos que auxiliam a criar ambientes que fazem uso da ventilação natural como método para obtenção do conforto e da qualidade do ar, como nos *softwares* de simulação computacional (*Computational Fluid Dynamics – CFD*, por exemplo) que simulam os efeitos dos ventos em determinados objetos e ambientes internos. No presente estudo fez-se uso do *software* CFD para verificação da qualidade interna em ambientes hospitalares que utilizam a estratégia de ventilação passiva.

Objetivos

O objetivo geral da presente dissertação é incentivar o uso da ventilação natural em ambientes hospitalares.

Como objetivos específicos têm-se:

- Analisar o potencial da ventilação natural em ambientes de saúde por meio do método de simulação computacional, visando a melhoria da QAI; e
- Compreender os efeitos da QAI e a relação direta com a velocidade dos ventos predominantes em ambientes hospitalares.

Justificativa

Como justificativa tem-se o incentivo do uso da ventilação natural em hospitais, pois, a ventilação natural contribui para uma maior eficiência energética, além de ser responsável por criar locais mais humanizados, podendo gerar a assepsia nos ambientes internos quando o mesmo possui uma alta renovação de ar (ATKINSON et al., 2009), diminuindo a concentração de particulados e bactérias indesejadas no ar, ajudando a combater as infecções hospitalares.

Os métodos de climatização artificiais convencionais possuem alto custo energético que, em alguns casos, pode chegar a mais de 40% do total do consumo dos hospitais necessitando de constante manutenção para o funcionamento adequado do sistema.

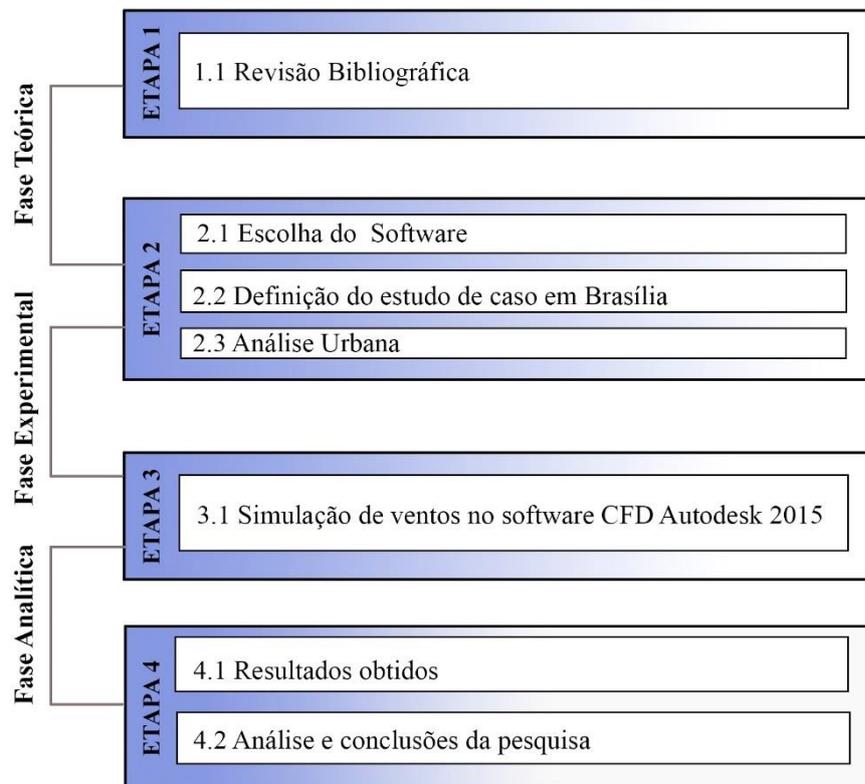
Também a Arquitetura Hospitalar passou por grandes avanços científicos e tecnológicos, sendo que tais mudanças modificaram completamente a estrutura do edifício hospitalar refletindo diretamente no tratamento dos enfermos e, atualmente, é uma das tipologias de edifícios onde se faz mais necessários recursos de última geração para seu funcionamento, logo é fundamental o estudo contínuo sobre a arquitetura de hospitais, visto que o ambiente hospitalar passou por constantes mudanças e dependerá sempre de atualizações advindas dos recursos tecnológicos.

Metodologia

A metodologia desenvolvida na presente Dissertação se deu em três fases (Figura 2), a saber:

- 1) Revisão bibliográfica e análise das normas e legislações vigentes sobre QAI (fase teórica);
- 2) Abordagem dos estudos de caso dos hospitais simulados e analisados pelo *software* de simulação CFD para verificação da taxa de renovação de ar ambientes hospitalares, aplicação dos métodos para definição da velocidade dos ventos predominantes (dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, análise urbana pela ficha bioclimática e cálculo matemático) para o fornecimento de dados para a simulação computacional (fase metodológica); e
- 3) Análise das simulações, obtenção dos resultados e a comparação com as bibliografias e as legislações e das conclusões gerais da pesquisa (fase analítica).

Figura 2 – Método geral da pesquisa.



Os estudos de caso hospitalares analisados neste trabalho são o Hospital de Base do Distrito Federal (HBDF), o Hospital da Criança de Brasília (HCB), os Hospitais Sarah Centro e Sarah Lago Norte e por fim, o Hospital de Apoio de Brasília (HAB). Como base para a escolha dos estudos de caso se têm que todos os hospitais possuem espaços de longa permanência (enfermaria ou unidade de terapia) e são localizados na cidade de Brasília. Os hospitais da rede Sarah são conhecidos por utilizarem métodos passivos para oferecer o conforto ambiental interno, podendo assim inferir a obtenção de uma boa qualidade do ar interna somente por meio da utilização da ventilação natural. O HBDF, o HCB e o HAB realizam tratamento quimioterápico¹ em ambientes não climatizados artificialmente, podendo deduzir assim que estes ambientes possuem uma boa qualidade do ar interna para oferta adequada do tratamento aos pacientes.

Para tanto, este estudo foi dividido em quatro capítulos, abordando questionamentos, normas brasileiras, conceitos sobre ventilação natural, estudos de referências mundiais e

¹ Enfermos em tratamento quimioterápico são imunodepressivos, ou seja, possuem uma imunidade menor, podendo assim serem mais susceptíveis a adquirir infecções hospitalares.

simulações CFD para a comprovação da eficácia da ventilação natural em ambientes hospitalares, além das simulações e as análises da ventilação natural dos estudos de casos escolhidos para verificação da qualidade de ar interna.

Estrutura da Dissertação

- Introdução – Inicialmente são abordados os conceitos em paralelo ao problema principal e a justificativa da pesquisa, onde, posteriormente, têm-se os objetivos geral e específicos, que apontam para a utilização da simulação computacional (CFD) nos estudos de caso, resultando no método aplicado;
- Capítulo 1 – Apresenta-se um breve panorama da Arquitetura Hospitalar e sua evolução tipológica relacionada com os avanços tecnológicos e científicos, juntamente com as técnicas de conforto ambiental e salubridade do ar onde, posteriormente, são abordadas as normas e legislações nacionais e internacionais que trazem a temática da QAI, sua importância para o adequado funcionamento hospitalar, as discussões sobre as diretrizes para o combate das infecções relacionadas ao ar e a utilização dos sistemas de climatização artificial que se contrapõe a ventilação natural;
- Capítulo 2 – Trata dos conceitos e de pesquisas sobre a ventilação natural, a associação da ventilação como estratégia passiva para a manutenção do conforto térmico interno e da QAI, a definição de Renovação de Ar por Hora (RAH) e a contribuição para a QAI; e ainda; aborda a utilização da simulação computacional de fluídos (CFD), a comparação entre os *softwares*, artigos acadêmicos que associaram os ambientes de saúde com a utilização das ferramentas de simulação CFD para análise da ventilação interna;
- Capítulo 3 – O método utilizado na pesquisa (fases e etapas), com a abordagem dos estudos de caso, os métodos para definição da velocidade dos ventos predominantes na cidade de Brasília, a descrição dos objetos de estudo e a justificativa da escolha dos ambientes de saúde para a visualização da qualidade do ar relacionada com os valores mínimos pesquisados na bibliografia;
- Capítulo 4 – Trata das simulações e análises com o *software* CFD dos estudos de caso para a verificação da QAI em todos os cenários estudados; o *software* em questão aponta os fluxos de ar pelo interior e fornece dados vitais (vazão de ar por segundo) para o cálculo da QAI; e

- Capítulo 5 – As conclusões da pesquisa, onde é demonstrado a importância da discussão da qualidade do ar interna por meio da ventilação natural em ambientes hospitalares para fins de eficiência energética, da contribuição com o ciclo sustentável, do combate às infecções hospitalares, pela criação de espaços humanizados, e propostas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 1 - UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Nas linhas que se seguem têm-se o contexto histórico sobre a Arquitetura Hospitalar, os conceitos criados por meio da Arquitetura Vernácula, a evolução da tipologia hospitalar e a sua relação com a salubridade do ar e utilização da ventilação natural, método passivo fundamental para a criação de edificações com menos impacto à saúde humana e ao meio ambiente.

O presente capítulo também aborda as ideias dos principais autores referentes aos ambientes hospitalares e as diretrizes ligadas aos ideais sustentáveis.

1.1 A Arquitetura e a sustentabilidade

O entendimento sobre algumas estratégias utilizadas na Arquitetura Vernácula são fundamentais para o entendimento da relação homem-ambiente externo. Para Heywood (2015), o homem deve construir utilizando o clima a seu favor, a fim de garantir maior conforto térmico apropriado, uma vez que na arquitetura antiga logra-se a criação de conforto térmico fazendo uso de recursos locais e sem o uso de energia elétrica.

Com a evolução dos recursos tecnológicos advindos da Revolução Industrial, o homem começou a isolar as edificações dos espaços externos, sem se importar com os danos que poderiam causar ao meio ambiente e ao próprio edifício. A utilização de recursos tecnológicos (climatização, por exemplo) buscava a otimização do conforto ambiental interno. Tinha-se a ideia de que os edifícios artificialmente climatizados e enclausurados em relação ao meio externo proporcionavam uma maior qualidade do ar e um maior conforto ambiental, sendo mais saudável em relação às edificações que possuíam ventilação natural, uma vez que, posteriormente, tais edifícios causaram uma série de problemas para os usuários internos das edificações, sendo notória a Síndrome do Edifício Doente (SED).

Em 1970, com a crise do petróleo, foi maior o cuidado com a utilização dos combustíveis fósseis para a geração de energia, promovendo, no campo da Arquitetura, maior racionalização da energia e a adaptação daquela ciência em relação ao ambiente externo, promovendo maior conforto para os usuários sem ou com a mínima utilização de meios de climatização artificial (HEYWOOD, 2015).

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

De fato, a eficiência energética está vinculada à ideologia sustentável, de menor impacto, obtendo maior eficácia e otimização dentro da Arquitetura, sendo consumidos menos recursos para produção de energia para manter o funcionamento adequado das edificações.

Segundo Kwok e Grondzik (2007) e Heywood (2015), para a conclusão de um bom projeto eficiente, é preciso considerar os seguintes dados de projeto: coleta de dados, análise do sítio (clima, implantação e orientação solar), condicionantes de forma da envoltória, estratégias passivas de conforto, conhecimento sobre as propriedades dos materiais e o uso adequado, que é determinante para a eficácia de um projeto com caráter responsivo ao clima.

A utilização das estratégias passivas para obtenção natural do conforto (a utilização de *brises de soleil* para proteção da radiação solar e a utilização de sheds para a ventilação natural, por exemplo) ajuda na redução do consumo energético, promovendo uma construção com o caráter mais ambiental, no hemisfério sul e em climas tropicais.

Vários estudos (ROMERO, 2016b; 2013; BODE; GONÇALVES, 2015; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013; LELÉ, 2012; PROCEL, 2010; ROGERS, 2008) apontam que a Arquitetura e o Urbanismo têm papel diferenciador e de responsabilidade dentro da sustentabilidade e da eficiência energética, uma vez que já existem edifícios capazes de gerar a própria energia e criar um balanço energético zero. Tais construções são conhecidas como *Nearly Zero-Energy Buildings* (NZEBS).

1.2 Um breve panorama da Arquitetura Hospitalar

A evolução da edificação hospitalar não pode ser desvinculada com o desenvolvimento de técnicas e práticas médicas adotadas em seus espaços, onde, com o passar dos séculos, foi descoberto que a cura de doenças tem relação com soluções construtivas, espaciais e de responsabilidades humanas (CARVALHO, 2014).

Na contemporaneidade, a Arquitetura Hospitalar surge em meio a várias descobertas científicas e tecnológicas, como, por exemplo, a derrubada da Teoria dos Miasmas pela enfermeira Florence Nightingale, a aplicação prática da Teoria dos Germes de Pasteur, o desenvolvimento das áreas de diagnósticos e cirúrgicos, a mudança de tipologia de planta e o conceito de humanização hospitalar (CARVALHO, 2014; MIQUELIN, 1992). Tais avanços tecnológicos e científicos mudam completamente as características do edifício hospitalar.

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Os hospitais passaram a ser mais distantes dos centros urbanos e serviam somente como um local apropriado para que os doentes pudessem morrer dignamente, sem a preocupação com o conforto e a saúde destes. Assim, tinha-se um grande número de óbitos devido à falta de higienização, ventilação natural dos espaços e tantos outros aspectos.

O hospital tinha ainda a função de evitar o contato direto entre os enfermos e as pessoas saudáveis que viviam nas cidades; porém, depois da derrubada da teoria dos miasmas, em 1859, a Arquitetura Hospitalar passou por considerável evolução, tornando aquele ambiente de recuperação em um local mais humanizado e preocupado com o paciente (BICALHO, 2010; MIQUELIN, 1992).

Na Inglaterra, a enfermeira Florence Nightingale estudava a teoria dos miasmas – gases invisíveis responsáveis pelo grande número de óbitos na época. Com base em suas experiências, ela sugeriu que os defeitos principais dos hospitais vinham da falta de iluminação e ventilação natural, de espaços mínimos por leitos e a superlotação da Enfermaria. A partir de tais constatações, Florence estabeleceu bases e dimensões para novas Enfermarias (Figuras 3 e 4), caracterizadas por um salão longo com leitos dispostos perpendicularmente em relação às paredes, um pé direito generoso, janelas entre um leito e outro de ambos os lados para facilitar a ventilação cruzada e a iluminação natural. A Enfermaria Nightingale tornou-se um espaço de referência nas internações por muito tempo (BITENCOURT; COSTEIRA, 2014; MASCARELLO, 2005; MIQUELIN, 1992).

Neste ínterim, antes do modelo de Enfermaria citado, os pacientes conviviam com uma deficitária Qualidade do Ar Interno (QAI) nos ambientes internos hospitalares, e após a derrubada da teoria dos miasmas, a ventilação e a iluminação natural foram incorporadas àqueles ambientes, contribuindo para uma melhor qualidade e salubridade do ar interno, diminuindo o grande número de mortos que havia naquela época por causa da falta de renovações de ar e da assepsia inadequada dos espaços de permanência de pacientes.

Em 1865, foi verificado nos trabalhos da Teoria dos Germes criado por Pasteur, que os procedimentos tinham uma grande importância na transmissão de doenças, sendo considerada secundária a qualidade do tratamento hospitalar e as formas arquitetônicas do edifício, surgindo, posteriormente, as bases para as técnicas assépticas praticadas atualmente (MIQUELIN, 1992). A revolução pasteuriana teve um conjunto de novos procedimentos que incluem: a identificação e o isolamento dos microrganismos patogênicos, da modificação dos gestos, palavras e vestuário dos profissionais de saúde, e da própria Arquitetura Hospitalar (PORTOCARRERO, 1991).

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Com o avanço das técnicas assépticas, houve a possibilidade de criar intervenções cirúrgicas, estabelecendo que o Centro Cirúrgico (CC) passasse a ser uma área obrigatória e de extrema importância para os hospitais, ajudando a diminuir o número de óbitos e criando uma demanda maior de leitos, devido ao tempo de recuperação pós-cirúrgico. A partir daí os hospitais começam a obter estruturas complexas de diagnósticos, como, por exemplo, o aparelho de raios X, descoberto em 1898 por Pierre e Marie Curie (CARVALHO, 2014; MIQUELIN, 1992).

Antes, a estrutura hospitalar era associada às instituições de caridade ou organizações religiosas, onde o atendimento era exclusivo para a população sem recursos financeiros, pois, as pessoas que tinham recursos eram atendidas pelos médicos em casa. Porém, no Brasil, conforme o crescimento populacional e a complexidade do ambiente hospitalar, o tratamento domiciliar tornou-se ineficiente (MIQUELIN, 1992).

A evolução do edifício hospitalar sempre esteve ligada às tecnologias e aos equipamentos atualizados para o seu funcionamento e, atualmente, é uma das tipologias de edifícios onde se faz mais necessário a utilização de recursos de última geração, passando sempre por atualizações (CARVALHO, 2014). Uma grande crítica a ser feita é que a tecnologia pode ter pontos positivos e negativos, pois, a cada dia traz métodos revolucionários, criando novos exames, tipos de tratamento e métodos de cura para doenças que antes eram incuráveis, mas, ao mesmo tempo é presa aos dogmas criados, como, por exemplo, a utilização da climatização artificial – que cria maior controle do espaço em relação à ventilação natural (CARVALHO, 2014).

Na era contemporânea, a tipologia da planta de Arquitetura Hospitalar passou a ser disposta em monoblocos verticais, onde uma das críticas que favorece o aparecimento do monobloco vertical, que se contrapõe ao pavilhão hospitalar, é que o monobloco possui uma maior facilidade de implementação dos aspectos ambientais, como, por exemplo, a presença de jardins, iluminação e ventilação naturais.

A Figura 5, apresenta dois volumes adimensionais, sendo um em formato de pavilhão e o outro de monobloco vertical, sendo demonstrada a área onde não é afetada pela iluminação e ventilação naturais, apontando, pelo desenho, que o volume do monobloco vertical, em comparação ao pavilhão, se mostra mais eficiente em relação à oferta de estratégias passivas que visam o conforto ambiental.

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Atualmente, tem-se o debate e o incentivo do uso das estratégias de conforto ambiental, além do contato com a natureza em ambientes de saúde, até mesmo em ambientes de área crítica (CCs e Unidades de Terapia Intensiva – UTIs) para a promoção da humanização do serviço hospitalar (GÓES, 2011).

A criação de um ambiente hospitalar mais humanizado auxilia no processo de cura dos pacientes (CARVALHO, 2014; GÓES, 2011), contribuindo para a diminuição do tempo de internação e na redução de número de óbitos, obtendo um local mais confortável para o enfermo, sendo uma política empregada atualmente no Sistema Único de Saúde (SUS).

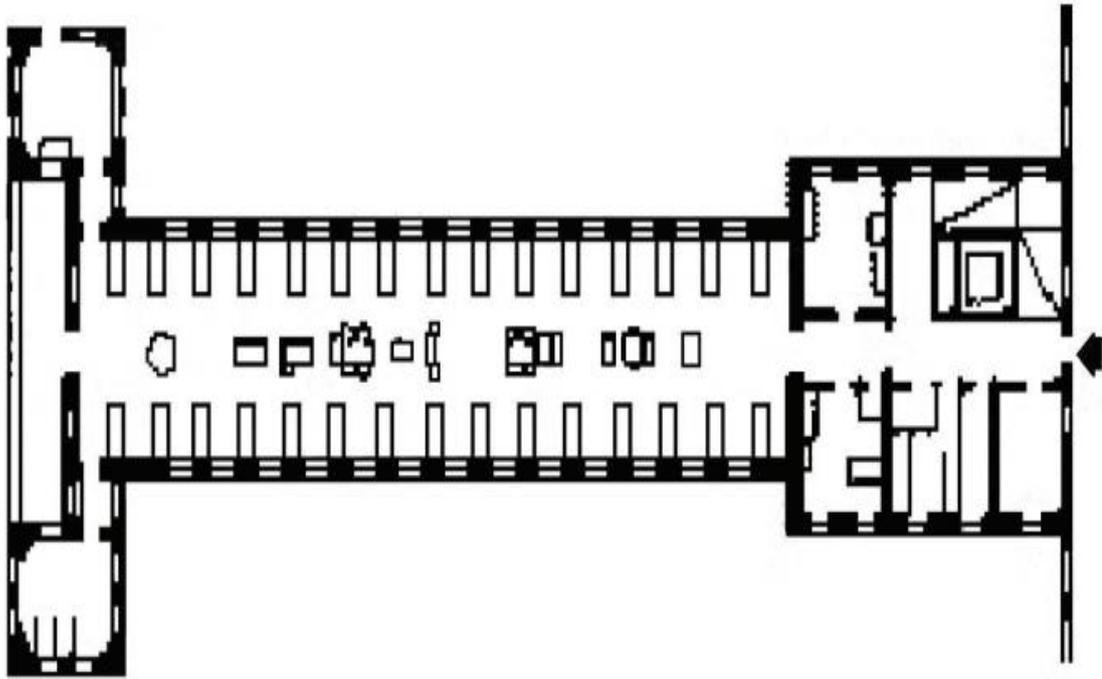
O estudo de Bitencourt (2014) afirma que o conforto ambiental em ambientes de saúde é voltado para promover a humanização, reduzir o estresse e a fadiga dos profissionais de saúde e pacientes, melhorando a segurança e promovendo melhor qualidade na prestação de serviços.

Segundo Góes (2011), o uso de climatização artificial é crucial para o funcionamento de alguns ambientes (CC e UTI); porém, em outras áreas do edifício hospitalar deveriam ser utilizadas aberturas que promovessem a entrada de luz natural, a ventilação cruzada e o conforto visual para pacientes e funcionários.

O ambiente hospitalar tem na Florence Nightingale um divisor. São duas realidades: o hospital antes da Florence – casa de repouso, onde a Morte convivia confortavelmente com a vida, onde os insetos e roedores disputavam o alimento com os pacientes, onde os mortos e vivos permaneciam no mesmo leito. O hospital depois da Florence, onde a saúde é o maior bem produzido, onde a morte é um visitante fortuito e indesejável e onde a melhoria da qualidade é uma busca constante. (ANDRADE, 2002 apud BICALHO, 2010, p. 19).

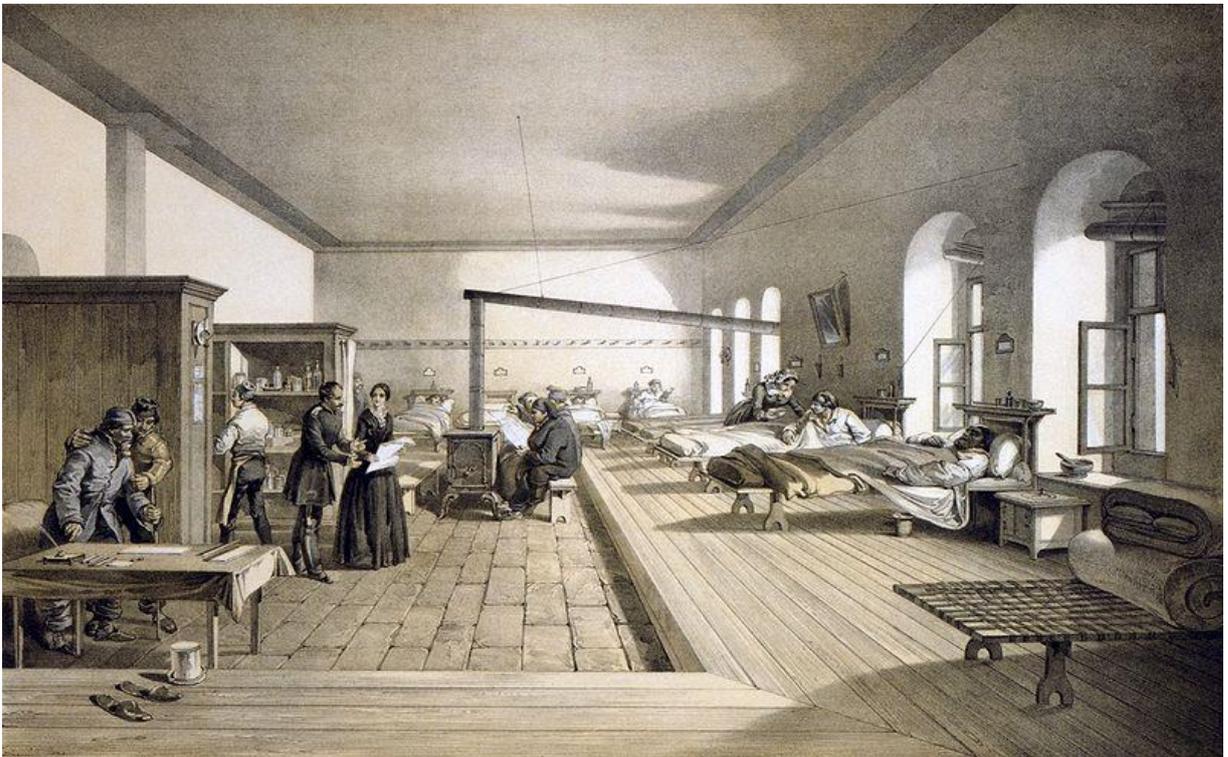
CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Figura 3 – Planta da Enfermaria Nightingale.



Fonte: Miquelin (1992), p 46.

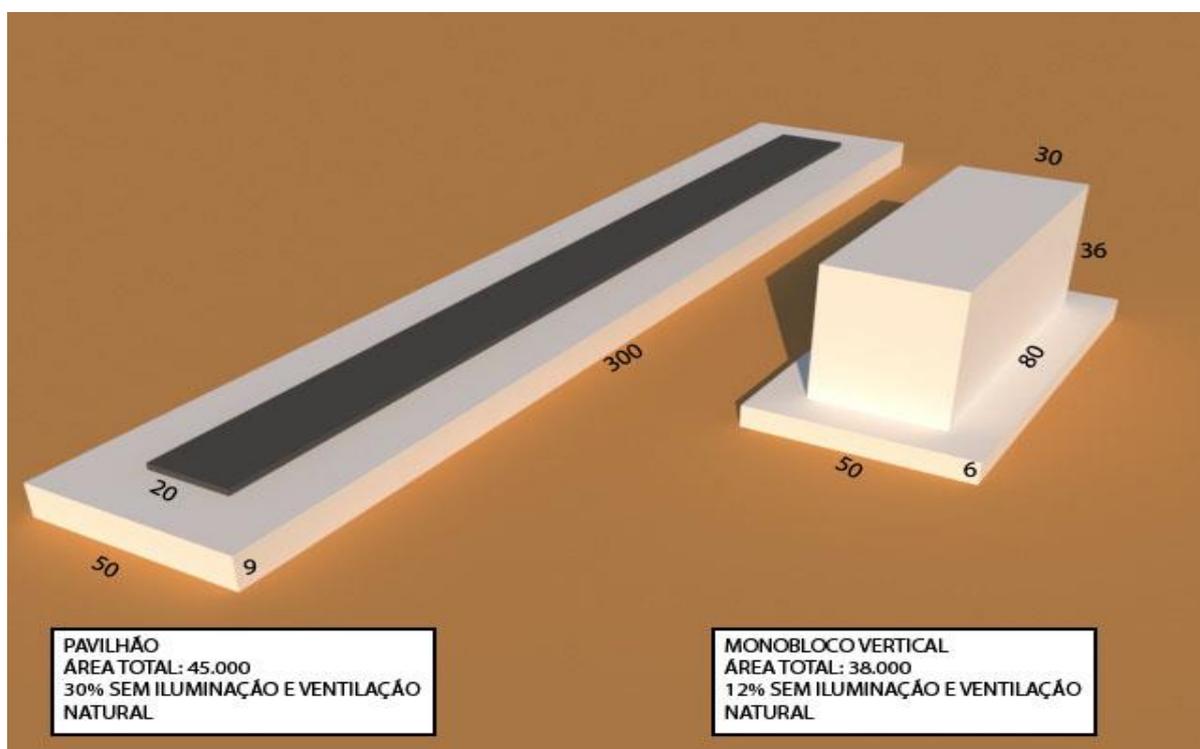
Figura 4 – Ilustração da Enfermaria Nightingale.



Fonte: O Guia da Enfermagem (2013).

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Figura 5 – Desenho de dois volumes adimensionais (pavilhão e monobloco vertical) para demonstrar os benefícios da iluminação e ventilação naturais.



1.3 A Arquitetura e as infecções hospitalares

A Arquitetura também é de grande importância para o controle dos níveis de infecções nos ambientes hospitalares; porém, não é o fator que obtém o maior impacto no surgimento e nas transmissões de particulados indesejáveis (FERRER, 2012; BICALHO, 2010; LACERDA; EGRY, 1997; FIORENTINI, 1995).

De acordo com o Anexo II da Portaria do Ministério da Saúde (MS) GM n. 2.616, de 12 de maio de 1998, *in verbis*:

1. Conceitos básicos.

[...].

1.2 infecção hospitalar (IH):

1.2.1 é aquela adquirida após a admissão do paciente e que se manifeste durante a internação ou após a alta, quando puder ser relacionada com a internação ou procedimentos hospitalares.

A Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n. 50, de 21 de fevereiro de 2002, trata das principais prevenções contra a propagação da infecção nos ambientes de saúde, como, por exemplo, as precauções padrões que focam em cuidados básicos com determinados

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

procedimentos, visando o impedimento do contato direto da equipe de saúde com os diversos itens (agulhas, instrumentos usados e líquidos corporais advindos dos enfermos).

Atualmente, é possível observar que o fator que mais contribui para evitar as infecções hospitalares já não são os ambientes superprotegidos – com rígidos controles da qualidade de ar –, a implantação de sofisticados aparelhos que trazem o conforto ambiental e aumentam as taxas de renovação de ar, e tampouco a implantação de sistemas de barreiras físicas para acesso as áreas críticas (antecâmaras e vestiários de barreiras), mas sim, os agentes endógenos e os adequados sistemas de procedimentos e higienização realizados pelas equipes médicas de saúde (FERRER, 2012; BICALHO, 2010; LACERDA; EGRY, 1997; FIORENTINI, 1995).

Tem-se uma série de estratégias utilizadas para a o combate da infecção na Arquitetura Hospitalar, tais como: adequados tipos de materiais de acabamentos para determinados ambientes específicos, quartos de isolamento para o controle de doenças transmissíveis, presença de lavatórios para higienização das mãos, sistemas de filtros que são adicionados ao processo de condicionamento do ar e ambientes de barreiras que forcem a paramentação de funcionários antes da entrada em lugares críticos.

Conforme Fiorentini (1995), o papel da Arquitetura no combate às infecções hospitalares pode ser relacionado às barreiras físicas (isolamentos e vestiários de barreiras), às proteções advindas dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), aos meios (ambiente arquitetônico) e aos recursos (sistemas de climatização e tratamento da qualidade do ar).

O quarto de isolamento destina-se a pacientes internados com suspeitas ou portadores de doenças que possam ser transmissíveis, que provoquem ruído ou odor, ou mesmo para pacientes com maior suscetibilidade de adquirir doenças, ou seja, os imunodeprimidos (FERRER, 2012).

Os isolamentos são utilizados para pacientes com doenças infecciosas e contagiosas, servindo também para imunodepressivos, evitando o contato com os demais doentes e a equipe médica, consistindo em um único quarto com banheiro privativo, muitas vezes, tendo seu acesso realizado por uma antecâmara (FERRER, 2012).

Segundo Bicalho (2010), a importância da qualidade do ar na contaminação do ambiente e a possibilidade de infectar pacientes são menores do que se pensava. Atualmente, as ideias mais difundidas são que as principais causas das infecções hospitalares advêm de bactérias existentes nos próprios pacientes, fazendo com que toda a preocupação com a assepsia do ambiente se torne menos importantes.

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

De acordo com Lacerda e Egry (1997), 70% a 80% das infecções hospitalares são de origem endógena (infecções causadas por bactérias que habitam normalmente o corpo humano).

Segundo Aguiar e Araújo (2013), conclui-se que por meio de ambientes bem ventilados é possível contribuir para o bem-estar e a segurança da saúde de pacientes imunodepressivos. Logo, a renovação do ar por meio da ventilação natural é uma estratégia que pode ser eficiente para a promoção da boa QAI, podendo, assim, auxiliar no controle das infecções hospitalares e no combate de agentes infecciosos presentes no ar.

1.4 Normatizações brasileiras em ambientes de saúde

A legislação que aborda a QAI em ambientes de saúde – RDC n. 9, de 16 de janeiro de 2003 – somente é aplicada em ambientes climatizados artificialmente, não sendo válida para espaços com a utilização exclusiva da ventilação natural.

A manutenção da qualidade do ar nos ambientes internos é obtida através da adequada renovação do ar de tais espaços, de maneira a remover as impurezas eventualmente existentes e manter os níveis de oxigênio em patamares apropriados. Essa qualidade do ar pode ser obtida com pequenas taxas de renovação do ar das construções, conforme determina a NBR 15.220-3: 2005 (PROCEL, 2010, p. 12).

Conforme a RDC n. 50/2002, vários ambientes necessitam de um sistema de condicionamento do ar, uma vez que devem estar, especificadamente, a uma determinada temperatura, umidade, com níveis baixos de contaminantes no ar, sendo espaços totalmente controlados.

A climatização artificial tem como o objetivo ajustar os parâmetros físicos do ambiente interno, tais como: temperatura, umidade, fonte de contaminantes, velocidade, vazão e pressão do ar (PIMENTA, 2016). O sistema de condicionamento do ar é capaz de climatizar os ambientes internos fechados, sendo possível controlar os níveis de temperatura e umidade, criando quesitos de pureza, segurança, ruído, pressão local e ventilação (ARAÚJO, 2016a; 2013).²

Estudos apontam que para a adoção de um sistema climatizado eficiente, é necessária uma extrema atenção em relação à limpeza e ao monitoramento dos dutos e filtros, para o não

² O engenheiro Willis Carrier inventou o processo mecânico para o condicionamento do ar interno em 1902, tornando possível o desejo do controle climático no interior das edificações, criando um processo de resfriamento do ar, fazendo-o circular por dutos artificialmente e reduzindo a umidade interna, sendo considerado o primeiro ar condicionado da história (ARAÚJO, 2013).

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

acúmulo de agentes prejudiciais à saúde dos pacientes, podendo tais procedimentos ser realizados por robôs especiais (ARAÚJO, 2016a; 2011; ASHRAE, 2009; ATKINSON et al., 2009).

Góes (2011) atenta, por exemplo, que para o funcionamento ideal de uma UTI, se faz necessária uma temperatura de 21°C-24°C, com umidade de 40%-60% e níveis de iluminação entre 100 a 300 Lux (geral) e 150 a 200 Lux (campo de trabalho), sendo um espaço que necessita de determinado nível de controle das condicionantes ambientais.

Entre as normas que regem os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), vale destacar a RDC n. 50/2002, que dispõe sobre o regulamento técnico para o planejamento, a programação, a elaboração e a avaliação de projetos em hospitalares, estabelecendo todas as diretrizes arquitetônicas para a elaboração e criação dos espaços de saúde em todo o território brasileiro.

A RDC n. 9/2003 normatiza a climatização artificial em EAS, além de instruir que os espaços climatizados artificialmente devem ter uma taxa mínima de vazão de ar de 27 m³ por hora por pessoa, exceto ambientes com altas taxas de rotatividade, que poderão admitir taxas mínimas de 17 m³ por hora por pessoa.

Segundo Sales (2016), é possível um estreito paralelo entre as normas da RDC n. 9/2003 estabelecidas para ambientes artificialmente climatizados e a utilização de parâmetros para o estabelecimento da ventilação natural em ambientes internos. Nas normatizações brasileiras pesquisadas (ABNT NBR 7256/2005; BRASIL, 2003; 2002) não se têm itens que determinem as taxas mínimas de ventilação natural e sua utilização em ambientes internos hospitalares, mas somente a determinação que determinados espaços devem ser providos de ventilação natural.

A RDC n. 50/2002 afirma que em alguns ambientes específicos tem-se a necessidade de algum sistema de climatização que faça o controle da qualidade do ar (controle da temperatura e/ou umidade e/ou pressão e/ou vazão do ar), sendo representado pela simbologia AC (Ar Condicionado). E ainda, segundo aquela RDC e Bicalho (2010), é possível definir ambientes em áreas críticas, semicríticas e não crítica através da relação da presença de pacientes e com o tipo de doença existente, conforme se segue:

- Áreas críticas: alto risco de transmissão de infecção, onde se realizam procedimentos de risco ou onde se encontram pacientes imunodeprimidos;
- Áreas semicríticas: ambientes onde se tem pacientes com doenças infecciosas e não infecciosas; e
- Áreas não críticas: demais ambientes do EAS.

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Conforme evidenciado na Figura 6, a seguir, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na Norma Brasileira (NBR) 7.256/2005, que estabelece normas sob o tratamento de ar em EAS, trata das seguintes definições importantes em relação às classificações de risco:

Figura 6 – Classificação de risco e ocorrência de eventos adversos à saúde por exposição ao ar ambiental.

Sem filtros	Nível 0	Área onde o risco não excede aquele encontrado em ambientes de uso público e coletivo.
	Nível 1	Área onde não foi constatado risco de ocorrência de agravos à saúde relacionados à qualidade do ar, porém algumas autoridades, organizações ou investigadores sugerem que o risco seja considerado.
Grossos e finos	Nível 2	Área onde existem fortes evidências de risco de ocorrência de agravos à saúde relacionados à qualidade do ar, de seus ocupantes ou pacientes que utilizarão produtos manipulados nestas áreas, baseadas em estudos experimentais, clínicos ou epidemiológicos bem delineados.
	Nível 3	Área onde existem fortes evidências de alto risco de ocorrência de agravos à saúde relacionados à qualidade do ar, de seus ocupantes ou pacientes que utilizarão produtos manipulados nestas áreas, baseadas em estudos experimentais, clínicos ou epidemiológicos bem delineados.
Filtros Absolutos (HEPA)		

Fonte: ABNT NBR 7256 (2005), p. 4.

De fato, tem-se uma divergência de conceitos entre as bibliografias e a RDC n. 50/2002, a ABNT NBR 7.256/2005 e o estudo de Bicalho (2010). Na ABNT NBR 7.256/2005, o nível 0 pode indicar que os riscos encontrados pela exposição ao ar não excede os níveis comumente encontrados em locais de uso coletivo e público; porém, a RDC n. 50/2002 e Bicalho (2010) afirmam que se o ambiente possui a presença de um paciente, o local já é considerado semicrítico, mas pode existir espaços hospitalares próprios para a presença de pacientes, e que o risco de contaminação seja o mesmo encontrado comumente em locais públicos (recepções e área de espera de determinados ambientes que são abertas ao público, por exemplo).

Ainda na ABNT NBR 7.256/2005, tem-se que as instalações para o tratamento e a climatização do ar devem promover as condições termoigrométricas, a pureza do ar interno e a movimentação e renovação do ar, a fim de proporcionar maior conforto ambiental aos

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

pacientes, favorecendo temperaturas adequadas ao funcionamento de equipamentos específicos e eliminando microrganismos que proliferam em locais com alta taxa de umidade.

As instalações de tratamento de ar (ambientes climatizados artificialmente) servem para inibir a existência e a proliferação de microrganismos no ambiente, diminuindo os riscos de infecção hospitalar e promovendo maior qualidade do ar interna nos ambientes hospitalares.

Os filtros HEPA (*High Efficiency Particulate Air Filters*) têm eficiência igual ou superior a 99,97% na filtração do ar, evitando a passagem de agente microbiológico contaminante e prejudicial à saúde, sendo obrigatório em ambientes totalmente restritivos e de risco a saúde do paciente (salas de operação do CC e antecâmaras das salas de isolamento localizado nas internações ou UTIs, por exemplo) (BICALHO, 2010; ABNT NBR n. 7.256/2005).

Conforme a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 1999), os sistemas de climatização artificial possuem uma taxa de recirculação do ar, a fim de gerar economia no acondicionamento do ar interno, pois, o ar reciclado já se encontra nas condições aceitáveis de temperatura, umidade, pressão e outros fatores adequados a cada espaço.

O sistema de climatização deverá possuir filtros na saída do ar, para que não o ar exaurido não esteja contaminado, colocando em risco a saúde das pessoas fora do ambiente hospitalar, uma vez que nos ambientes internos pode haver vários agentes infecciosos, que podem ser encaminhados para o espaço externo.

A concentração de microrganismos no ar pode ser controlada diluindo em ar fresco e para economizar energia, pode ser uma vantagem recircular parte do ar, mas é requerido o uso do filtro mais fino (filtro HEPA), onde 99,9997% dos organismos patogênicos irão ficar presos (MYRUP; OLESEN, 2008, p. 28).

Como o ar que sai de um ambiente de saúde climatizado pode conter agentes com alta transmissibilidade de patologias e danosos a outros enfermos, o ar que é recirculado para fins de eficiência energética deverá passar pelo processo de filtração eficiente antes de ser colocado novamente no ambiente, para não haver contaminação de outras pessoas.

Conforme a norma de tratamento e qualidade do ar interno (ABNT NBR 7.250/2005), o fluxo de ar recirculado não poderá ser do ambiente mais crítico para o menos crítico, a fim de prevenir a dissipação de infecções que podem ser advindas de espaços mais críticos.

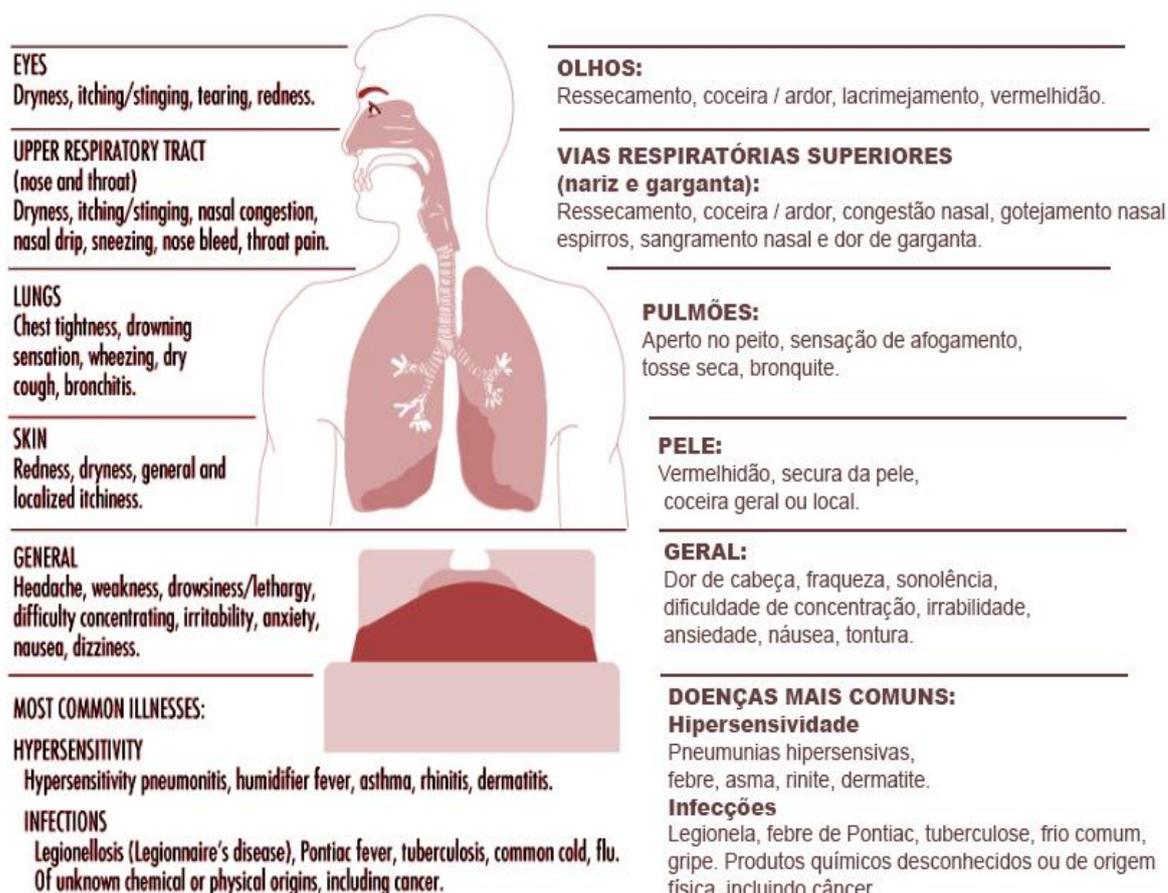
CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

A ASHRAE (1999) e Myrup e Olesen (2008) observam que os filtros são utilizados nos sistemas de climatização artificial devido ao fato de que o ar é reaproveitado dos ambientes de saúde, já que em caso de não recirculação do ar, não haveria necessidade de filtros.

No caso de ambientes com a utilização da ventilação natural, não seria necessária a utilização de filtros, pois não se tem a necessidade de reutilização do ar no mesmo ambiente. Estes, porém, deverão possuir uma renovação de ar adequada para a qualidade do ar e telas específicas para proteção de agentes externos.

A QAI começou a ser estudada profundamente após a descoberta de que as diminuições das taxas de renovação de ar aumentavam o número de poluentes no interior das edificações, causando a SED (QUADROS et al., 2009). Os sintomas e as doenças relacionadas à má qualidade do ar estão listados na Figura 7, a seguir, que vão desde os simples sintomas (ressecamentos, coceiras, por exemplo) até doenças mais graves (pneumonias, tuberculose e câncer, por exemplo).

Figura 7 – Sintomas da má qualidade do ar.

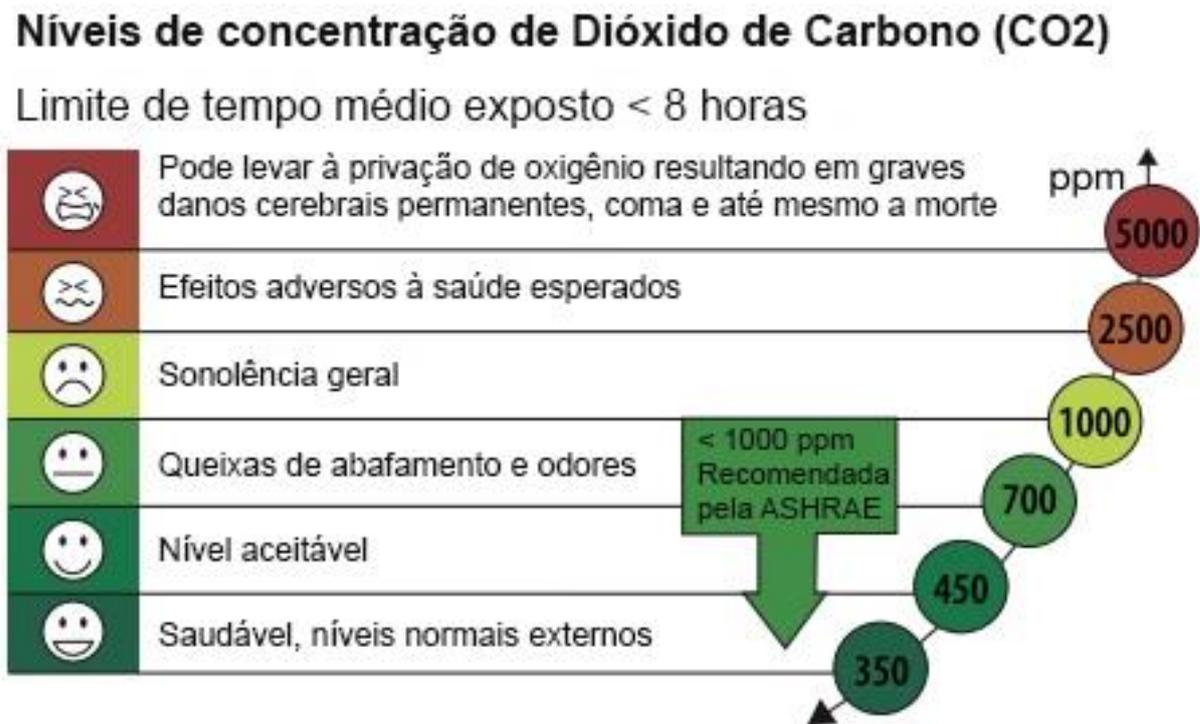


CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 382, de 26 de dezembro de 2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes para fontes fixas, a fim de controlar a emissão de resíduos tóxicos através de fontes fixas (indústrias, setor de produção de energia etc.), sendo uma das ferramentas de combate à poluição do ar no Brasil.

Conforme a ASHRAE (2009), os níveis recomendados para grandes períodos (maior que oito horas) de exposição ao Dióxido de Carbono (CO²) devem ser inferiores a 1000 partes por milhão (ppm); do contrário, podem ocorrer sérios danos à saúde e até mesmo a morte (Figura 8).

Figura 8 – Sintomas da alta concentração de Dióxido de Carbono no ar.



Fonte: Net Zero Tools (2016).

Para uma boa qualidade do ar, é preciso evitar altas concentrações de CO² no ambiente, pois, este, em altas taxas, é prejudicial à saúde humana. O ambiente deve possuir algum sistema que renove o ar e que se retirem as altas taxas de CO², para que seja substituído por um ar novo e puro e que contenha menos poluentes indesejados, para a manutenção da QAI.

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Em 1999, a ASHRAE publicou uma norma sobre os níveis mínimos de ventilação para manter uma aceitável qualidade do ar interno, onde foram estabelecidos os seguintes valores para cada ambiente hospitalar (Tabela 1):

Tabela 1 – Níveis mínimos de ventilação em ambientes hospitalares.

Hospitais, Enfermarias e Casas de Tratamento Convalescentes	Litros por Segundo por Pessoa (L/s)
Sala de pacientes	25
Procedimentos médicos	15
Sala de operação	30
Recuperação e UTI	15
Sala de autópsia	15

Fonte: ASHRAE (1999), p. 9.

Pela ASHRAE (1999) já se tem a preocupação com os níveis de poluentes internos biológicos e não biológicos e os seus efeitos para a saúde humana, tendo em vista que a norma estabelece os níveis mínimos de ventilação para determinar uma boa qualidade do ar interna.

Conforme a RDC n. 9/2003, os possíveis poluentes internos (vide Quadros 1 e 2, a seguir) biológicos e não biológicos (agentes químicos) são:

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Quadro 1 – Agentes biológicos.

Agentes Biológicos	Principais Fontes em Ambientes Interiores	Principais Medidas de Correção em Ambientes Interiores
Bactérias	Reservatórios com água estagnada, torres de resfriamento, bandejas de condensado, desumidificadores, umidificadores, serpentinas de condicionadores de ar e superfícies úmidas e quentes.	Realizar a limpeza e a conservação das torres de resfriamento; higienizar os reservatórios e bandejas de condensado ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes; eliminar as infiltrações; higienizar as superfícies.
Fungos	Ambientes úmidos e demais fontes de multiplicação fúngica, como materiais porosos orgânicos úmidos, forros, paredes e isolamentos úmidos; ar externo, interior de condicionadores e dutos sem manutenção, vasos de terra com plantas.	Corrigir a umidade ambiental; manter sob controle rígido vazamentos, infiltrações e condensação de água; higienizar os ambientes e componentes do sistema de climatização ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes; eliminar materiais porosos contaminados; eliminar ou restringir vasos de plantas com cultivo em terra, ou substituir pelo cultivo em água (hidroponia); utilizar filtros G-1 na renovação do ar externo.
Protozoários	Reservatórios de água contaminada, bandejas e umidificadores de condicionadores sem manutenção.	Higienizar o reservatório ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes.
Vírus	Hospedeiro humano.	Adequar o número de ocupantes por m ² de área com aumento da renovação de ar; evitar a presença de pessoas infectadas nos ambientes climatizados.
Algas	Torres de resfriamento e bandejas de condensados.	Higienizar os reservatórios e bandejas de condensado ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes.
Pólen	Ar externo.	Manter filtragem de acordo com NBR-6401 da ABNT.
Artrópodes	Poeira caseira.	Higienizar as superfícies fixas e mobiliário, especialmente os revestidos com tecidos e tapetes; restringir ou eliminar o uso desses revestimentos.
Animais	Roedores, morcegos e aves.	Restringir o acesso, controlar os roedores, os morcegos, ninhos de aves e respectivos excrementos.

Fonte: Brasil (2003), p. 3-4.

**CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR**

Quadro 2 – Agentes não biológicos (continua).

Agentes Químicos	Principais Fontes em Ambientes Interiores	Principais Medidas de Correção em Ambientes Interiores
CO	Combustão (cigarros, queimadores de fogões e veículos automotores).	Manter a captação de ar exterior com baixa concentração de poluentes; restringir as fontes de combustão; manter a exaustão em áreas em que ocorre combustão, eliminar a infiltração de CO proveniente de fontes externas; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
CO ₂	Produtos de metabolismo humano e combustão.	Aumentar a renovação de ar externo, restringir as fontes de combustão e o tabagismo em áreas fechadas; eliminar a infiltração de fontes externas.
NO ₂	Combustão.	Restringir as fontes de combustão; manter a exaustão em áreas em que ocorre combustão; impedir a infiltração de NO ₂ provenientes de fontes externas, restringir o tabagismo em áreas fechadas.
O ₃	Máquinas copiadoras e impressoras a laser.	Adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores, com exaustão do ambiente ou enclausuramento em locais exclusivos para os equipamentos que apresentem grande capacidade de produção de O ₃ .
Formaldeído	Materiais de acabamento imobiliário, cola, produtos de limpeza domissanitários.	Selecionar os materiais de construção, acabamento e mobiliário que possuem ou emitam menos formaldeído; usar produtos domissanitários que não contenham formaldeído.
Material particulado	Poeira e fibras.	Manter filtragem de acordo com NBR-6402 da ABNT; evitar isolamento termo acústico, que possa imitar fibras minerais, orgânicas ou sintéticas para o ambiente climatizado; reduzir as fontes internas; higienizar superfícies fixas e mobiliário, sem o uso de vassouras, escovas ou espanadores; selecionar os materiais de construção e acabamento com menor porosidade; adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores (veja biológicos); restringir o tabagismo em áreas fechadas.
Fumo de tabaco	Queima de cigarros, charutos, cachimbo etc.	Aumentar a quantidade de ar externo admitido para renovação e/ou exaustão dos poluentes; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
COV	Cera, mobiliário, produtos usados em limpeza e domissanitários, solventes, materiais de revestimento, tintas, colas etc.	Selecionar os materiais de construção, acabamento, mobiliário; usar produtos de limpeza e domissanitários que não contenham COV ou que não apresentem alta taxa de volatilização e toxicidade.

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS
LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

Quadro 2 – Agentes não biológicos (conclusão).

Agentes Químicos	Principais Fontes em Ambientes Interiores	Principais Medidas de Correção em Ambientes Interiores
COS-V	Queima de combustíveis e utilização de pesticidas.	Eliminar a contaminação por fontes pesticidas, inseticidas e a queima de combustíveis; manter a captação de ar exterior afastada de poluentes.

Onde: COV – Compostos Orgânicos; COS-V – Compostos Orgânicos Semi-Voláteis.

Fonte: Brasil (2003), p. 4-6.

Ainda na RDC n. 9/2003 é demonstrada quais são os agentes biológicos e não biológicos, as principais fontes – em ambientes internos – relacionadas ao descuido, à falta de manutenção de equipamentos e limpeza dos ambientes, bem como as principais medidas para a devida correção – relacionadas à manutenção, à limpeza, aos cuidados e ao aumento da renovação de ar interna.

A utilização da ventilação natural para a promoção da QAI somente é indicada quando os níveis de poluentes encontrados no ar externo estão abaixo dos parâmetros admitidos pelas normas das agências de saúde, e que estejam longe de fontes potenciais de contaminação do ar. A ABNT NBR 16.401-3/2008, que trata de QAI em ambientes com instalações de ar condicionado, preconiza a utilização de filtros na entrada de ar para a purificação de poluentes externos.

No Quadro 3, a seguir, têm-se as distâncias mínimas entre a captação de ar e as fontes de poluentes estabelecidas pela ABNT NBR 16.401-3/2008.

Quadro 3 – Distâncias mínimas entre a captação de ar e as fontes de poluentes.

Item	Distância
Entrada de garagens, estacionamentos ou <i>drive-in</i>	5 m
Docas de carga e descarga, estacionamento de ônibus	7,5 m
Estradas, ruas com pouco movimento	1,5 m
Estradas, ruas com tráfego pesado	7,5 m
Telhados, lajes, jardins ou outra superfície horizontal	1,5 m
Depósitos de lixo e área de colocação de caçambas	5 m
Locais reservados e fumantes (fumódromos)	4 m
Torres de resfriamento	10 m

Fonte: ABNT NBR 16.041-3 (2008), p. 12.

CAPÍTULO 1 – UM BREVE PANORAMA E AS LEGISLAÇÕES DA ARQUITETURA HOSPITALAR

A taxa de renovação de ar interno é de extrema importância para a promoção do conforto ambiental interno, a salubridade do ar, a remoção de poluentes internos, a qualidade das atividades executadas pelos usuários internos na edificação, bem como à saúde dos mesmos.

1.5 Conclusões do capítulo

De modo posterior à incorporação da vertente sustentável na arquitetura, teve início a utilização da ventilação natural para fins de eficiência energética, resplandecendo na Arquitetura Hospitalar, que vem se adaptando à incorporação da ventilação natural, pois, os estudos científicos demonstraram os benefícios da ventilação natural e da boa qualidade do ar nos hospitais.

De fato, o ambiente hospitalar obteve grandes modificações no espaço devido à evolução tecnológica e científica por meio das técnicas assépticas e de desenvolvimento do setor de diagnóstico. Posteriormente, o edifício hospitalar passou a ser utilizado por toda a população pela grande complexidade de serviços oferecidos.

A renovação do ar é importante para a criação de uma boa QAI, contribuindo para a saúde do usuário interno, pois, a renovação de ar diminui a concentração de agentes espalhados no ambiente que são nocivos à saúde humana, uma vez que não se tem nenhuma norma vigente específica sobre a ventilação natural em ambientes hospitalares e tampouco os parâmetros mínimos que devem ser estabelecidos para a promoção de uma boa QAI no Brasil.

Observando o referencial bibliográfico mencionado, foi possível observar que a maior fonte de transmissão de doenças infecciosas não é o meio arquitetônico, mas sim, os agentes endógenos: aqueles que advêm do próprio paciente.

CAPÍTULO 2 - QUALIDADE DO AR E DINÂMICA COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

O presente capítulo trata da ventilação natural e a relação desta com a Arquitetura para a promoção do conforto ambiental interno e da qualidade do ar nos espaços de saúde. Nas linhas que se seguem têm-se os principais dados (BRASÍLIA, 2016) que fazem alusão à qualidade do ar na cidade de Brasília – localidade onde se encontram os estudos de caso aqui analisados.

Posteriormente, tem-se a apresentação do *software* para a realização das simulações de ventilação e simulação computacional – de modelagem e de dinâmica de fluídos CFD (*Computational Fluid Dynamics*) –, onde se tem os efeitos diretos do vento nos objetos modelados tridimensionalmente.

2.1 A ventilação natural e o conforto ambiental

A circulação de ar global se dá por meio da diferença de temperatura advinda pela grande intensidade de radiação solar que atinge a região equatorial terrestre em relação aos polos, criando uma diferença de temperatura e pressão, gerando um movimento do ar de maior pressão para menor pressão (OLGYAY, 1963). As distribuições de massas de oceano e de continente acarretam na diferença de pressão atmosférica, interferindo no fluxo de ar.

Givoni (1969), Oke (1978), Olgyay (1963), Monteiro e Mendonça (2003), Bittencourt e Cândido (2015) e Lamberts, Dutra e Pereira (2013) atentam para o melhor aprofundamento do entendimento da relação da ventilação com a Arquitetura.

Em grande parte das localidades brasileiras, a ventilação é uma das estratégias bioclimáticas mais utilizadas em climas predominantemente quentes – promovendo a salubridade e o conforto térmico em ambientes internos (ABNT NBR n. 15.220/2005). Quando o ambiente externo se mostra mais frio do que o ambiente interno, a ventilação pode resfriar o espaço interno por condução, acarretando na perda de calor para o meio através da convecção, melhorando os níveis de conforto.

Segundo Givoni (1969), a ventilação natural tem três funções distintas essenciais para a Arquitetura e o Urbanismo, a saber: 1) a manutenção da qualidade do ar, que se dá pela troca das massas e pela circulação da ventilação em um determinado ambiente; 2) a promoção do conforto térmico através da ventilação natural, que remove as partículas de suor da pele humana, roubando calor da pele em climas quentes e úmidos (evaporação) e em climas quente

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

e seco, fazendo trocas térmicas do corpo com o ar por convecção (AMORIM; FERNANDES, 2011); e, 3) o resfriamento do ambiente, quando a temperatura interna é menor do que a externa, acarretando em trocas térmicas entre o ar mais quente e o mais frio, havendo uma tendência ao equilíbrio entre estes.

Olgyay (1963) propôs uma carta bioclimática com características de condições de conforto em relação à temperatura e à umidade relativa do ar propondo diretrizes e estratégias bioclimáticas a serem tomadas, a fim de lograr níveis de conforto, onde a ventilação natural aparece como uma das diretrizes a serem adotadas para o conforto.

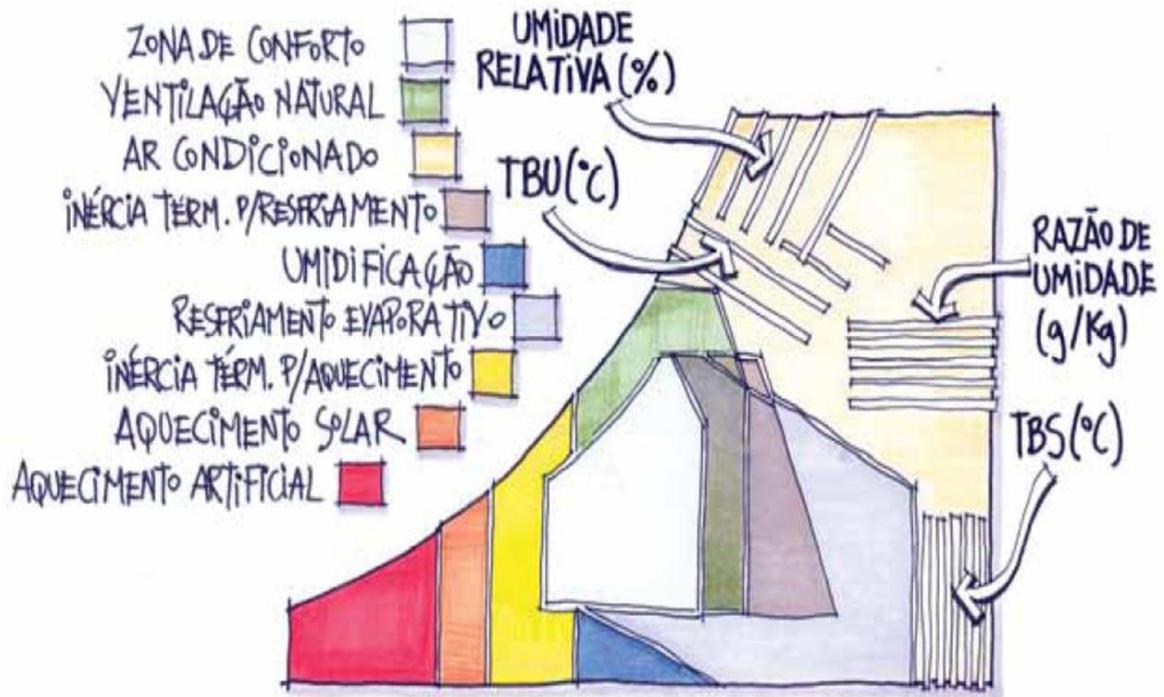
Aquele autor observa que a ventilação natural deverá ser aplicada como uma estratégia passiva para obtenção do conforto humano em temperaturas acima de 21° graus, e pode ser estendida a temperaturas maiores, quando a ventilação é somada com a estratégia de umidificação.

Givoni (1969) desenvolveu um diagrama bioclimático para o edifício, a fim de corrigir as limitações que haviam na carta desenvolvida por Olgyay (1963), definindo, assim, uma estratégia para atingir os níveis de conforto interno do edifício, conforme a Temperatura de Bulbo Seco (TBU), a Temperatura de Bulbo Úmido (TBS) e o Conteúdo de Umidade (W).

Lamberts, Dutra e Pereira (2013) adaptaram o diagrama bioclimático para o Brasil conforme evidenciado na Figura 9.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Figura 9 – Diagrama bioclimático de Givoni (1969) e adaptado por Lamberts, Dutra e Pereira (2013).



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013), p. 86.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2013), a diferença entre as duas cartas bioclimáticas é que Olgyay (1963) fez uso de parâmetros de temperaturas externas, uma vez que este afirmou que a diferença dos resultados obtidos entre as temperaturas internas e externas foram mínimas; portanto, seria uma carta bioclimática desenvolvida sob parâmetros externos com diretrizes para o conforto interno ao edifício; enquanto Givoni (1969) considerou no desenvolvimento de sua carta parâmetros de temperatura interna ao edifício com estratégias para ambientes internos.

Bittencourt e Cândido (2015) afirmam que a ventilação pode ser uma estratégia bioclimática viável, dispensando o uso do ar condicionado, pois, a ventilação natural é a estratégia mais eficaz para climas quentes (Regiões Norte e Nordeste do Brasil, por exemplo), onde as condições de conforto térmico podem ser alcançadas com velocidades baixas do ar (1,0 m/s).

Os autores também ressaltam que a configuração do fluxo de ar no interior de uma edificação se dá via três fatores, quais sejam: 1) o tamanho e a localização das aberturas de entrada de ar; o tipo de aberturas utilizadas; e, 3) a localização de componentes arquitetônicos.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

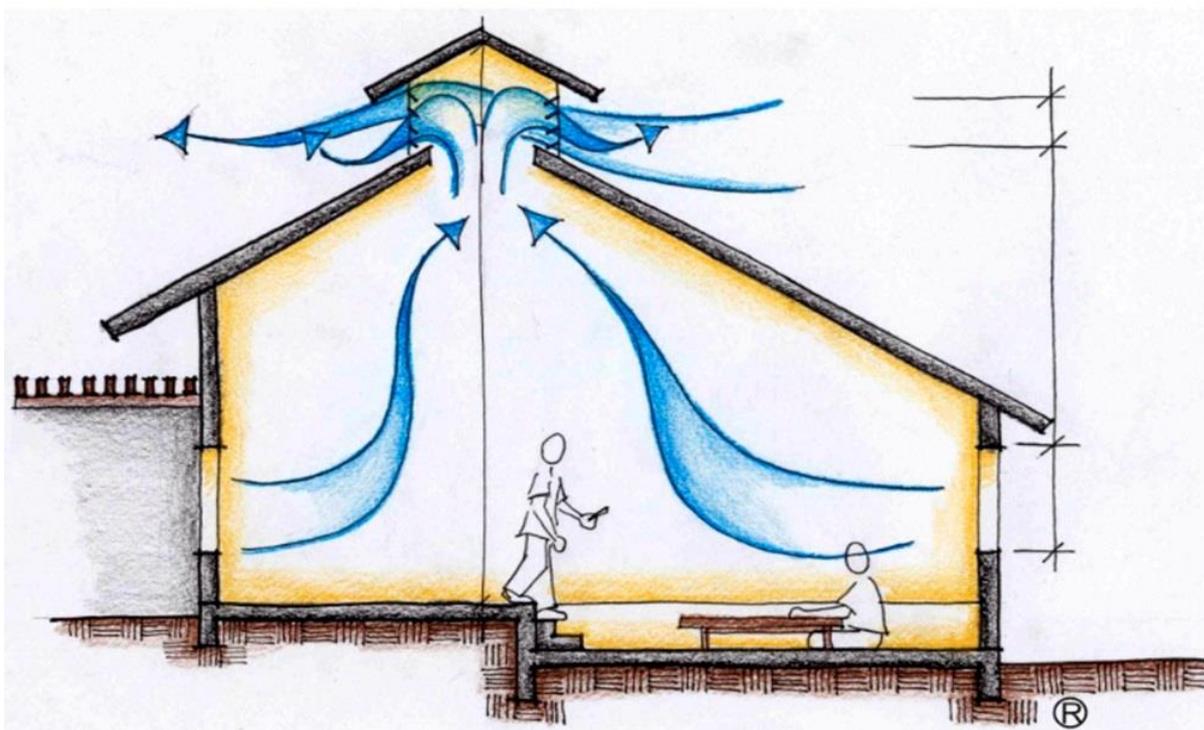
Lamberts, Dutra e Pererira (2013) trazem estudos sobre vários exemplos do desempenho da ventilação cruzada e a distribuição do fluxo de ar em relação à localização das aberturas e os tipos de plantas com ou sem divisórias internas.

Para Heywood (2015), a ventilação natural cruzada somente é eficaz quando a profundidade da planta é relacionada ao pé-direito do ambiente, devendo a profundidade do espaço não ser superior a cinco vezes o seu pé direito; e ainda, as áreas de entrada e saída de ar devem ser equivalentes a 5% da área do piso cada uma. Tal regra ajuda no aprimoramento da ventilação natural cruzada, a fim de trazer maior eficiência energética para o projeto.

Conforme Sales (2012), o tamanho das aberturas em simulações de ventilações cruzadas tem influência em relação ao fluxo de ar interno em alguns cenários propostos quanto aos ventos predominantes; ou seja, pelo modelo de estudo de caso proposto, se a abertura da entrada de ar do ambiente fosse 20% maior, haveria melhor distribuição do fluxo de ar em todo pavimento.

As coberturas e paredes ventiladas ajudam a diminuir a transferência de calor do meio externo para o interno por meio da envoltória, sendo favorável ao conforto térmico. Tanto nas coberturas quanto nas paredes, na estratégia em questão, são previstas aberturas para a entrada e a saída de ar, visando a circulação adequada de ar, promovendo uma renovação do ar, resfriando a edificação. Aqui se tem, por exemplo, os *sheds* propostos por João Filgueiras Limas (Lelé) (2012) nos hospitais da Rede SARAH. Estes possuem os mesmos princípios de funcionamento que as estruturas criadas para o efeito de ventilação natural – o efeito chaminé (Figura 10).

Figura 10 – Efeito chaminé por *shed*.



Fonte: Bioclimatismo (2017).

O funcionamento do efeito chaminé parte do princípio da diferença de temperatura e da densidade das massas de ar, pois, o ar quente é mais leve e menos denso do que o ar frio. Quando o vento frio adentra ao edifício, ele se aquece, uma vez que entra contato com o homem e sobe por convecção, fazendo com que seja extraído pela abertura superior, criando uma renovação de ar (LELÉ, 2012).

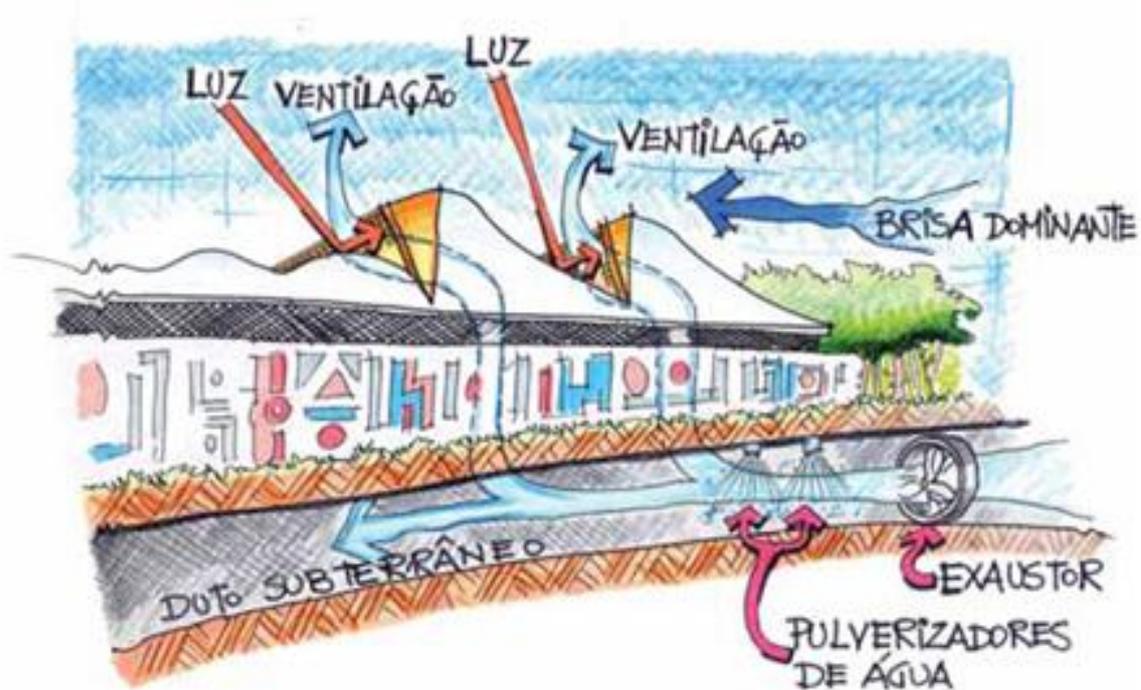
Na arquitetura projetada por Lelé (2012) – referência em Arquitetura Hospitalar bioclimática e humanizada – percebem-se dispositivos para resolver os problemas de desconforto em ambientes tão rigorosos e rígidos em relação a legislações e modificações de espaço. Aquele arquiteto combina a iluminação com a ventilação natural, quase sempre via *sheds*, junto com a intensa presença de jardins internos e paisagem natural, levando em conta a relação da Arquitetura e o clima, buscando novos conceitos de humanização, criando um novo modo de projetar os edifícios hospitalares (BITENCOURT; COSTEIRA, 2014).

O arquiteto Lelé (2012) demonstrou em suas obras que os estudos dos aspectos bioclimáticos na fase de estudo preliminar são de extrema importância para a criação de uma Arquitetura mais eficiente e humanizada (Figura 11). Aquele profissional foi um grande

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

inventor, adotando formas arquitetônicas variadas, com base em estrutura, volumetrias harmoniosas e formas aerodinâmicas.

Figura 11 – Hospital SARAH Salvador.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013), p. 29.

Lelé traz para a arquitetura o insumo tecnológico, não por pura modernidade, mas como forma de humanizar o espaço e dotá-lo de melhor (con) viver. Em sua poética, a inovação transita com a arte, e sem conflitos - a não ser aqueles típicos de qualquer alma criativa. (LELÉ, 2012, p. 15).

Heywood (2015) demonstra que para o funcionamento eficaz do efeito chaminé se faz necessária a temperatura externa de 2° C superior a temperatura interna, promovendo uma renovação do ar.

Bittencourt e Cândido (2015) apontam estudos onde os *sheds* podem funcionar como captadores e extratores de ar, dependendo da localização em relação à direção dos ventos e que podem aprimorar a ventilação cruzada dos ambientes internos em 40%, quando utilizados como extratores de ar.

2.2 Qualidade do ar na Arquitetura Hospitalar

A *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) (1999; 2013) e Atkinson et al. (2009) apontam a importância da ventilação natural na Arquitetura Hospitalar integrada com o conforto ambiental, com a natureza e com o ambiente externo para a melhoria no tratamento de diversas doenças, inclusive, para pacientes com restrições imunológicas, derrubando alguns dogmas e paradigmas existentes dentro da esfera hospitalar.

Com base em Miquelin (1992), ASHRAE (1999; 2013) e Atkinson et al. (2009), a ventilação natural promove uma boa qualidade do ar, trazendo ambientes mais saudáveis e menos propensos a existência de agentes causadores das temíveis infecções hospitalares, sendo mostrado quando Florence Nightingale criou um modelo de Enfermaria naturalmente ventilada, onde foi possível reduzir o número de mortos devido às melhorias na salubridade do ar.

Além da promoção da saúde nos ambientes hospitalares, a ventilação natural também é uma estratégia de conforto passivo, sendo possível obter os mesmos efeitos de assepsia nos ambientes internos, quando a mesma é utilizada ao invés da climatização artificial, reduzindo, assim, os altos consumos de energia elétrica.

Sales (2016) faz um paralelo entre a climatização artificial e a natural fazendo uso das mesmas taxas mínimas de renovação de ar estabelecidas pela Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n. 9/2003, para criar um Diagrama de Ventilação Natural (DVN) para habitações em fase de estudo preliminar do projeto de arquitetura, podendo ser aplicado em sete cidades brasileiras.

A ASHRAE, em 2013, divulgou um documento sobre sistemas de climatização, ventilação e aquecimento em ambientes hospitalares, onde foi explicitada a relação entre o tempo de remoção de partículas e a Renovação de Ar por Hora (RAH), sendo indicado que em ambientes com duas RAHs, demora-se 138 minutos para remover 99% das partículas no ar (Tabela 2), e em ambientes com 50 renovações por hora, demora-se seis minutos para a remoção de 99% das partículas.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Tabela 2 – Taxa de renovação de ar em função da remoção de partículas em relação ao tempo.

Taxa de Renovação de Ar por Hora	Tempo para Remover com Eficiência 99%, em minutos
2	138
4	69
6	46
8	35
10	28
12	23
15	18
20	14
50	6

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2013), p. 28.

Estudos publicados no Reino Unido apontaram que 70% da área de um hospital podem ser naturalmente ventiladas, e somente 7% da área necessita de filtros de alta precisão (SHORT; AL-MAIYAH, 2009). De acordo com a ASHRAE (1999), foi publicada uma norma sobre a qualidade do ar interno em ambientes através da ventilação, explicitando vários pontos sobre o sistema de ventilação natural, conforme se segue:

- Sistemas de ventilação podem ser artificiais ou naturais, devendo o artificial possuir um equipamento para medição do fluxo de ar, e o natural possuir eficácia demonstrável;
- Os ambientes hospitalares que possuem pacientes (Enfermarias) devem possuir como taxa de renovação de ar de 13 litros por segundo por pessoa;
- Os sistemas de ventilação artificial devem ser projetados para prevenir a contaminação do ar exaurido, condensado, bem como o crescimento de microrganismos através dos ductos que levam o ar para o ambiente interno, devendo possuir as saídas e as entradas de ar longe de fontes de contaminação do ar;
- A taxa de ventilação promove uma aceitável qualidade do ar interno; e
- O ar externo deve ter uma boa qualidade (com índices de concentração de poluentes baixos para não prejudicar a saúde dos usuários internos ao ambiente hospitalar).

ASHRAE (1999) afirma que os sistemas de climatização artificial possuem uma taxa de recirculação do ar, promovendo certa economia no acondicionamento do ar interno, pois, o ar

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

reciclado já se encontra nas condições aceitáveis de temperatura, umidade, pressão e outros fatores adequados a cada espaço.

O sistema deverá possuir filtros na saída do ar, para que o ar exaurido não esteja contaminado, colocando em risco a saúde das pessoas fora dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), uma vez que nos ambientes internos pode haver vários agentes infecciosos, sendo possível o encaminhamento destes para o espaço externo.

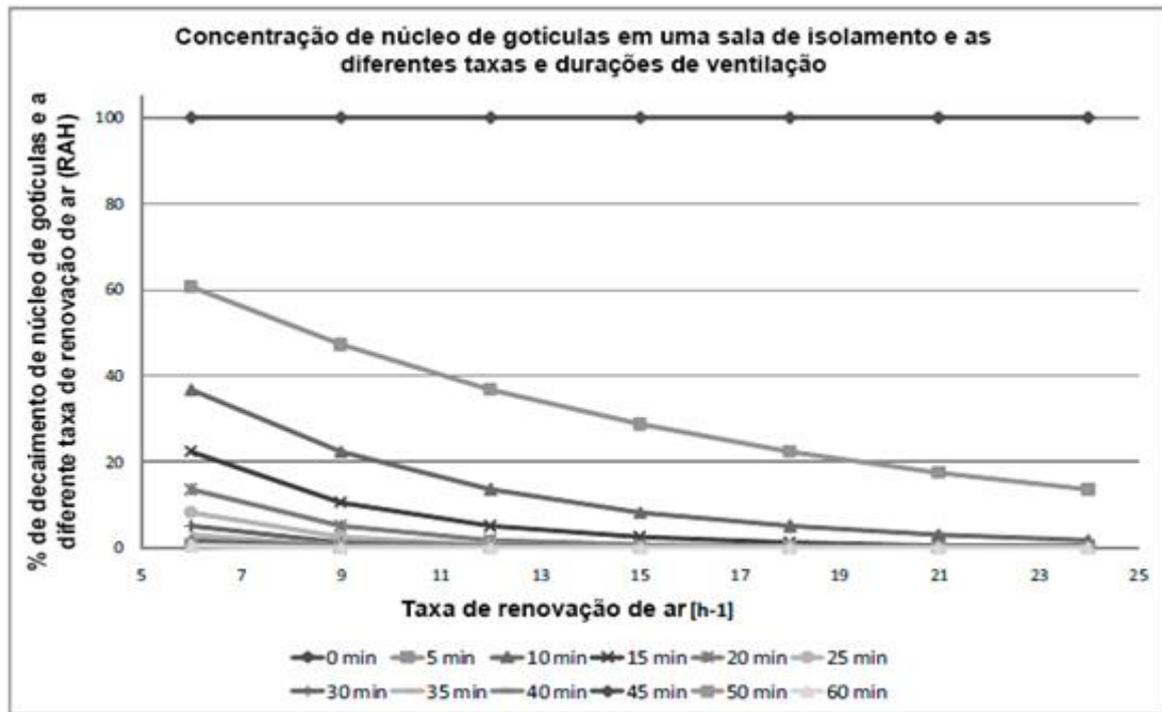
Uma série de trabalhos e publicações (CARVALHO, 2014; ASHRAE, 1999; 2013; ATKINSON et al., 2009; MALKIN, 2008) tem favorecido a utilização da ventilação natural em hospitais, inclusive, em ambientes críticos e salas de isolamento, desde que sejam estabelecidas taxas mínimas de renovação de ar e que não haja ar recirculado para os demais ambientes hospitalares.

Atkinson et al. (2009), a serviço da *World Health Organization* (WHO), publicou uma série de diretrizes para o combate as infecções hospitalares por meio da utilização somente da ventilação natural em hospitais, concluindo o que se segue:

- Para pacientes que precisam de isolamento, o mínimo de taxa de ventilação do ar para ambientes climatizados é de 12 Renovações de Ar por Hora (RAH), e para os ambientes naturalmente ventilados, de 24 RAHs para manter a assepsia adequada do ambiente;
- A ventilação natural pode ser utilizada em ambientes de isolamento com pacientes que tenham infecções que possam ser transmitidas pelo ar; e
- A comprovação de que a taxa de RAH consegue reduzir o risco de infecção de um paciente para o outro, uma vez que as altas taxas de RAH estabelecem uma baixa presença de núcleo de gotículas dispersas no ar, evitando, assim, a transmissão de infecção hospitalar, conforme evidenciado na Figura 12.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Figura 12 – Taxa de Renovação de Ar por Hora e o efeito na diminuição da concentração de partículas no ar.



Fonte: Atkinson et al. (2009), p .35.

Ainda em Atkinson et al. (2009), tem-se uma discussão sobre o uso da ventilação natural em EAS, que culminou nos seguintes aspectos:

- As vantagens do uso da ventilação natural são: o baixo custo de implantação, manutenção e operação, sendo capaz de alcançar altas taxas de RAH, próprio para climas quente e temperado (indicada 50% do tempo), e remoção de uma grande quantidade de partículas e poluentes localizada em ambientes internos; as desvantagens são: o risco à exposição a insetos, a redução do nível de conforto em climas extremos (muito quente ou muito frio), não inibição de barulhos externos a edificação – não sendo possível estabelecer diferenças internas de pressão, sendo mais difícil de projetar, analisar e prever os fluxos; e
- A utilização da ventilação natural em ambientes de Enfermaria deve apresentar uma taxa de ventilação de no mínimo de 60 litros por segundo por paciente.

Para o projeto que contenha ventilação natural, deve ser considerada a qualidade do ar externa e a velocidade dos ventos do local, pois, se uma cidade obtiver níveis de concentração de partículas prejudiciais à saúde maiores do que o permitido, tal fato pode causar danos aos

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

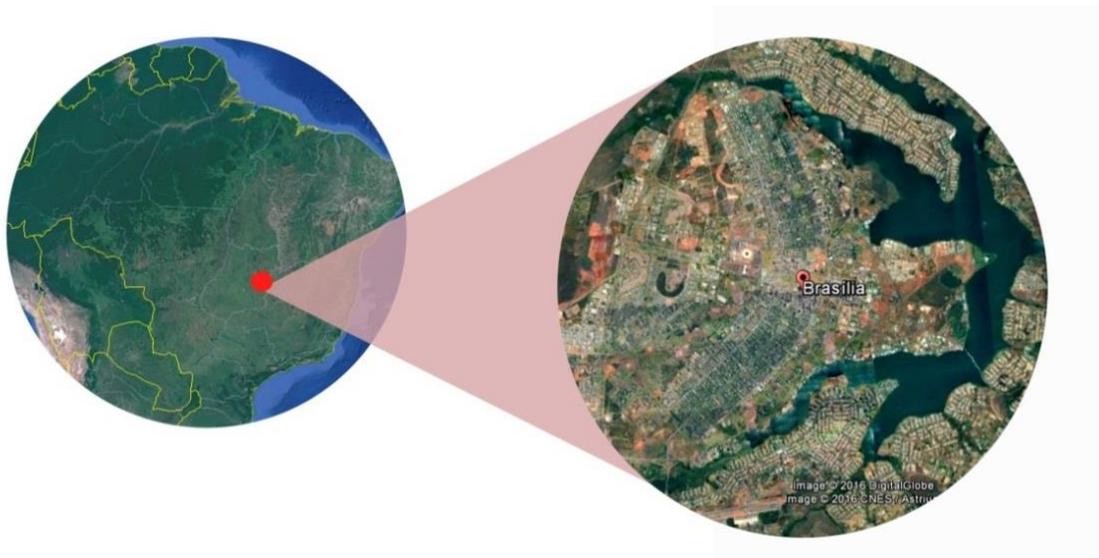
usuários internos da edificação, e se a velocidade dos ventos for baixa, as taxas de renovação de ar serão insuficientes para gerar uma boa retirada de partículas prejudiciais à saúde concentradas no ar.

A seguir têm-se os valores da qualidade do ar na cidade de Brasília coletados pelo IBRAN (BRASÍLIA, 2016), que ali justificam a utilização da ventilação natural, uma vez que Brasília apresenta boa qualidade do ar externo.

2.3 Caracterização do ar em Brasília

A cidade de Brasília está localizada na Região Centro-Oeste do Brasil (Figura 13) e seu clima, de acordo com a classificação de Köppen, pertence às categorias Aw, podendo ser classificado como Tropical de Altitude (ROMERO, 2013), sendo marcado por dois períodos distintos, a saber: 1) quente-úmido de verão chuvoso – que vai dos meses de outubro a abril; e, 2) quente-seco de inverno seco, que vai dos meses de maio a setembro (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Figura 13 – Localização da cidade de Brasília, Brasil.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2017).

Brasília possui uma necessidade de ventilação natural em 17,3% das horas do ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Pela Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 15.220/3, que trata do desempenho térmico de

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

edificações e das diretrizes construtivas para habitações, onde o Brasil foi separado em oito zonas e em cada zona são propostas diretrizes construtivas para um melhor desempenho térmico das edificações, Brasília é representada pela zona bioclimática número 4 (Quadro 4).

Quadro 4 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

Zona Bioclimática	Tamanho de aberturas para ventilação	Estratégias de ventilação
Zona Bioclimática 1	Médias	Não apresentado
Zona Bioclimática 2	Médias	Ventilação cruzada no verão
Zona Bioclimática 3	Médias	Ventilação cruzada no verão
Zona Bioclimática 4	Médias	Ventilação Seletiva
Zona Bioclimática 5	Médias	Ventilação cruzada no verão
Zona Bioclimática 6	Médias	Ventilação Seletiva
Zona Bioclimática 7	Pequenas	Ventilação Seletiva
Zona Bioclimática 8	Grandes	Ventilação Permanente

Fonte: ABNT NBR 15.220/3(2005).

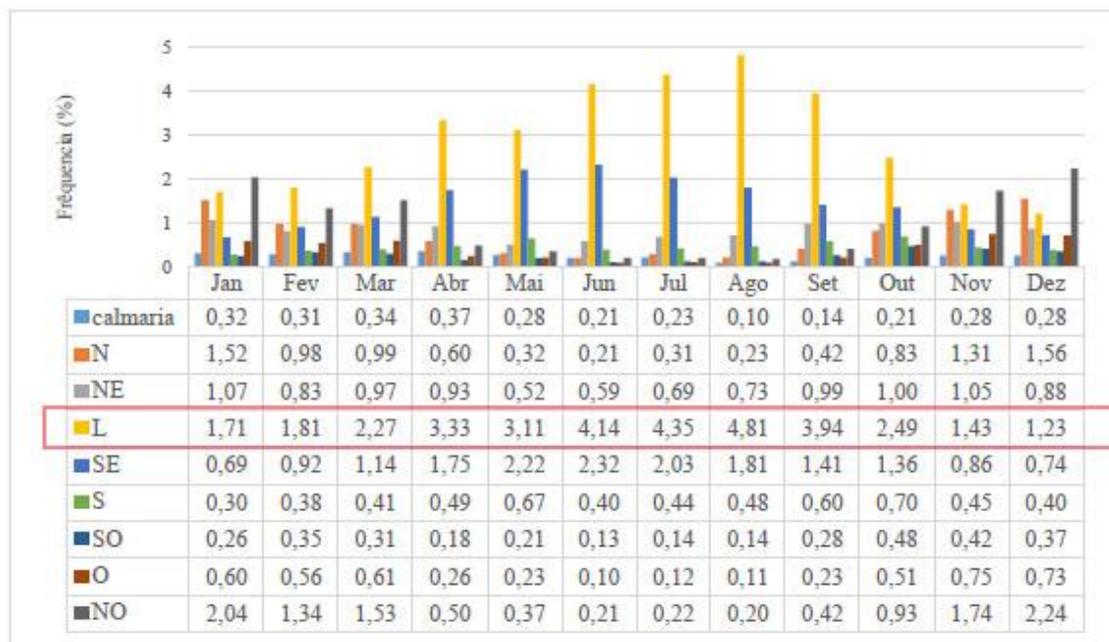
Segundo a ABNT NBR 15.220/3 (2005), para a cidade de Brasília é proposto o tamanho de aberturas médias com sombreamento durante o ano todo, e a utilização das estratégias bioclimáticas de ventilação cruzada seletiva para o alcance do conforto térmico. Porém, Lamberts, Dutra e Pereira (2013) afirmam que a cidade de Brasília não possui grande necessidade de utilização da estratégia bioclimática de ventilação natural para o alcance do conforto térmico, pois necessita somente de 17,3% de horas ventiladas naturalmente durante o ano.

Os dados da orientação, frequência dos ventos e velocidade média dos ventos podem ser obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (BRASIL, 2016) para a análise do fluxo de vento em Brasília. Estes apontam que a orientação e maior frequência dos ventos em Brasília estão localizadas na direção Leste em todas as épocas do ano, com exceção dos ventos de verão vindos do Noroeste (BRASIL, 2016; ZANONI, 2015).

Segundo Zanoni (2015), pela série histórica 2001-2013, a cidade de Brasília possui 34,62% de frequência dos ventos vindos da direção Leste (Figura 14) e com velocidade de média de 3,57 m/s (Figura 15). Aquele autor ainda aponta que a capital federal do Brasil não possui grande frequência de ventos ausentes ou de calmaria – cerca de 1,9% e 3%, respectivamente.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Figura 14 – Frequência da direção dos ventos na cidade de Brasília, Brasil, pela série histórica 2001-2013.



Direção	Frequência (%)
Calmaria	3,08%
N	9,28%
NE	10,24%
L	34,62%
SE	17,26%
S	5,72%
SO	3,27%
O	4,81%
NO	11,73%
Total	100%

Fonte: Zanoni (2015), p .52.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Figura 15 – Velocidade dos ventos na cidade de Brasília, Brasil, pela série histórica 2001-2013.



Direção	Velocidade média
N	2,48
NE	2,69
L	3,57
SE	2,43
S	1,87
SO	2,12
O	2,03
NO	2,41
Total	2,45

Fonte: Zanoni (2015), p. 53.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

É válido lembrar que as medições dos dados se dão em estações meteorológicas, muitas vezes, localizadas distantes dos centros urbanos, fazendo com que, alguns casos, os dados obtidos não sejam tão parecidos quanto às medições *in loco* (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2015).

2.3.1 Qualidade do ar externo

A poluição do ar a cada dia está sendo mais discutida nas cidades devido ao crescimento considerável de elementos e de fontes poluidoras do ar atmosférico nos grandes centros urbanos (o aumento da frota de carros particulares, por exemplo) (BRASÍLIA, 2016).

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), foram estimados que em 2012 ocorressem 3,7 milhões de mortes de indivíduos em todo o mundo com menos de 60 anos de idade causadas pela degradação da qualidade atmosférica relacionada à poluição (WHO, 2014).

Brasília possui uma boa qualidade do ar externo devido, em grande parte, à falta de indústrias poluidoras, apesar de ainda sua população depender bastante de carros particulares para se locomover (ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT, 2010). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou em 28 de junho de 1990, uma legislação sobre os padrões da qualidade do ar, onde estabelece os parâmetros para o controle e monitoramento da poluição do ar nos centros urbanos: a Resolução n. 3.

De acordo com aquele órgão, quando os níveis de concentração de poluentes presentes na atmosfera estão acima dos níveis permitidos, tais poluentes podem causar ou tornar o ar:

- I. Nocivo e ofensivo à saúde;
- II. Inconveniente ao bem-estar público;
- III. Danoso aos materiais, à fauna e à flora; e
- IV. Prejudicial à segurança e o uso de atividades normais da comunidade (BRASIL, 1990).

O Distrito Federal possui um sistema de monitoramento da qualidade do ar realizado pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) (BRASÍLIA, 2016), com rede de monitoramento de fumaça e de particulados existentes no ar, onde os resultados são publicados mensalmente na *internet*.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Segundo a Resolução CONAMA n. 3/1990, são estabelecidos dois padrões para a verificação da qualidade do ar atmosférica, a saber: 1) primário; e, 2) secundário. Os valores primários são, por definição, aqueles que, se ultrapassados, podem afetar a saúde da população e entendidos como os níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes no ar atmosférico. Os valores secundários são os que abaixo deles se prevê o mínimo de danos adversos ao bem-estar da população, bem como na fauna, flora, aos materiais e ao meio ambiente como um todo; são os valores desejáveis de concentração de poluentes, constituindo uma meta de longo prazo (BRASÍLIA, 2016).

Os padrões nacionais para a qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 3/1990, podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3 – Padrões nacionais pela qualidade do ar.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	240	150
	MGA	80	60
Partículas inaláveis – (PM 10)	24 horas	150	150
	MAA	50	60
Fumaça	24 horas	150	100
	MAA	60	40
Dióxido de Enxofre (SO_2)	24 horas	365	100
	MAA	80	40
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	1 hora	320	190
	MAA	100	100
Monóxido de Carbono	1 hora	40.000	40.000
	8 horas	10.000	10.000
Ozônio (O_3)	1 hora	160	160

Onde: MGA – Média Geométrica Anual; MAA – Média Aritmética Anual.

Fonte: Brasil (1990), p. 4.

O Índice de Qualidade do ar (IQAR) é utilizado em nível local/regional para verificar a relação dos níveis de poluentes atmosféricos monitorados – o índice é um valor adimensional, publicado para fins de divulgação dos dados da qualidade do ar local (BRASÍLIA, 2016). A Tabela 4, a seguir, aponta a relação do IQAR e os níveis de cautela sobre a saúde humana.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Tabela 4 – Relação dos níveis do índice de qualidade do ar com a saúde humana.

Qualidade	Índice	Níveis de Cautela sobre a Saúde	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Boa	0-50		0-80	0-50	0-80	0-100	0-4,5	0-80	0-60
Regular	51-100		81-240	51-150	81-365	101-320	4,6-9,0	81-160	61-160
Inadequada	101-199	Insalubre para grupos sensíveis*	241-375	151-250	366-586 587-800	321-1130	9,1-12,4 12,5-15,0	161-322 323-400	151-250
Má	200-299	Muito insalubre	376-625	251-350 351-420	801-1600	1131-2260	15,1-30	401-800	251-420
Péssima	300-399	Perigoso	626-875	421-500	1601-2100	2261-3000	30,1-40	801-1000	421-500
Crítica	Acima de 400	Muito perigoso	> 876	> 500	> 2100	> 3000	> 40	> 1000	> 501

Onde: * Os índices até a classificação Regular atendem aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 3, de 28 de junho de 1990.

Fonte: Brasília (2016), p. 6.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

No Distrito Federal têm-se várias estações de medição da qualidade do ar, compostas de equipamentos específicos capazes de amostrar grandes volumes de ar e monitorar os parâmetros, como, por exemplo, os de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e fumaça. O IBRAM possui quatro estações de monitoramento em operação atualmente (Figura 16), quais sejam:

- 1) Plataforma da Rodoviária do Plano Piloto, na plataforma inferior, próximo aos pontos de desembarque e embarque de ônibus;
- 2) Setor Comercial Sul (SCS), próximo ao Hospital de Base do Distrito Federal (HBDF);
- 3) Núcleo Rural Engenho Velho – Região Administrativa da Fercal (RA XXXI); e
- 4) Unidade fabril da fábrica de cimentos Cimentos Planalto (CIPLAN), localizada RA XXXI.

Figura 16 – Espacialização das estações de medição de qualidade do ar no Distrito Federal.



Fonte: Adaptado de Google (2016).

Para uma devida análise da qualidade do ar em Brasília têm-se os resultados do monitoramento somente das estações localizadas nas unidades da Plataforma da Rodoviária do Plano Piloto e do SCS, localizadas próximo ao centro urbano da cidade.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Nas amostragens do ano de 2015 dos níveis de PTS no ar na Rodoviária do Plano Piloto foram colhidas 67 amostras de janeiro a dezembro, conforme evidenciadas na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Nível de Partículas Totais em Suspensão no ar na Rodoviária do Plano Piloto, Brasília, Distrito Federal.

Mês	Médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualidade	Número de Amostragens
Janeiro	109,13	Regular	10
Fevereiro	81,80	Regular	7
Março	103,75	Regular	4
Abril	89,46	Regular	7
Maiο	86,89	Regular	8
Junho	97,25	Regular	8
Julho	84,40	Regular	4
Agosto	115,28	Regular	4
Setembro	125,12	Regular	3
Outubro	190,62	Regular	4
Novembro	99,91	Regular	4
Dezembro	104,22	Regular	4
Anual	101,19	Regular	67

Fonte: Brasília (2016), p. 15.

O monitoramento dos níveis de fumaça no ar naquele local no ano de 2015 se deu com 67 amostras coletadas entre janeiro e dezembro. Os resultados podem ser verificados na Tabela 6, a seguir.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Tabela 6 – Nível de fumaça no ar na Rodoviária do Plano Piloto, Brasília, Distrito Federal.

Mês	Médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualidade	Número de Amostragens
Janeiro	36,43	Boa	10
Fevereiro	17,46	Boa	6
Março	23,82	Boa	7
Abril	25,44	Boa	7
Maiο	25,44	Boa	8
Junho	12,72	Boa	7
Julho	14,48	Boa	4
Agosto	34,38	Boa	5
Setembro	14,08	Boa	4
Outubro	15,68	Boa	4
Novembro	10,77	Boa	4
Dezembro	12,08	Boa	1
Anual	20,69	Boa	67

Fonte: Brasília (2016), p. 19.

As amostragens do ano de 2015 dos níveis de PTS no ar do SCS, onde foram colhidas 68 amostras de janeiro a dezembro, podem ser verificadas na Tabela 7, a seguir.

Tabela 7 – Nível de Partículas Totais em Suspensão no ar no Setor Comercial Sul, Asa Sul, Brasília, Distrito Federal.

Mês	Médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualidade	Número de Amostragens
Janeiro	50,23	Boa	10
Fevereiro	43,40	Boa	4
Março	55,02	Boa	7
Abril	43,04	Boa	7
Maiο	57,05	Boa	9
Junho	61,97	Boa	8
Julho	71,98	Boa	3
Agosto	77,55	Boa	4
Setembro	82,55	Regular	4
Outubro	115,81	Regular	4
Novembro	61,71	Boa	3
Dezembro	44,74	Boa	5
Anual	58,17	Boa	68

Fonte: Brasília (2016), p. 24.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

O monitoramento dos níveis de fumaça no SCS no ano de 2015 se deu com 65 amostras coletadas entre janeiro e dezembro, conforme os resultados evidenciados na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8 – Nível de fumaça no ar no Setor Comercial Sul, Asa Sul, Brasília, Distrito Federal.

Mês	Médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qualidade	Número de Amostras
Janeiro	18,86	Boa	10
Fevereiro	6,26	Boa	6
Março	12,43	Boa	7
Abril	7,61	Boa	7
Maio	12,31	Boa	7
Junho	6,64	Boa	8
Julho	6,81	Boa	3
Agosto	9,85	Boa	2
Setembro	11,80	Boa	4
Outubro	7,80	Boa	4
Novembro	5,94	Boa	3
Dezembro	3,35	Boa	4
Anual	10,08	Boa	65

Fonte: Brasília (2016), p. 28.

As séries históricas de médias anuais de concentração de PTS e de níveis de fumaça na Rodoviária do Plano Piloto e no SCS podem ser verificadas nas Tabelas 9 e 10, a seguir.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Tabela 9 – Série histórica de médias anuais de Partículas Totais em Suspensão por local, Brasília, Distrito Federal.

Local	Ano										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rodoviária do Plano Piloto	168,2	139,76	147,85	143,19	103,76	171,59	162,81	165,23	147,27	148,17	101,19
Setor Comercial Sul	77,61	-	-	-	-	-	68,67	67,03	78,12	77,81	58,17

Fonte: Brasília (2016), p. 15 e p. 24.

Tabela 10 – Série histórica de médias anuais de fumaça por local, Brasília, Distrito Federal.

Local	Ano										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rodoviária do Plano Piloto	174,06	157,78	135,76	159,36	-	-	-	84,03	67,14	30,67	20,69
Setor Comercial Sul	15,27	-	-	-	-	-	-	16,96	20,55	12,13	10,08

Fonte: Brasília (2016), p. 19 e p.28

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Uma das premissas para a utilização da ventilação natural como estratégia de climatização natural em ambientes hospitalares é que a qualidade do ar externo da cidade em que se localiza o hospital deve apresentar bons níveis de qualidade do ar, para que o ar que adentra os ambientes de saúde não seja prejudicial aos pacientes.

Para o uso da ventilação natural, além da relação com a boa qualidade do ar externo, o sistema deverá ser bem projetado, sendo demonstrada sua eficácia, pois, a criação de um projeto adequado que ofereça uma ventilação contínua e desejada no ambiente é difícil de ser criado. Porém, atualmente têm-se algumas ferramentas que ajudam nos estudos para a construção de espaços que fazem uso da ventilação natural, como é o caso das simulações computacionais CFD, que analisam o fluxo, a velocidade, a vazão do ar, entre outros parâmetros necessários para a realização de um bom projeto de ventilação.

2.4 Dinâmica Computacional de Fluídos

Aqui se tem a apresentação do *software* para a realização das simulações de ventilação, onde são visualizados os efeitos do vento diretamente em cima de objetos modelados tridimensionalmente. Tais simulações se assemelham ao que ocorrem no espaço real, uma vez que o fluído apresentará os mesmos fluxos do objeto em tamanho real.

Perén (2006) explica que o método de simulação CFD tem por base códigos computacionais que possibilitam a simulação de fluídos por meio de cálculos com elementos finitos e volumes finitos.

Lukiantchuki (2015) observa que apesar de o estudo da simulação de túneis de vento ser uma atividade realizada há muito tempo, os estudos realizados com a Arquitetura e o Urbanismo é uma prática recente, pois, antes, as licenças dos *softwares* eram caras, necessitavam do uso de supercomputadores para as simulações, havia dificuldade de manipulação e de entendimento dos programas CFD e a não prática do arquiteto para utilizar a simulação computacional para a elaboração de projetos.

Atualmente, algumas condições contribuem para a inserção do CFD na Arquitetura, tais como: a disponibilidade de *softwares* gratuitos e versões educacionais para estudo; a melhoria dos computadores pessoais; os tutoriais via *internet* para ensinar a utilização dos *softwares*; e, a inserção dos programas computacionais – mais presentes na vida acadêmica de arquitetos e urbanistas.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Segundo Lukiantchuki (2015), os *softwares* CFD disponíveis comercialmente são: Fluent, Flowvent, Vortex, Phoenix, CFX (Ansys) e Autodesk CFD. O programa mais difundido para simulação de ventos é o CFX Ansys, porém, fez-se uma comparação (Quadro 5) entre os *softwares* Autodesk CFD e o CFX (Ansys), sendo escolhido o Autodesk CFD para a utilização no presente estudo, para a verificação da taxa de renovação de ar em prol da avaliação da qualidade do ar interno em ambientes hospitalares, a fim de obter uma melhor operabilidade, visualização dos resultados, compatibilidade com *softwares* CAD e licença estudantil permanente.

Quadro 5 – Comparativo entre os *softwares* Autodesk CFD 2015 e o CFX (Ansys).

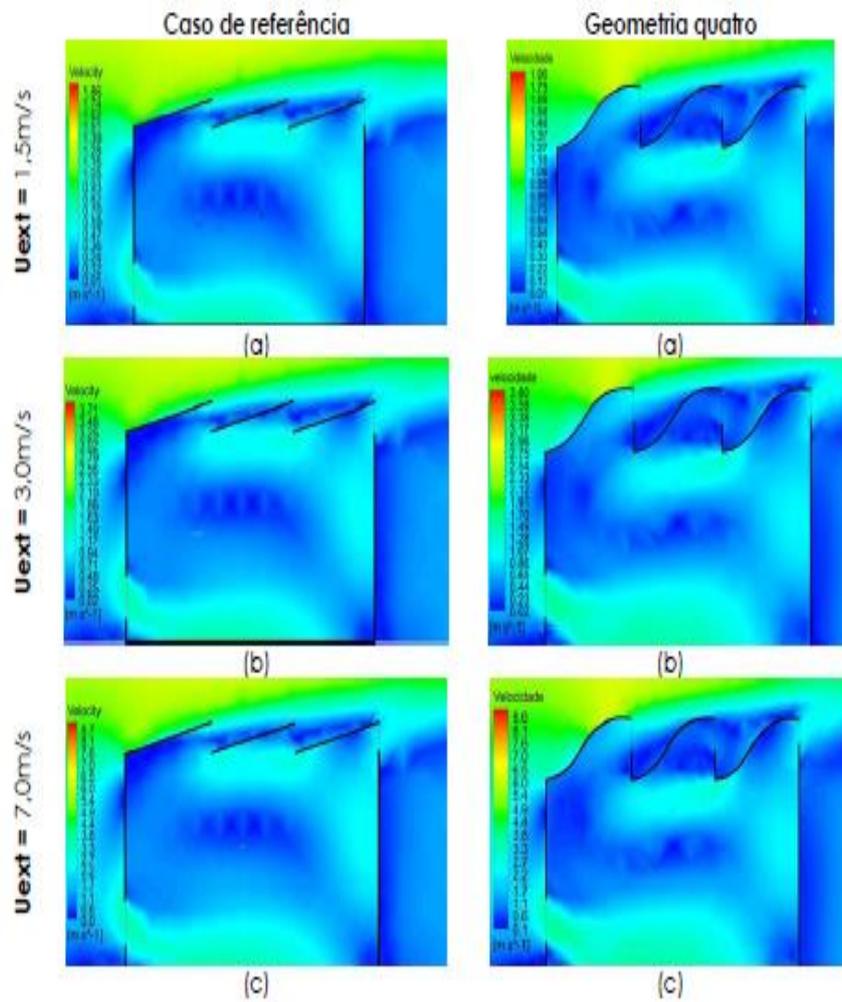
Softwares	CFX (Ansys) Student	Autodesk CFD 2015
Compatibilidade com <i>softwares</i> CAD e de modelagem.	Compatibilidade com os <i>softwares</i> CAD, porém, nem sempre é eficaz.	Maior compatibilidade com os <i>softwares</i> Autodesk (AutoCAD e 3Ds Max).
Licença estudantil.	Seis meses.	Permanente.
Operabilidade do <i>software</i> .	Difícil operabilidade.	<i>Software</i> com facilidade de operação; mais fácil e intuitivo para os arquitetos.
Visualização de resultados.	Visualização de fluxos de vento padrão.	Possibilidade de exportação de resultados para o 3Ds Max (programa de maquete eletrônica e modelagem).
Precisão de resultados.	>95%.	De 90 a 95%.

Pode haver algumas diferenças de valores entre as medições físicas e os resultados das simulações CFD, mas, atualmente, tais simulações computacionais são aceitas pela comunidade acadêmica pelo nível de precisão e visualização dos fluxos de ar, onde se tem uma pequena gama de trabalhos acadêmicos publicados que relacionam o uso das simulações CFD em ambientes hospitalares.

Lukiantchuki (2015) faz o uso do *software* de simulação CFD para a verificação do desempenho da ventilação natural em *sheds* captadores e extratores de ar, tendo como referência as obras do arquiteto hospitalar Lelé e a Rede SARAH (Figura 17), onde foram identificados quais as melhores diretrizes projetuais e condições climáticas que proporcionam o melhor desempenho da ventilação natural e, com base nos resultados, fez-se um fluxograma de possíveis recomendações para a utilização dos *sheds*.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Figura 17 – Simulação CFD em *sheds* inspirados em Lelé (2012).



Fonte: Lukiantchuki (2015), p. 171.

Ninomura e Bartley (2001) estabeleceram várias diretrizes de renovação de ar para diversos ambientes hospitalares, com destaque para os espaços de internação, onde se estabeleceu uma taxa mínima de RAH de 6 renovações, para se criar uma boa qualidade do ar interno, sem especificação sobre qual o tipo de ventilação utilizada. Atualmente, sabe-se da existência de diferenças entre as taxas de RAH advindas naturalmente e mecanicamente (Tabela 11).

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Tabela 11 – Taxas mínimas de Renovações de Ar por Hora de acordo com cada ambiente hospitalar.

Localização	Movimentação de ar relacionada com a área adjacente	Mínimo de Renovação de Ar por Hora advindas do ar externo	Mínimo total de Renovação de Ar por Hora
Sala de pacientes		2	6 (4)
Sala de recuperação		2	6 (4)
Sala de recuperação pós-parto		2	6 (4)
Infecção pelo ar/sala de isolamento	Entra	2	12
Emergência – triagem e espera	Entra	2	12
Radiologia – espera	Entra	2	12
Sala de procedimentos	Sai	3	15

Fonte: Ninomura e Bartley (2001), p. 30.

Memarzadeh e Xu (2012) concluíram via simulações CFD em ambientes com ventilação mecânica (insufladores, ar condicionado e exaustores) que os níveis de infecção não estão somente ligados aos índices de RAH no ambiente, mas também na relação entre o caminho das fontes de contaminantes e a saída de ar. Ali se tem um modelo enclausurado sem aberturas, sem fazer referência à ventilação natural.

Yau e Badarudin (2011) têm como foco a ventilação de enfermarias com múltiplos leitos localizados nos trópicos, com uma série de revisões bibliográficas (ASHRAE e WHO, por exemplo), onde se concluiu que as simulações CFD são uma potente ferramenta para uma análise dos fluxos de ar, sendo cada vez mais presentes na área da saúde (clínicas, Centro Cirúrgicos – CCs e salas de isolamento, por exemplo); porém, tem-se a falta estudos específicos para o preenchimento da lacuna sobre o conforto, a remoção de poluentes do ar e os riscos de transmissão de doenças infecciosas.

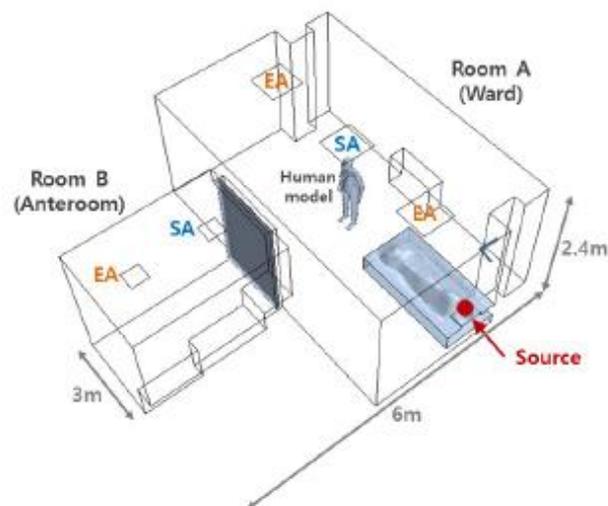
Mohammed, Dudek e Hamza (2013) realizaram estudos de RAH em climas semiáridos, focando a utilização da simulação CFD pelo *software* Fluent em diversos cenários, inclusive, com telas de proteção contra insetos, concluindo que houve uma redução de 67% do total da RAH na internação simulada em comparação com o cenário sem as telas de proteção. Os dados de referência utilizados para a boa QAI foram de 6 RAHs (NINOMURA; BARTLEY, 2001) – renovação mínima para internações; porém, na bibliografia ali utilizada como referência para a base de dados, não foi especificado o tipo de ventilação para a RAH.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Adamu e Price (2015) fizeram uso dos estudos de Dinâmica de Fluídos somados aos conceitos de Ventilação Natural Personalizada (VNP) em dois tipos de Enfermarias de quatro leitos para concluir que o sistema em questão é capaz de fornecer ar fresco até 10 metros de distância entre o paciente e as paredes externas, sendo que os resultados apoiam a proteção contra as infecções cruzadas. Aqui, o sistema VNP é mistura de ventilação natural com a ventilação mecânica, onde o ar é captado externamente à edificação, sendo introduzido no ambiente através de ductos, onde os pacientes podem ter o controle da velocidade do ar que adentra o espaço. O trabalho daqueles autores trata de simulações do sistema VNP onde não se tem janelas nos ambientes para a ventilação natural, onde o foco é análise da infecção cruzada em Enfermarias.

Jo et al. (2016) trabalharam com a migração do ar advindas das salas isolamento com pressões negativas com os cenários de velocidade de abertura da porta e do movimento humano por meio do *software* CFD. Estudos científicos em salas de isolamento (Figura 18) tornaram-se mais frequentes após os surtos de Síndromes Respiratórias Agudas Graves. Aqueles autores concluíram que a abertura mais rápida da porta (0,6 m/s) ajuda a reduzir a migração de ar da antecâmara para as salas de isolamento com pressões negativas, e que o movimento humano ajuda na mistura de ar entre as duas salas.

Figura 18 – Modelo de um quarto de isolamento com antecâmara que foi utilizado para as simulações CFD.



Fonte: Jo et al. (2016), p. 2.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Aguiar e Silva (2016) fizeram uso da simulação de ventos no *software* Autodesk CFD 2015 para analisar a RAH em um ambiente de terapia oncológica em Brasília, constatando que somente o uso da ventilação natural não foi capaz de gerar uma boa QAI, pela relação da abertura da janela estar direcionada para o lado que não favorece o uso da ventilação natural, sendo indicado o uso de um sistema complementar de climatização artificial.

É verificado por meio da bibliografia (AGUIAR; SILVA, 2016; JO et al., 2016; ADAMU; PRICE, 2015; LUKIANTCHUKI, 2015; MOHAMMED; DUDEK; HAMZA, 2013; MEMARZADEH; XU, 2011; YAU; BADARUDIN, 2011; PERÉN, 2006; NINOMURA; BARTLEY, 2001) que a utilização dos *softwares* CFD se dá cada vez mais em estudos dos ambientes hospitalares para a análise do fluxo de ar, do desempenho da ventilação e para a verificação da QAI, a fim de propor uma melhor humanização dos espaços internos e a proteção contra as transmissões de doenças hospitalares infecciosas.

A tabela 12 a seguir apresenta o resumo das pesquisas sobre ventilação natural, que foram discutidas nesta dissertação, incluindo os temas sobre conforto ambiental, qualidade do ar interna e arquitetura hospitalar.

Tabela 12 – Quadro de revisão bibliográfica pesquisada sobre ventilação natural (continua).

Autor/Data	Pesquisa		Tema		
	Nacional	Internacional	Conforto Ambiental	Qualidade do ar Interna (QAI)	Arquitetura Hospitalar
ADAMU, A. e PRICE, A. (2015)		X			
AGUIAR, J. R. C. e ARAUJO, E. P. (2013)	X			X	X
AGUIAR, J. R. C. e SILVA, C. F. (2016)	X			X	X
ATKINSON, J. et al. (2009)		X		X	X
BICALHO, F. C. (2010)	X			X	X
BITENCOURT, F; COSTEIRA, E. (2014)		X		X	X
BITTENCOURT, F; CÂNDIDO, C. (2015)	X		X		
BODE, K; GONÇALVES, J. C. S. (2015)	X		X		
CÓSTOLA, D; ALUCCI, M. P. (2016)	X		X	X	
FIorentini, D. M. F. (1995)	X		X	X	

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

Tabela 12 – Quadro de revisão bibliográfica pesquisada sobre ventilação natural (conclusão).

Autor/Data	Pesquisa		Tema		
	Nacional	Internacional	Conforto Ambiental	Qualidade do ar Interna (QAI)	Arquitetura Hospitalar
GIVONI, B. (1969)		X	X		
HEYWOOD, H. (2015)		X	X		
JO, S. et al. (2016)		X		X	X
LACERDA, R. A; EGRY, E. Y. (2016)	X			X	
LAMBERTS, R. et al. (2013)	X		X		
LELÉ, J. F. L. (2012)	X		X	X	X
LUKIANCHUKI, M. A. (2015)	X		X	X	X
MEMARZADEH, F.; XU, W. (2016)		X		X	X
MIQUELIN, L. C. (1992)	X				X
MOHAMMED, M. A. et al. (2016)		X		X	X
MYRUP, M. L.; OLESEN, J. L. (2008)		X	X	X	X
NINOMURA, P. BARTLEY, J. (2001)		X		X	X
OLGYAY, V. (1963)		X	X		
PERÉN, J. I. M. (2006)	X		X	X	X
ROMERO, M. A. B. (2016)	X		X	X	
SALES, G. L. (2016)	X		X	X	
SHORT, C. A.; AL-MAIYAH, S. (2009)		X	X	X	X
YAU, Y. H. at al. (2011)		X	X	X	X

2.5 Conclusões do capítulo

- A ventilação natural tem um papel importante para a promoção de uma boa QAI e conforto ambiental;

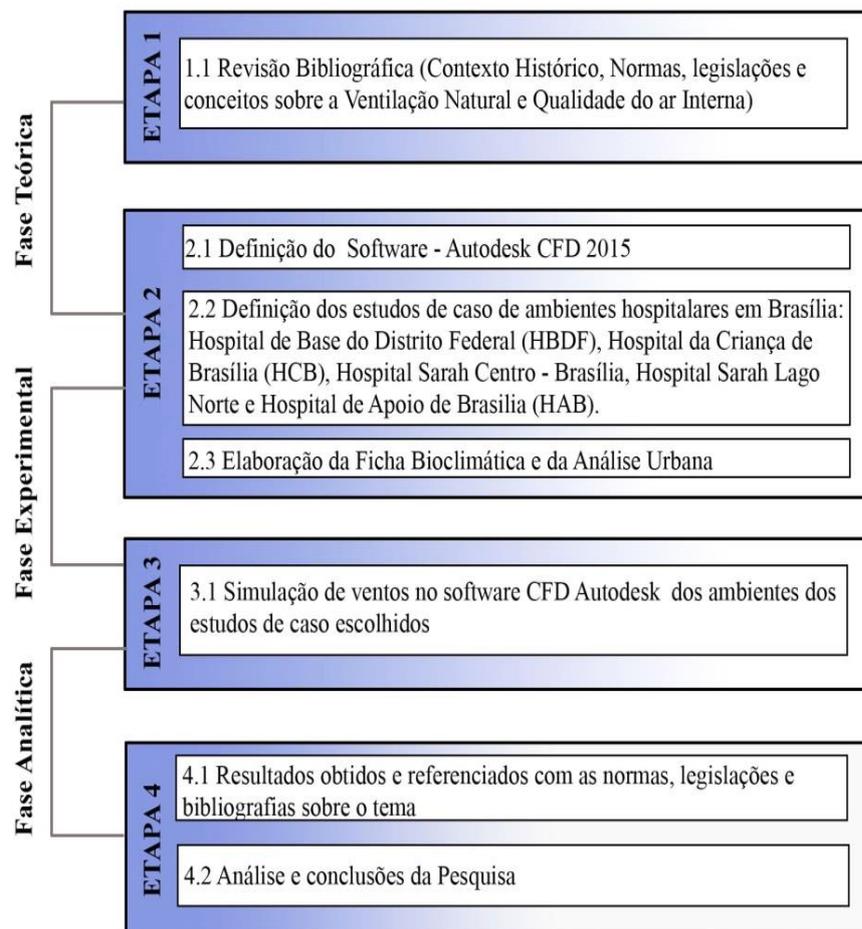
CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO AR E DINÂMICA
COMPUTACIONAL DE FLUÍDOS EM AMBIENTES HOSPITALARES

- A RAH logra diminuir a concentração de agentes transmissores de patologias dispersas no ar, sendo uma das principais diretrizes para o combate à infecção e à propagação de doenças nos hospitais;
- Uma alta taxa de renovação pode ser utilizada em salas de isolamento, para promover a assepsia do ambiente;
- Os filtros HEPA (*High Efficiency Particulate Air Filters*) são utilizados nas saídas de ar em ambientes críticos (Unidades de Terapia Intensiva – UTIs e salas cirúrgicas) porque o ar ali é recirculado, a fim de promover maior eficiência energética;
- Brasília possui um bom índice de qualidade do ar externa, sendo uma boa cidade para aplicação de projetos que fazem uso de ventilação natural com métodos passivos (IBRAM, 2016);
- O *software* Autodesk CFD 2015 tem boa operabilidade, pois, o programa é intuitivo e os resultados das simulações (vazão de ar, fluxo de fluídos e velocidade do ar, entre outros) por meio dos gradientes de cores são de fácil compreensão; e ainda, apresenta maior compatibilidade com outros *softwares* da Autodesk necessários para a realização da modelagem tridimensional.

CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo tem-se o método geral da pesquisa (Figura 19) e o método computacional (para a realização das simulações). O *software* utilizado é o Autodesk CFD 2015 para a análise da vazão de ar interna por meio da ventilação natural para definição da Qualidade do Ar Interna (QAI) dos ambientes do estudo de caso. Posteriormente têm-se a apresentação dos estudos de caso e as justificativas das escolhas, bem como os métodos para a definição da velocidade dos ventos predominantes – que influenciam diretamente na QAI.

Figura 19 – Método detalhado da pesquisa.



A Etapa 1 evidenciada na Figura 19 se refere ao contexto histórico, às normas e legislações nacionais e internacionais vigentes que abordam a QAI e à ventilação natural e qualidade do ar no contexto dos ambientes hospitalares. Neste sentido foi possível constatar a

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

inexistência de legislações brasileiras que estabelecem os parâmetros para o uso da ventilação natural em ambientes hospitalares para promover uma boa qualidade do ar. Portanto, adotaram-se os parâmetros com base na publicação de Atkinson et al. (2009), que estabelece a taxa de ventilação natural mínima de 60 litros por segundo por pessoa em ambientes de Enfermaria naturalmente ventilados – valor aqui determinante para a análise da QAI em ambientes hospitalares naturalmente ventilados.

A Etapa 2 evidenciada na Figura 19 é a definição dos estudos de caso, onde foram escolhidos o Hospital de Base do Distrito Federal (HBDF), Hospital da Criança de Brasília José Alencar (HCB), Hospital SARAH Brasília, o Hospital SARAH Lago Norte e o Hospital de Apoio de Brasília (HAB). O primeiro modelo de estudo de caso é uma Enfermaria para quatro pacientes, localizada no 5º andar do HBDF, onde se dá o tratamento quimioterápico e se tem a presença de pacientes imunodepressivos. Aquela Enfermaria não possui sistema de climatização artificial, mas somente a ventilação natural para a renovação do ar interno.

O segundo estudo de caso escolhido foi à Unidade de Terapia Endovenosa (UTE) do HCB, onde os pacientes fazem o tratamento quimioterápico – estes, em sua maioria, detentores de imunidade baixa devido ao tratamento em questão.

O terceiro e o quarto estudos de caso escolhidos foram as duas internações existentes nos Hospitais SARAH localizado nas Regiões Administrativas (RAs) do Plano Piloto (bairro Asa Sul) e Lago Norte, Distrito Federal. Conforme Bitencourt (2014) e Lelé (2012), os hospitais da Rede SARAH oferecem vários sistemas de passivos de ventilação, apresentando alta taxa de ventilação natural em seus espaços, criando, assim, lugares mais humanizados.

O quinto e último estudo de caso é o HAB, responsável pelo tratamento de pacientes de oncologia e/ou em fase terminal, onde as Enfermarias possuem como estratégia de climatização somente o uso de ventilação natural.

Tais estudos de caso foram escolhidos, uma vez que, conforme Góes (2011), os blocos de internação – onde o paciente necessita de permanência no hospital superior a 24 horas – são responsáveis por 40% de toda a área do edifício hospitalar. Se a ventilação natural fosse prioritária em relação à climatização artificial em hospitais, principalmente nos blocos de internação, haveria uma eficiência energética considerável, pois, segundo Szklo et al. (2004 apud AZEVEDO, 2011), grande parte dos hospitais brasileiros tem como o condicionamento de ar o maior gasto energético, sendo que, em alguns casos, passam de 40% do total consumido pelo hospital.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Ainda na Etapa 2 fez-se uma análise urbana em cada estudo de caso com base em um modelo adaptado da ficha bioclimática do espaço (ROMERO, 2016a; 2016b), a fim de estabelecer a velocidade dos ventos incidentes em cada estudo de caso, sendo posteriormente extraídos os mesmos dados por meio método matemático proposto pela ASHRAE (SWAMI; CHANDRA, 1987), que leva em conta a velocidade dos ventos médios da cidade, a altura da abertura da janela em relação ao solo, entre outras constantes, para a inserção de dados nas simulações computacionais.

A Etapa 3 evidenciada na Figura 19 é onde as simulações foram realizadas, para a verificação da QAI em ambientes hospitalares. Adotou-se o modelo de simulação computacional, que foi realizada por meio dos seguintes *softwares*:

- Autodesk Autocad 2014: para a visualização das plantas arquitetônicas dos ambientes escolhidos para os estudos de caso;
- Autodesk 3DS Max 2016: para a modelagem tridimensional dos ambientes de Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS) escolhidos para a análise; e
- Autodesk CFD 2015: para a simulação de fluídos para a verificação das taxas de renovação de ar em cada espaço.

Por fim, a Etapa 4 evidenciada na Figura 19 é composta das análises de ventos nos estudos de caso para a verificação da QAI, as observações dos resultados e a relação com as normas e legislações vigentes sobre QAI e as conclusões da pesquisa, juntamente com as propostas para trabalhos futuros que envolvam assuntos sobre a temática em questão.

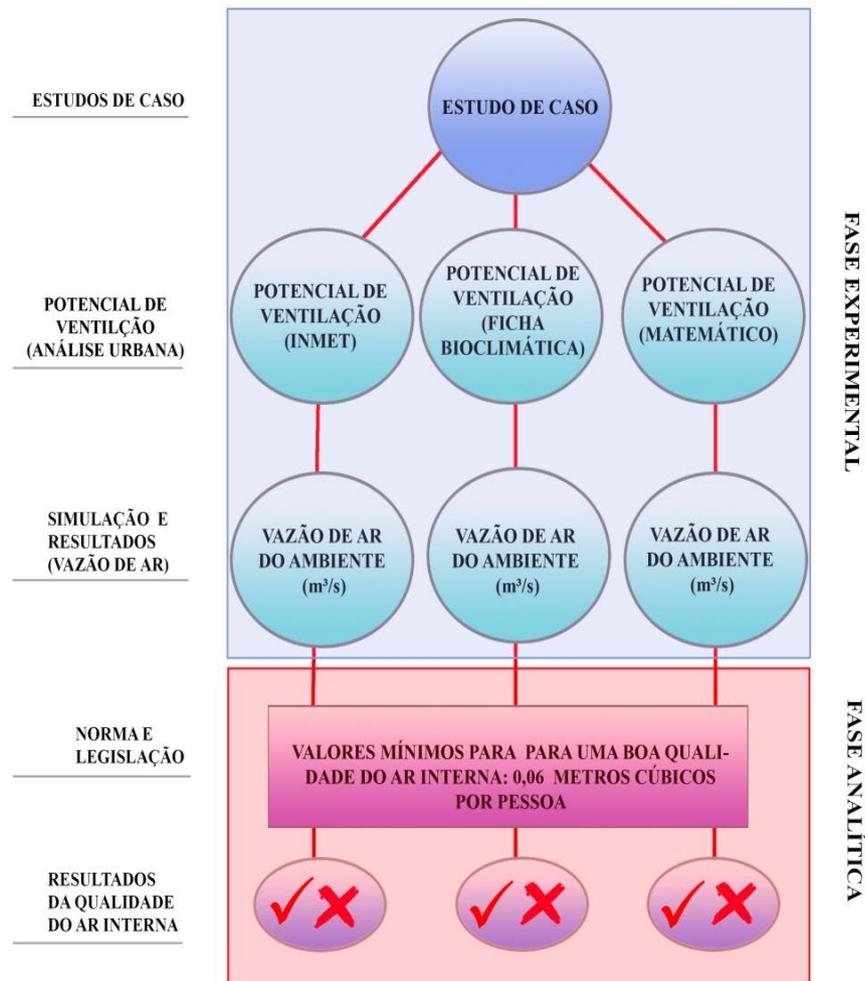
A pesquisa foi dividida em três fases, a saber:

- 1) Fase teórica: revisão bibliográfica (SALES, 2016; HEYWOOD, 2015; PROCEL, 2010; ATKINSON et al., 2009; QUADROS et al., 2009) e normas nacionais e estrangeiras (ASHRAE, 2013; 2009; 1999; ABNT NBR 15.220-3/2005; ABNT NBR 7256/2005; BRASIL, 2003; 2002), legislações vigentes (BRASIL, 2003; 2002), conceitos da ventilação natural e qualidade do ar no contexto dos ambientes hospitalares e a utilização das ferramentas de simulação computacional CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para análise da ventilação (JO et al., 2016; LUKIANTCHUKI, 2015; ADAMU; PRICE, 2015; MOHAMMED; DUDEK; HAMZA, 2013; MEMARZADEH; XU, 2011; YAU; BADARUDIN, 2011; PERÉN, 2006; NINOMURA; BARTLEY, 2001).

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

- 2) Fase experimental: os estudos de caso – um quarto de Enfermaria da internação do 5º pavimento do HBDF, a UTE do HCB, a internação dos Hospitais SARAH Brasília e SARAH Lago Norte e o HAB – todos localizados no Distrito Federal; definição dos potenciais de ventilação a serem utilizados para a simulação computacional, que é dada pela normal climatológica (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET), por meio da análise urbanística realizada pela ficha bioclimática espacial (ROMERO, 2016a; 2016b), onde são escolhidos os valores de 3,5 m/s (potencial de ventilação da cidade de Brasília dos ventos predominantes) (BRASIL, 2016) e 1,75 m/s (valor de velocidade dos ventos intermediária) e, por fim, o valor apresentado pelo método matemático (SWAMI; CHANDRA, 1987); realização de simulações computacionais com os valores definidos para a cidade de Brasília – ações necessárias para a verificação da vazão de ar que adentra o ambiente, para o cálculo da QAI; e
- 3) Fase analítica (Figura 20): comparação entre os resultados obtidos por meio da simulação e os valores mínimos preestabelecidos pela bibliografia – 0,06 metros cúbicos por pessoa ou 60 litros por pessoa por segundo (ATKINSON et al., 2009) para a manutenção da QAI, com o objetivo de verificar quais dos ambientes fornecerão uma boa QAI com os potenciais de ventilação determinados anteriormente, uma vez que os estudos de caso supramencionados são ambientes de longa permanência que necessitam cuidados específicos por serem localizados em ambiente hospitalar e possuírem ventilação natural.

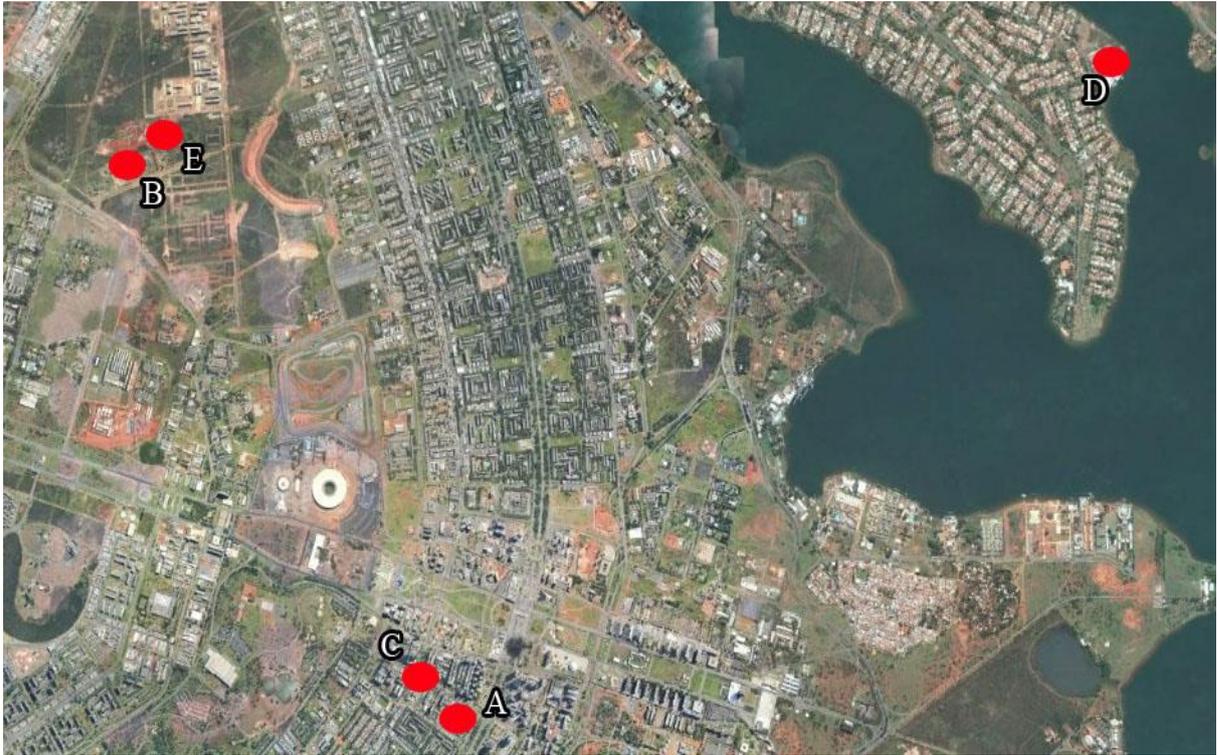
Figura 20 – Detalhes da fase experimental e analítica da pesquisa.



3.1 Estudos de caso

Para o estudo de caso são apresentados cinco modelos de ambientes localizados dentro dos ambientes hospitalares – todos de longa permanência e com uso exclusivamente da ventilação natural para a climatização do ambiente –, sendo quatro internações e uma UTE – todos localizados no Distrito Federal. A seguir tem-se um mapa (vide Figura 21) com todas as localizações dos estudos de caso.

Figura 21 – Mapa da cidade de Brasília, Brasil, com os estudos de caso analisados.



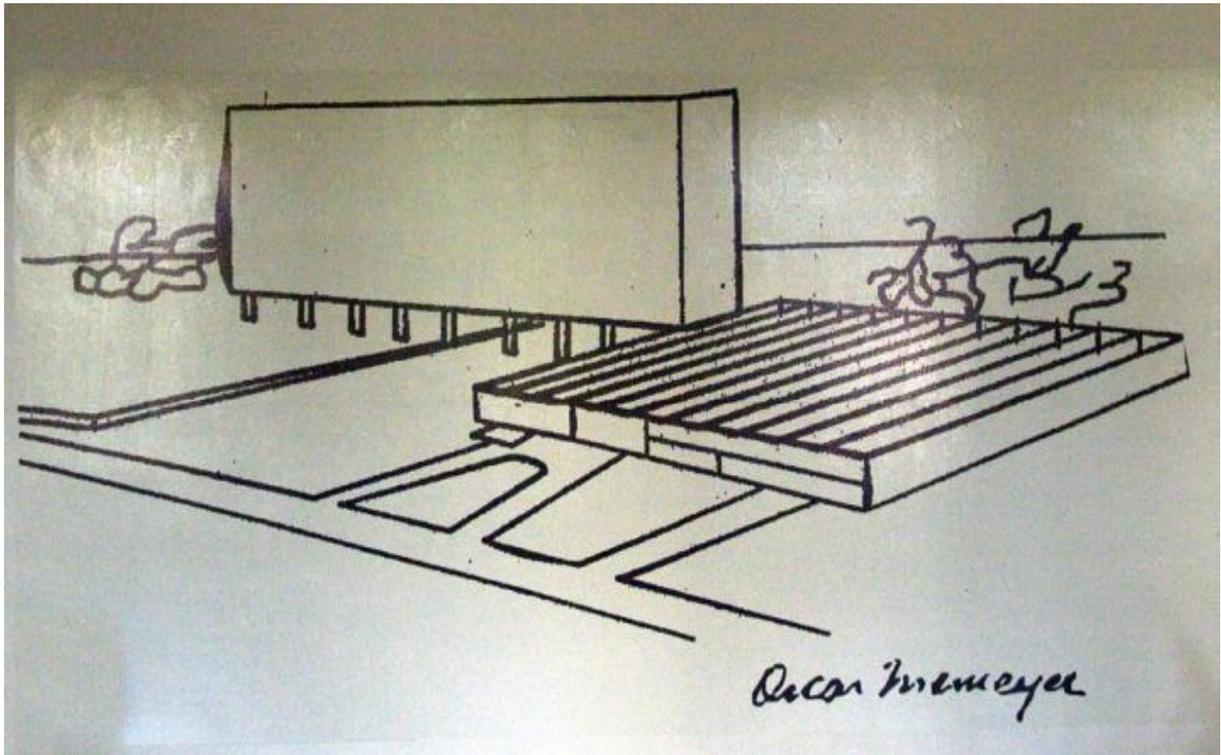
Onde: A – Hospital de Base do Distrito Federal; B – Hospital da Criança de Brasília José Alencar; C – Hospital SARAH Brasília; D – Hospital SARAH Lago Norte; e E – Hospital de Apoio de Brasília.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2017).

3.1.1 Hospital de Base do Distrito Federal

O HBDF, localizado no Setor Médico Hospitalar Sul (SMHS), foi fundado no dia 12 de setembro de 1960, projetado por Oscar Niemeyer para ser um Hospital Distrital; porém, atualmente, é um hospital de alta complexidade e de nível terciário, sendo um hospital de referência em Brasília (ARAÚJO, 2009).

Figura 22 – Croquis do Hospital de Base do Distrito Federal.



Fonte: Araujo (2010), p. 4.

O Hospital em questão foi criado para servir de base para outras unidades hospitalares instaladas no Distrito Federal. O plano de saúde de Brasília foi assim pensado: em todos os bairros, cidades-satélites e superquadras haveria postos de saúde ou unidades primárias e secundárias que dariam assistência, atendendo aos moradores daquelas localidades. Os hospitais regionais, de nível secundário, dariam suporte aos postos de saúde e aos casos mais complexos, detentores de uma equipe médica mais especializada. Consequentemente tem-se o HBDF (Figura 22), que serviria de base para todos os hospitais do Distrito Federal, dando apoio a todas as unidades de saúde. Tal plano foi criado por Ernesto Silva, médico pioneiro de Brasília e, com o passar do tempo, o hospital não serviu de referencial somente para aquela Unidade da Federação (UF), mas para todo o Brasil.

Figura 23 – Ficha técnica do Hospital de Base do Distrito Federal.

FICHA TÉCNICA - HOSPITAL DE BASE DO DISTRITO FEDERAL (HBDF)	
	<p>Arquiteto: Oscar Niemeyer Ano: 1960 Cidade: Brasília - DF Área construída: 52.000 m² Projeto de Reforma (Internação): Janete Freiburger e Eliete Araujo</p> <p>Ambiente analisado: Internação da oncologia (5º andar) - utilização de ventilação natural</p>

Fonte: Adaptado de Araujo (2009), p. 3.

No período 2007-2009, o bloco de internação do HBDF passou por reforma (Figuras 23,24 e 25), após 50 anos de intenso desgaste pelo uso e pelas instalações estarem ultrapassadas (ARAÚJO, 2010). Na reforma em questão buscou-se trabalhar a sustentabilidade no edifício, observando o conforto térmico, luminoso e a adequação ao clima, onde foram adotados os seguintes conceitos: economia de água, aspectos bioclimáticos, infraestrutura predial eficiente e automatizada, iluminação natural, manutenção dos brises externos, aproveitamento de energias alternativas e renováveis (aquecimento solar da água, climatização por sistema de ar condicionado – necessário somente em alguns ambientes), metais e peças econômicas, ventos predominantes, fazendo com que o *layout* desenvolvesse a integração entre a equipe médica e de Enfermagem e a proximidade com o paciente (ARAÚJO, 2010).

Figura 24 – Enfermaria dos pavimentos tipos do Hospital de Base do Distrito Federal.



Fonte: Araujo (2010), p. 8.

Figura 25 – Posto de Enfermagem dos pavimentos tipos do Hospital de Base do Distrito Federal.



Fonte: Araujo (2010), p. 11.

O bloco de internação do Hospital em questão conta somente com a utilização da ventilação natural para o controle da QAI, pois, não há sistemas de ar condicionado e tampouco ventilação mecânica por meio de insufladores e exaustores. Os ventos predominantes vindos do Leste apontam a incidência direta do vento a 30° da normal da fachada do bloco de internação HBDF, conforme evidenciado na Figura 26.

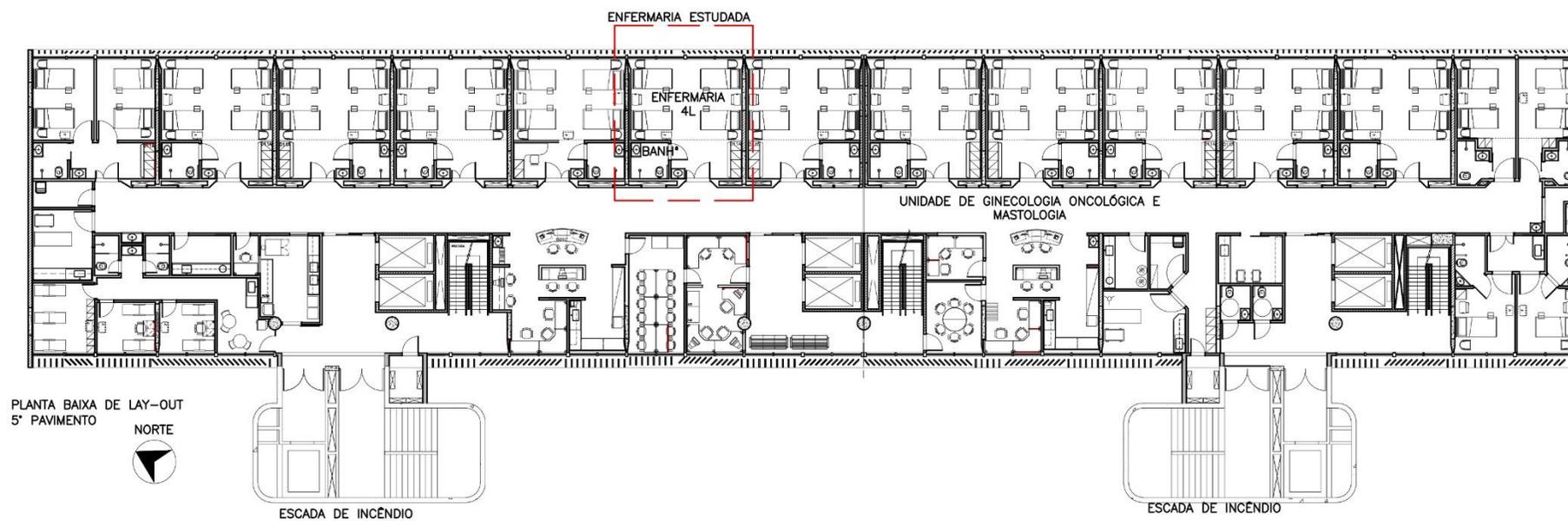
Figura 26 – Análise dos ventos predominantes no Hospital de Base do Distrito Federal.



Fonte: Adaptado de Google (2017).

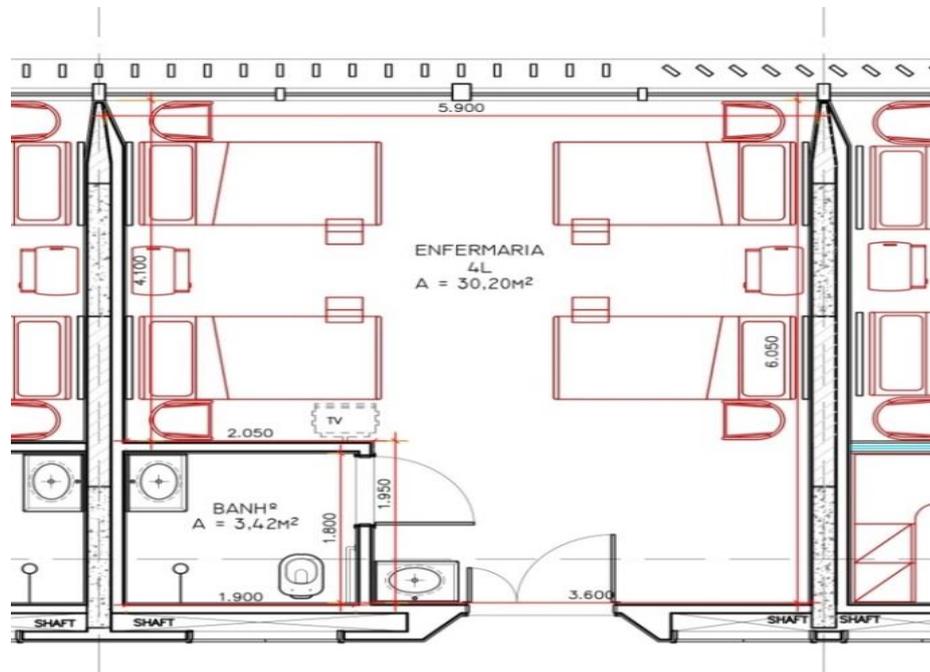
No presente estudo de caso foi escolhida uma Enfermaria de quatro leitos localizada no 5º pavimento (Figuras 27 e 28) – Setor de Unidade de Oncologia/Ginecologia Oncológica e Mastologia, pois, os pacientes em terapia oncológica se encontram, em geral, imunodepressivos (TABAK, 2010), necessitando de boas condições de QAI, a fim de evitar a transmissão de doenças hospitalares infecciosas.

Figura 27 – Planta Baixa do Hospital de Base do Distrito Federal – SES – DF com destaque da enfermaria estudada.



Fonte: Araujo (2016a).

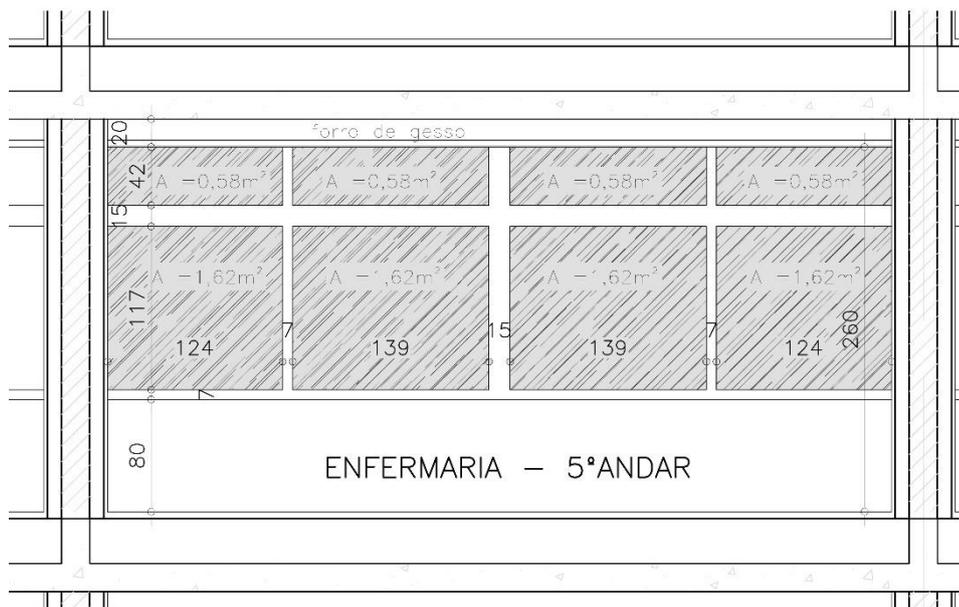
Figura 28 – Planta baixa da Enfermaria localizada no 5º andar do Hospital de Base do Distrito Federal – SES-DF.



Fonte: Araujo (2016a).

O HBDF possui *brises-soleil* instalados nas aberturas (Figura 29) dos ambientes do bloco de internação. O ambiente escolhido possui quatro aberturas médias (área de 1,62 m²) e quatro altas (área de 0,58 m²), totalizando oito aberturas (área total efetiva de 8,80 m²).

Figura 29 – Corte da enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal – SES – DF.

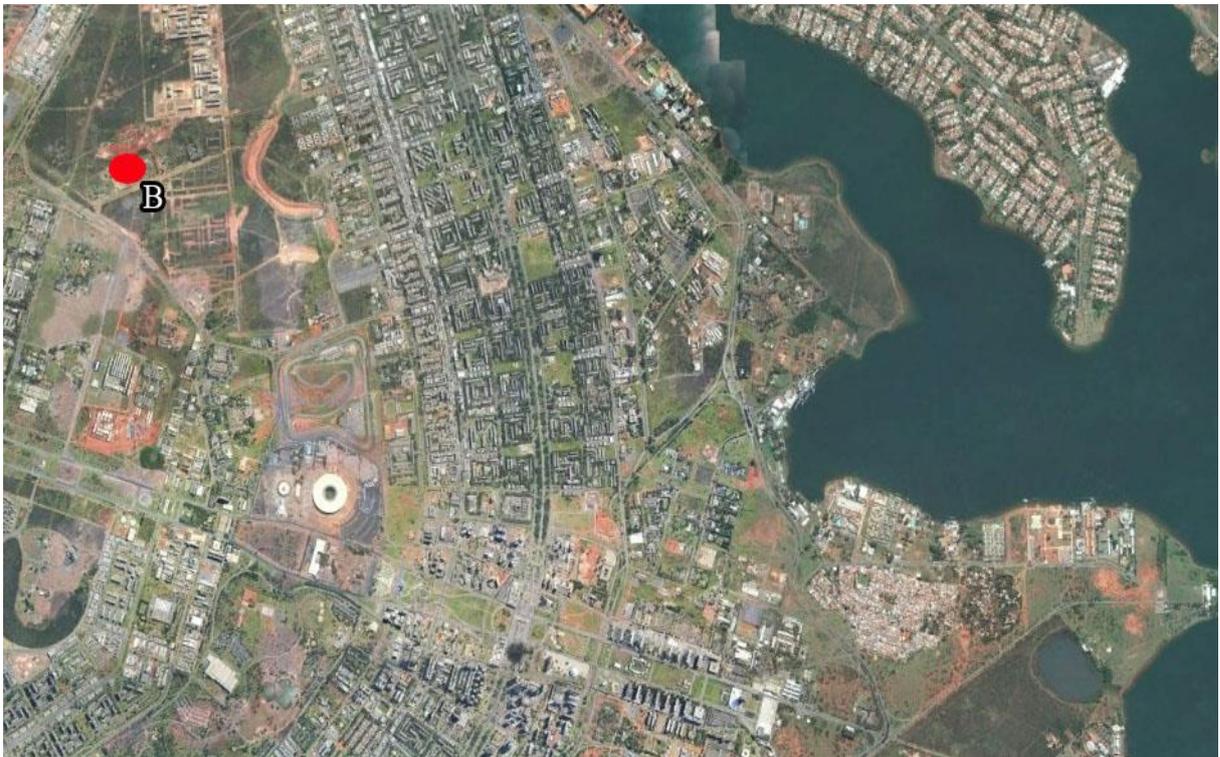


Fonte: Araujo (2016a).

3.1.2 Hospital da Criança de Brasília José Alencar

O HCB está localizado no Setor de Áreas Isoladas Norte (SAIN), lote 4-B, Brasília, Distrito Federal (Figura 30). Poucos dias após a sua inauguração, aquele Hospital já funcionava em perfeito estado, fazendo atendimentos não somente na área de Oncologia, mas em todas as áreas do ramo da Pediatria.

Figura 30 – Localização do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.



Fonte: Adaptado do Google (2017).

A construção do HCB foi prevista para ocorrer em duas fases. Neste sentido, o Bloco I foi construído pela Associação Brasileira de Assistência às Famílias de Crianças Portadoras de Câncer e Hemopatias (ABRACE) ao custo de R\$ 15.000.000,00 (quinze milhões de reais), concluído em dezembro de 2008 e inaugurado em 23 de novembro de 2011 (HCB, 2017). Neste tem-se às crianças e aos adolescentes: consultas, cirurgias ambulatoriais, diagnóstico básico e por imagem, quimioterapias, diálise peritoneal, hemodiálise e procedimentos ambulatoriais sob sedação (Figura 31) (HCB, 2017).

O Bloco II será construído pelo Governo de Brasília juntamente com a *World Family Organization* (WFO), culminando na parte de internação, cirurgias, Unidade de Terapia

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Intensiva (UTI), Centro de Ensino e Pesquisa e diagnóstico especializado. Quando totalmente concluído, o HCB terá capacidade para realizar mais de 300 mil atendimentos por ano.

Figura 31 – Ficha técnica do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.

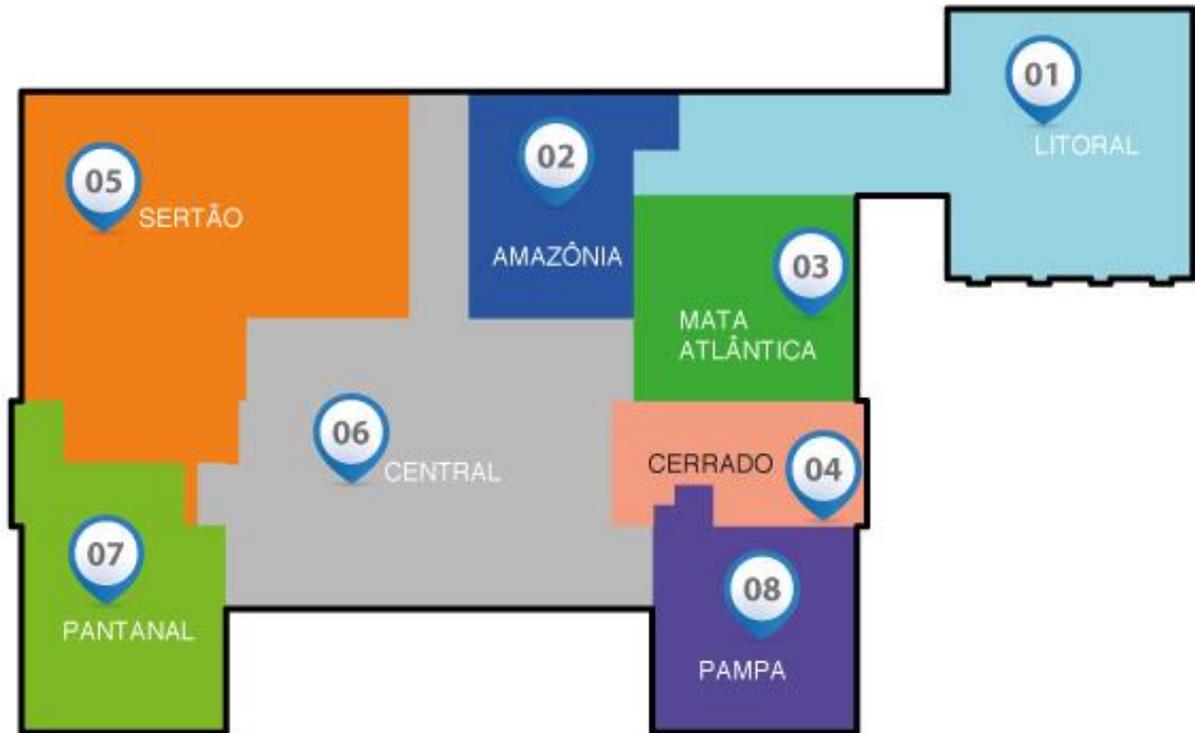


Fonte: Adaptado de HCB (2017).

O HCB está dividido em oito zonas (Figura 32), com referência aos biomas brasileiros, uma vez que tal ambiente é de cunho infantil, sendo uma de suas grandes características a humanização dos espaços internos para trazer uma maior sensação de bem-estar aos pacientes.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 32 – Zoneamento básico do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.



Onde: 01 – Centro Cirúrgico; Diálise Peritoneal; Farmácia ambulatorial; Farmácia de manipulação; Hemodiálise; Internação e Quimioterapia; 02 – Unidade de Terapia Endovenosa; 03 – Bioimagem e Reabilitação; 04 – Agência transfusional e Laboratório; 05 – Administrativo; Almoxarifado; Descanso enfermagem; Medicina do Trabalho; Refeitório; Serviço de Arquivo Médico e Estatística; Nutrição; 06 – Assistência Social; Psicologia; Ouvidoria; Recepção; Registro de pacientes; 07 – Consultórios (13 a 30): Alergia; Cardiologia; Cirurgia Pediátrica; Dermatologia; Endocrinologia; Genética; Ginecologia; Hepatologia; Homeopatia; Imunologia; Infectologia; Neurologia; Nutrologia; Ortopedia; Pneumologia; Psiquiatria; Urodinâmica; Nutrição e Brinquedoteca; 08 – Consultórios (1 a 12): Gastroenterologia, Nefrologia, Onco-Hematologia, Reumatologia; Assistência Social; Musicoterapia; Odontologia; Psicologia; Nutrição; Sala de terapia de grupo para pais e Brinquedoteca.

Fonte: HCB (2017).

No presente estudo de caso foi escolhida a sala de aplicação de medicamentos quimioterápicos localizada no setor da UTE, uma vez que o paciente em terapia quimioterápica necessita de uma boa qualidade do ar, pois, encontra-se imunodepressivo. A sala de aplicação de medicamentos (Figura 33) não possui sistema de filtragem de ar, mas somente ventilação natural.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 33 – Unidade de Terapia Endovenosa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.

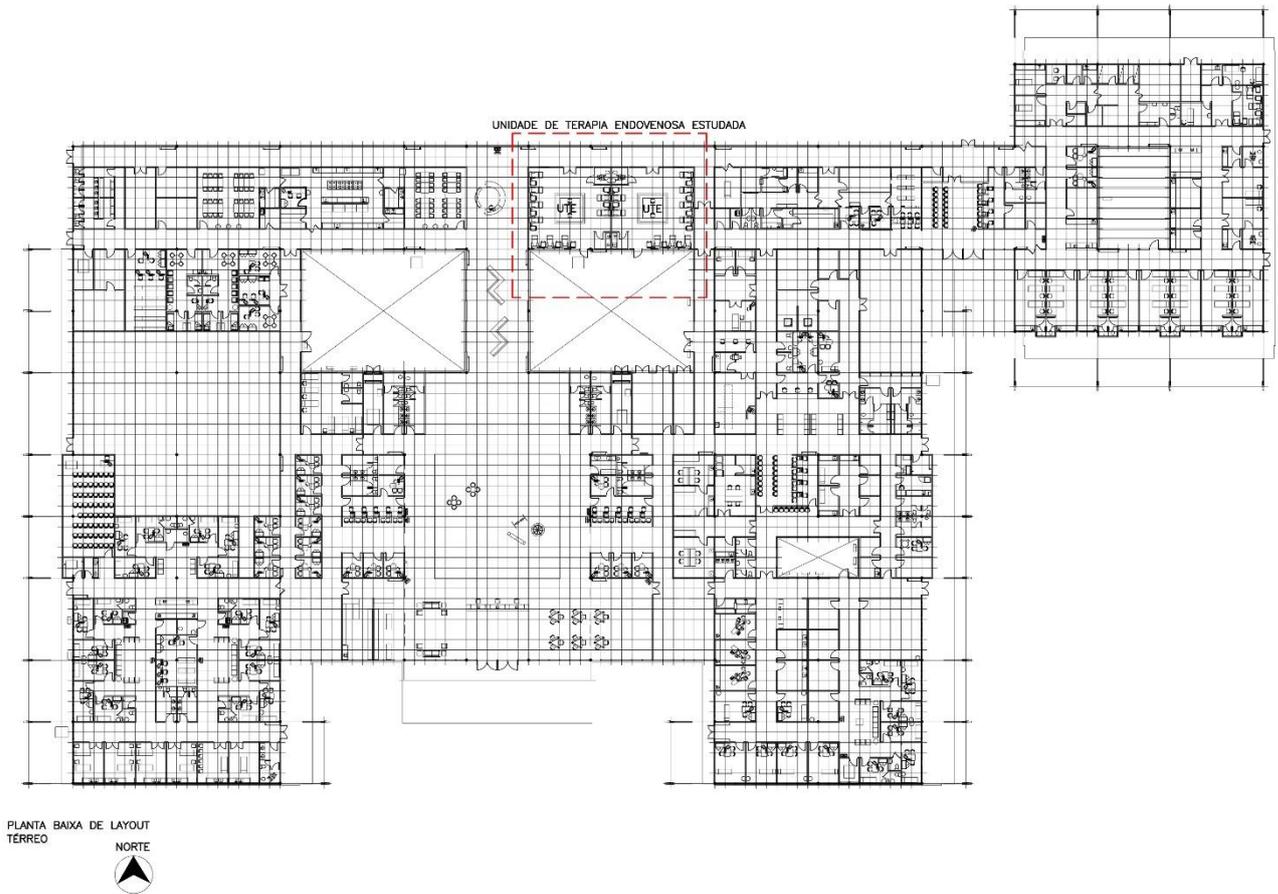


Fonte: HCB (2017).

Unidade de Terapia Endovenosa (UTE) do HCB (Figura 34) possui uma área de 81,10 metros quadrados e dispõe de nove poltronas para aplicação de quimioterapia com espaço para acompanhante, um sanitário para Portador de Necessidades Especiais (PNE), uma sala de expurgo e um posto de Enfermagem (Figura 36), o ambiente possui três aberturas médias (área de 1,26 m²), totalizando uma área de abertura efetiva de 3,78 m² (Figura 35).

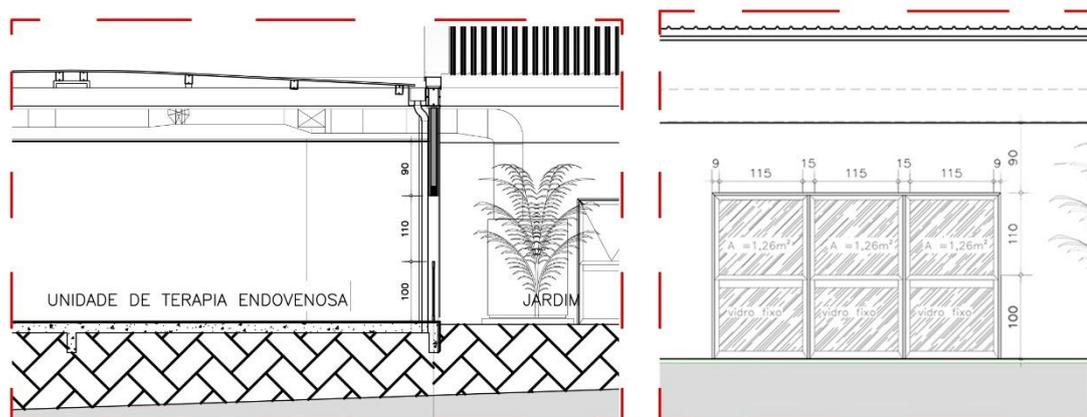
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 34 – Planta baixa da Unidade de Terapia Endovenosa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.



Fonte: HCB (2017).

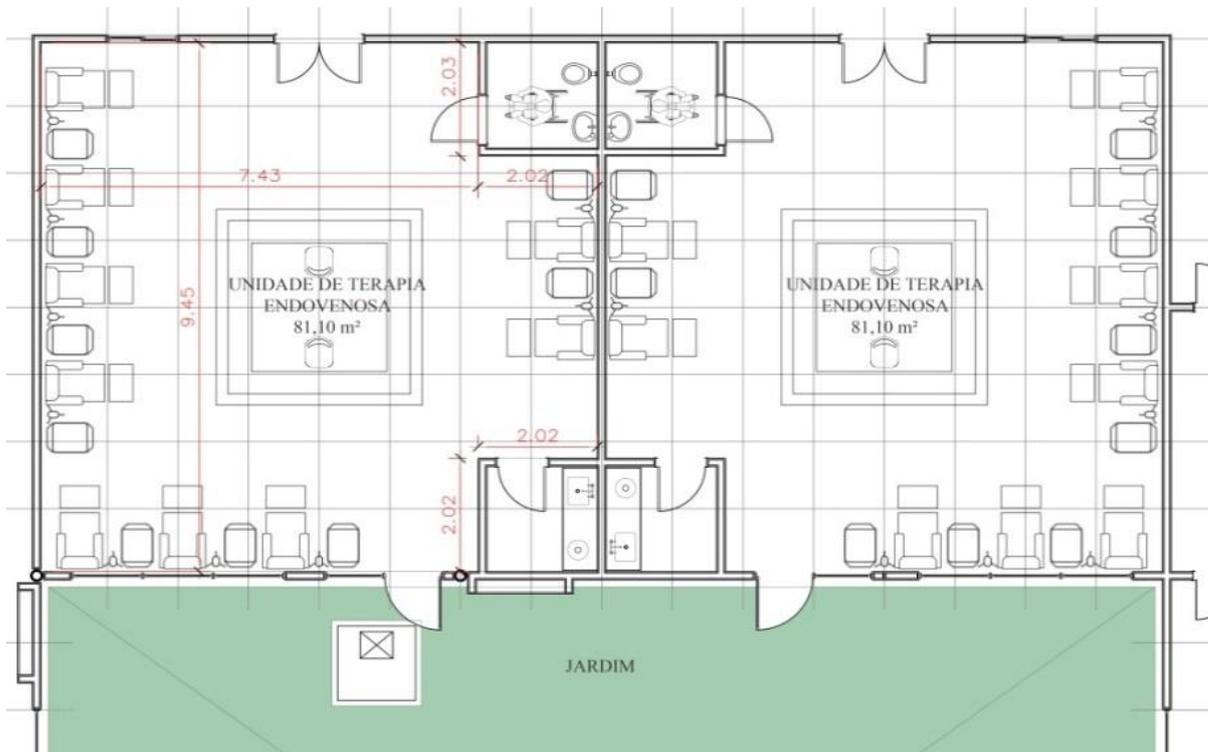
Figura 35 – Cortes da Unidade de Terapia Endovenosa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.



Fonte: HCB (2017).

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 36 – Planta baixa da Unidade de Terapia Endovenosa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.



Fonte: HCB (2017).

A análise dos ventos predominantes vindos do Leste aponta a incidência direta do vento a 0° da normal da fachada do HCB, onde se têm janelas para a ventilação natural da UTI, conforme evidenciado na Figura 37, a seguir.

Figura 37 – Incidência dos ventos predominantes no Hospital da Criança de Brasília José Alencar.

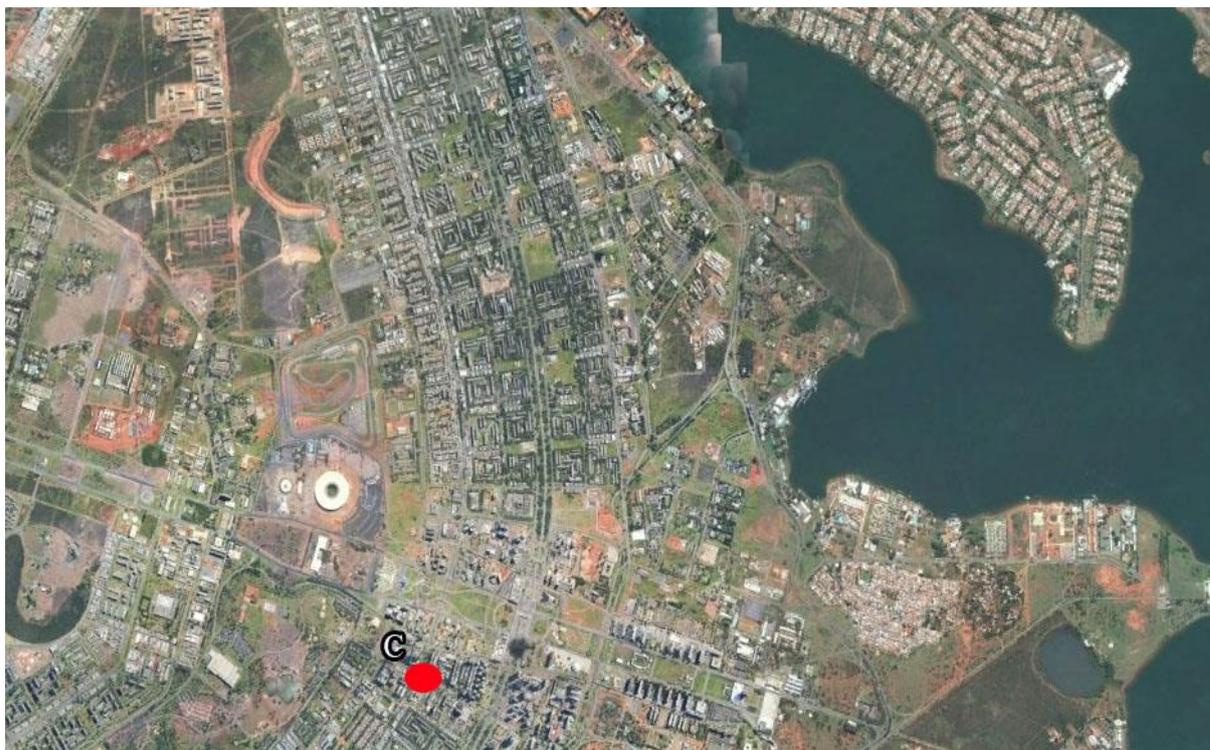


Fonte: Adaptado do Google (2017).

3.1.3 Hospital SARAHA Brasília

Lelé (2012) sempre teve muita preocupação com o bem-estar dos pacientes e o conforto ambiental em seus projetos, sendo referência de conforto ambiental e humanização em edifícios hospitalares na arquitetura brasileira. Segundo Mascarello (2005), os hospitais da Rede SARAHA logram índices de eficiência energética através de soluções de projeto propostas considerando o clima, promovendo ambientes confortáveis e de baixo consumo energético.

Figura 38 – Localização do Hospital SARAH Brasília.



Fonte: Adaptado de Google (2017).

O Hospital SARAH Brasília (Figuras 38 e 39) foi o primeiro hospital da Rede SARAH a ser construído no Brasil, sendo inaugurado em 1980, tornando-se referência nacional do tratamento de reabilitação de pacientes. Está localizado no Setor Hospitalar Sul (SHS), paralelamente a uma importante avenida que corta a cidade de Brasília de norte a sul: a avenida W3 (Figura 40).

Figura 39 – Internação do Hospital SARAH Brasília.



Fonte: Costa (2011).

Figura 40 – Hospital SARAH Brasília, localizado no Setor Hospitalar Sul, Asa Sul, Brasília, Distrito Federal.



Fonte: Adaptado de Google (2017).

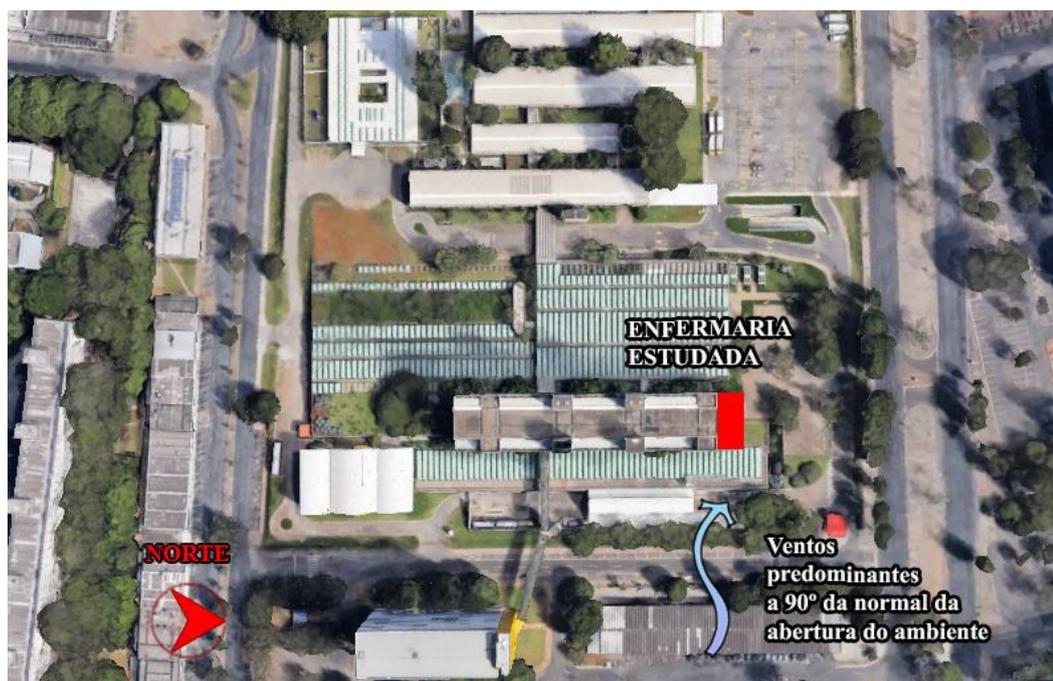
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O material da fachada do bloco de internação do Hospital SARAH Brasília é de concreto aparente, que ajuda na inércia térmica do ambiente. Durante o dia, aquele bloco recebe uma grande taxa de radiação solar direta, sendo acumulada durante o período diurno. No período noturno, quando da baixa da temperatura, o concreto fornece o calor acumulado durante o dia para o ambiente.

Um dos diferenciais da Rede SARAH e que a torna mais humanizada é a mobilidade dos pacientes em quase toda a edificação. Para tanto, o leito foi substituído por uma espécie de maca adaptada às necessidades dos pacientes, sendo conhecido como cama-maca, onde o mobiliário fixo foi substituído por um que permite grande mobilidade (LELÉ, 2012).

A análise dos ventos predominantes vindos do Leste mostra a incidência direta do vento a 90° da normal da fachada da internação do Hospital SARAH Brasília, conforme evidenciado na Figura 41.

Figura 41 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital SARAH Brasília.



O bloco de internação do Hospital SARAH Brasília é composto por seis andares, que são sobrepostos inversamente de um andar para o outro, fazendo com que surjam grandes varandões comunitários, que servem de ambiente de convivência dos pacientes, inclusive, aqueles acamados, pois, no hospital, a cama-maca permite que os pacientes tenham acesso a várias partes do hospital sem sair do seu leito. Em tais varandões tem-se uma oferta de

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

ventilação cruzada por causa de aberturas localizadas fachada Leste e na fachada Oeste, acarretando em um intenso fluxo de ar (Figura 42).

Figura 42 – Ficha técnica do Hospital SARAH Brasília.



Fonte: Adaptado de Lelé (2012), p. 91.

As varandas onde se encontram as aberturas oeste/leste servem como dispositivo para a proteção da radiação solar direta, bem como para a criação da ventilação natural. Como o ar quente é mais leve, o ar que cruza no nível do paciente é mais frio, pois, o pé direito duplo da internação auxilia na criação de um bolsão de ar quente próximo ao forro, fazendo com que o ar frio desça para o nível do paciente.

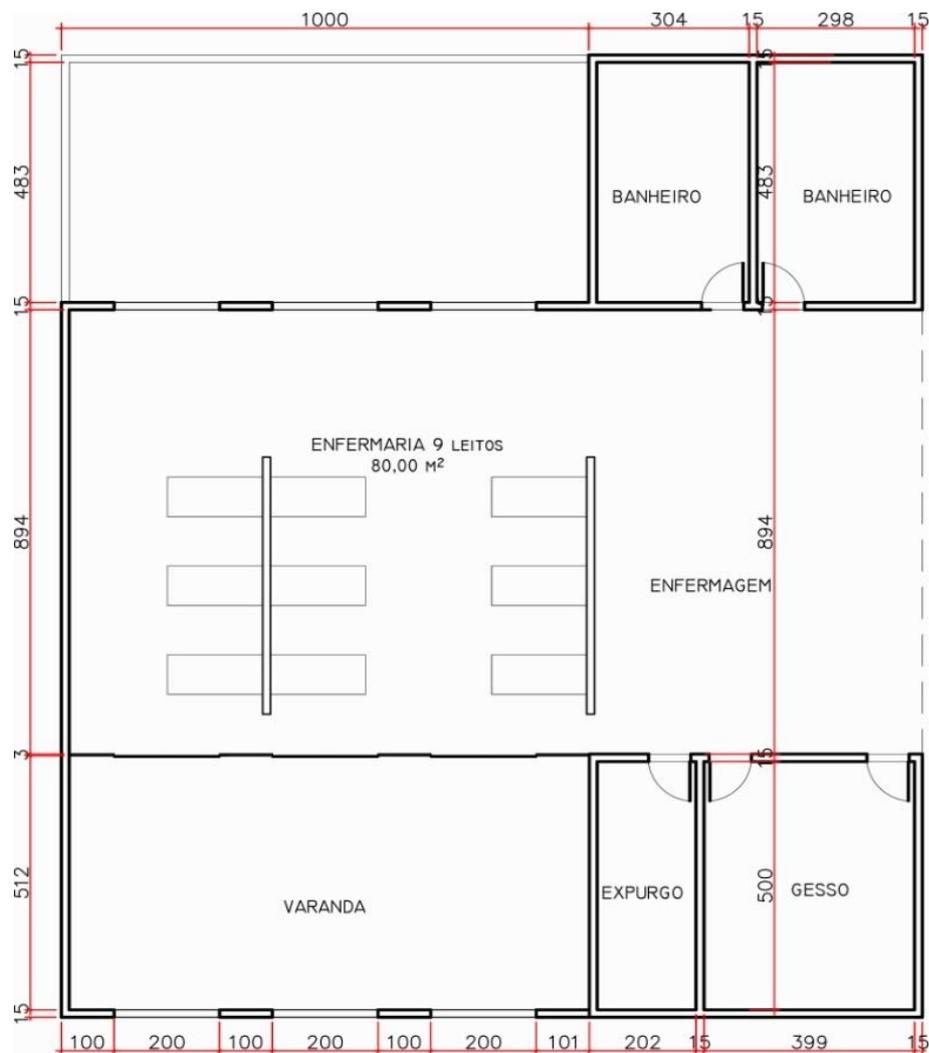
Nos hospitais da Rede SARAH é possível notar ótimos dispositivos para resolver o problema de desconforto em ambientes tão rigorosos e rígidos em relação às legislações e modificações de espaço. Lelé (2012) combina a iluminação e ventilação natural quase sempre feita pelos *sheds* junto com a presença forte de jardins internos e paisagem natural, levando em conta a relação da arquitetura e o clima, buscando novos conceitos de humanização e criando um novo modo de projeção dos edifícios de hospitalares (BITENCOURT; COSTEIRA, 2014).

No presente estudo de caso foi escolhida uma Enfermaria (Figuras 41 e 42) do bloco de internação pelo fato da bibliografia estudada (BITENCOURT; COSTEIRA, 2014;

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

CARVALHO, 2014; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013; LELÉ, 2012; MASCARELLO, 2005) abordar que os ambientes dos hospitais da Rede SARAH possuem uma boa ventilação natural, criando espaços com uma ótima QAI.

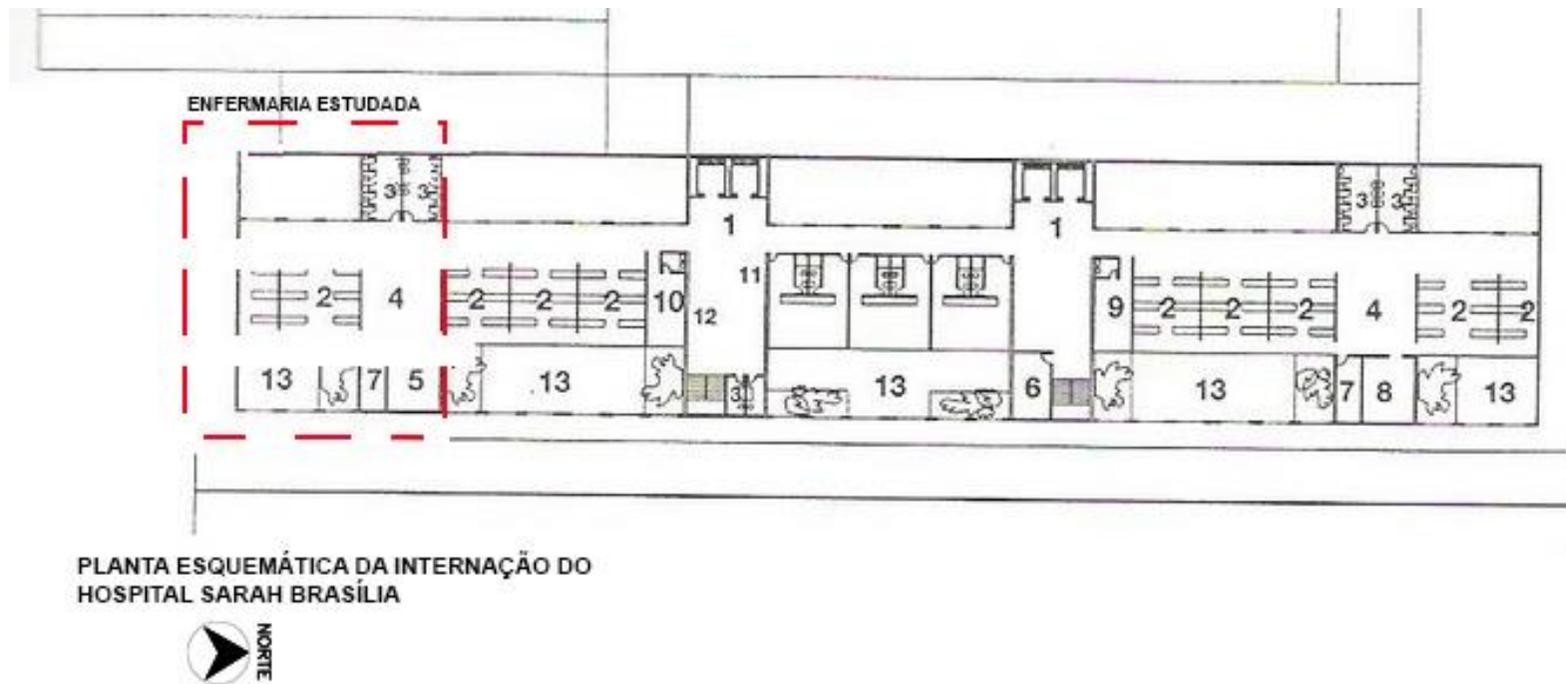
Figura 43 – Planta baixa da internação do Hospital SARAH Brasília.



Fonte: Lelé (2012).

A Enfermaria analisada (Figuras 43 e 44) possui espaço para nove leitos, capacidade para 18 pessoas e portas de correr que auxiliam na ventilação natural. A área de abertura do ambiente (Figura 45) possui 10,08 m² que auxiliam na obtenção da qualidade do ar interna do ambiente analisado, que possui ao todo 80 m².

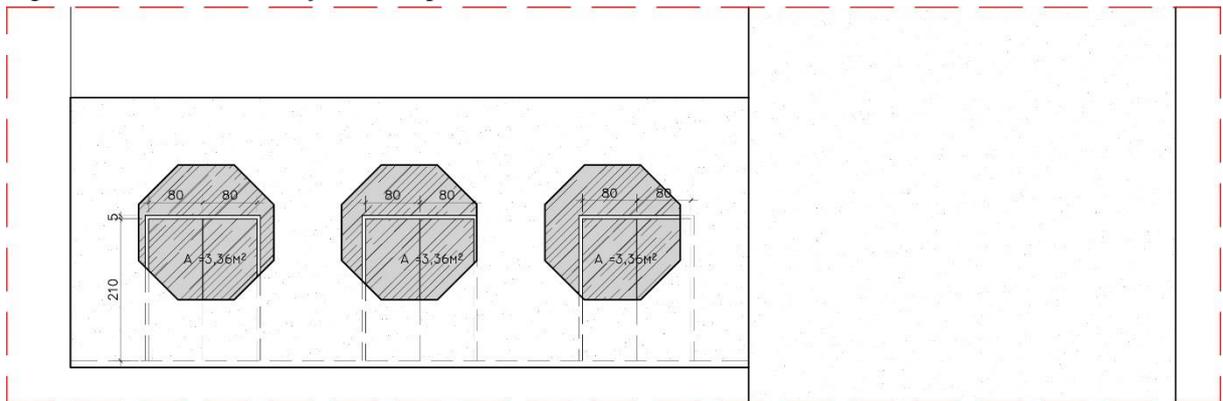
Figura 44 – Planta baixa da internação do Hospital SARAH Brasília.



Onde: 1 – Hall de elevadores; 2 – Enfermaria; 3 – Sanitários; 4 – Enfermagem; 5 – Gesso; 6 – Tratamento; 7 – Expurgo; 8 – Copa; 9 – Estar médico; 10 – Estar de enfermagem; 11- Secretaria; 12 – Estar de visitantes; 13 – Terraço.

Fonte: Lelé (2012).

Figura 45 - Corte da internação do Hospital SARAH Brasília.



Fonte: Lelé (2012).

3.1.4 Hospital SARAH Lago Norte

As maiores dificuldades do Hospital SARAH Brasília eram que o projeto, sobretudo, não viabilizava a expansividade e a flexibilidade, onde um conjunto de edifícios interligados foi implantado em um pequeno lote em uma zona de grande adensamento urbano que, por conseguinte, não lograva grandes espaços verdes para que os pacientes pudessem praticar a reabilitação ao ar livre, como se dá em outros hospitais da Rede SARAH, bem como não havia áreas disponíveis para a expansão de atividades de pesquisa, em particular, a Neurologia (LELÉ, 2012).

Inaugurado em dezembro de 2003, o Hospital SARAH Lago Norte possui uma arquitetura horizontal que viabilizou a integração dos espaços internos e externos, favorecendo a equipe de trabalho e a acessibilidade para os pacientes (REDE SARAH DE HOSPITAIS DE REABILITAÇÃO, 2017). Neste sentido, deu-se a criação desta unidade de reabilitação localizada à beira do Lago Paranoá (Figura 46), Brasília, Distrito Federal, para possibilitar a terapia ao ar livre, que poderia estar ligada à atividade náutica, com a devida estrutura de apoio e pesquisa (LELÉ, 2012).

Figura 46 – Hospital SARAH Lago Norte, Lago Norte, Distrito Federal.



Fonte: Adaptado de Google (2017).

A análise dos ventos predominantes vindos do Leste aponta à incidência direta do vento a 50° da normal da fachada da internação do Hospital SARAH Lago Norte, conforme evidenciado na Figura 47.

Figura 47 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital SARAH Lago Norte.



O Hospital SARAH Lago Norte é um Centro Internacional de Neurociências e Reabilitação, com o atendimento exclusivamente ambulatorial, atuante em uma etapa mais avançada da reabilitação (REDE SARAH DE HOSPITAIS DE REABILITAÇÃO, 2017).

Tal ambiente hospitalar não possui um sistema de galerias para intensificar a ventilação natural dentro da edificação, como ocorre em algumas outras unidades da Rede SARAH, pois, tem-se ali pouca compartimentação devido às características do tratamento de reabilitação, que exige áreas internas conectadas a área externa, grandes ginásios com espaços amplos e pés direitos altos. Assim, em seu projeto adotou-se um sistema de ventilação mais simplificado, onde o ar adentra pelos ambientes pelas grandes portas de correr que dão para o exterior e que são sempre protegidas por varandas, cujo ar é extraído pelas aberturas dos *sheds* (Figura 48) (LELÉ, 2012).

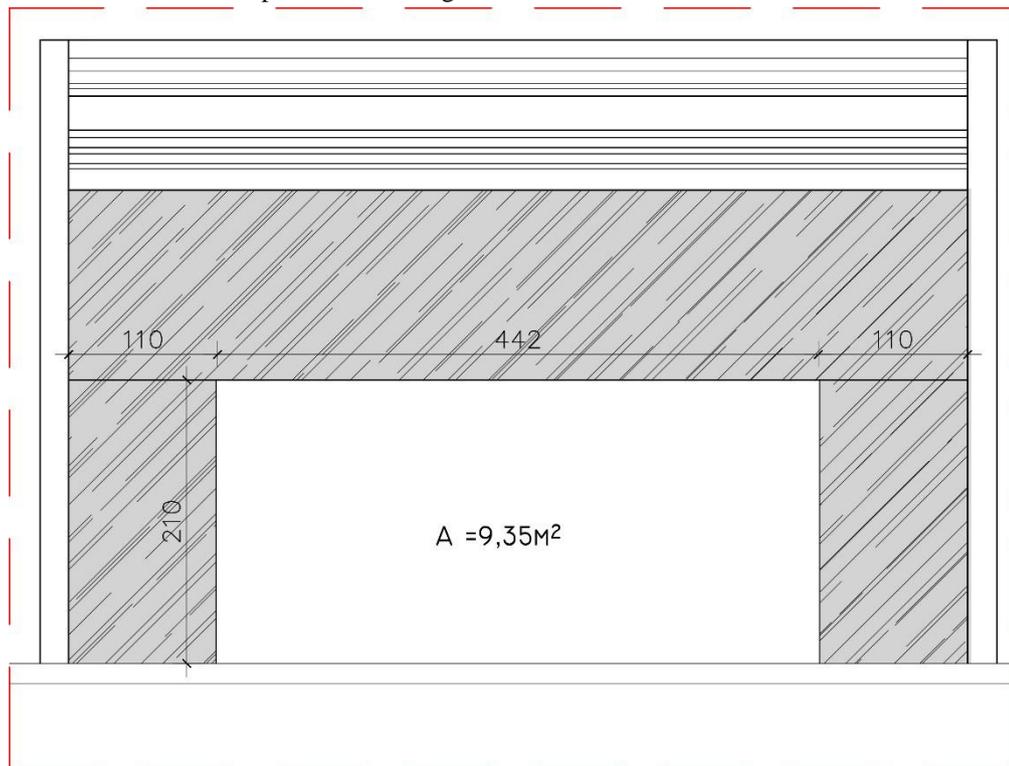
Figura 48 – Ficha técnica do Hospital SARAH Lago Norte.



Fonte: Adaptado de Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação (2017).

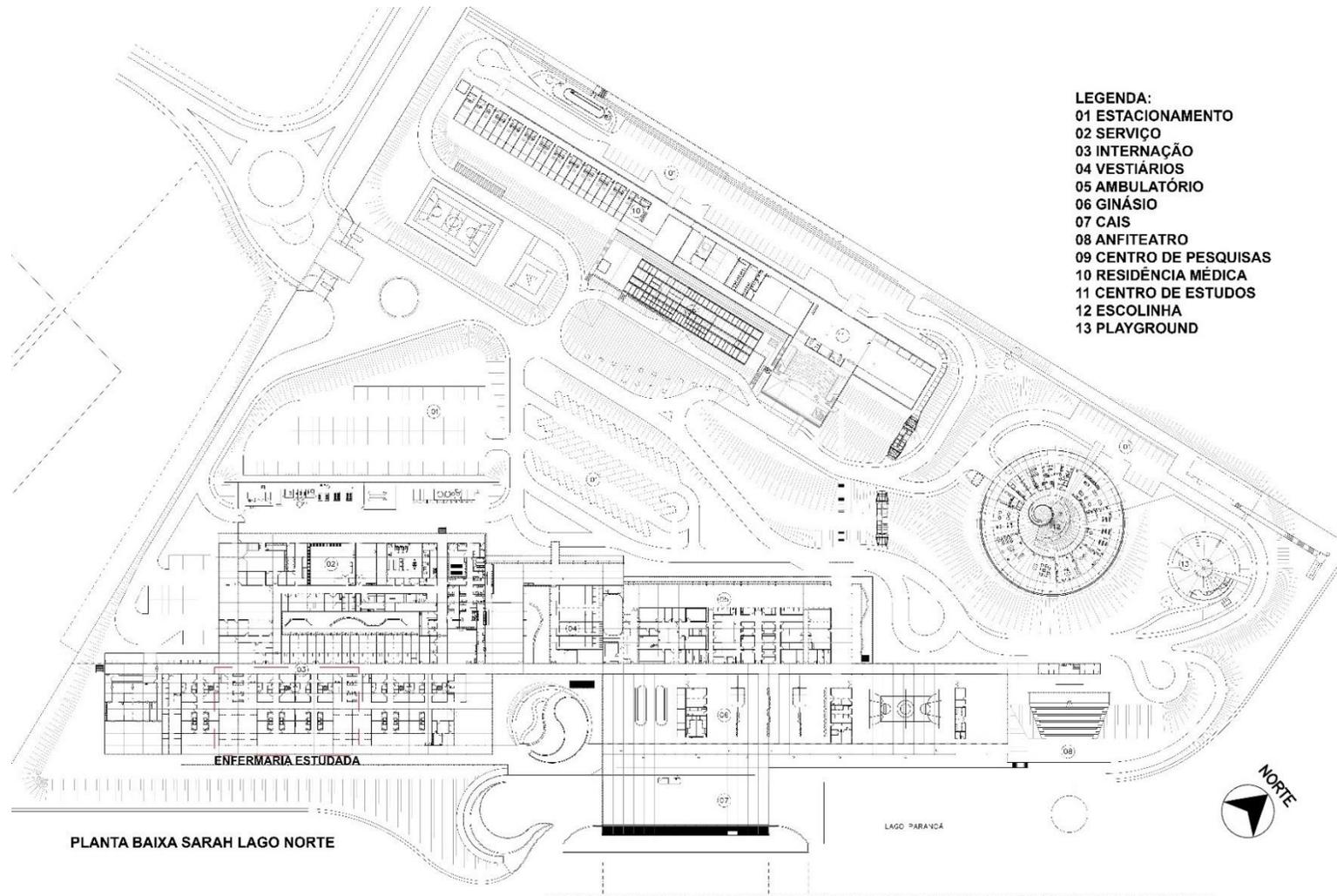
O Hospital SARAH Lago Norte (Figura 50) possui quatro enfermarias com 12 leitos cada. Cada enfermaria possui uma área de 88,00 metros quadrados (Figura 51). Os leitos com dimensões estão separados por cortinas suspensas para privacidade dos pacientes, mas não causam bloqueio de ar, permitindo sua distribuição por todo o ambiente. As portas de correr funcionam como entrada de ventilação natural, que é distribuída por todo o espaço e é extraída pelos *sheds* localizados na cobertura da Enfermaria. O ambiente possui uma área de abertura efetiva de 9,35 m² (Figura 49).

Figura 49 – Ficha técnica do Hospital SARAHA Lago Norte.



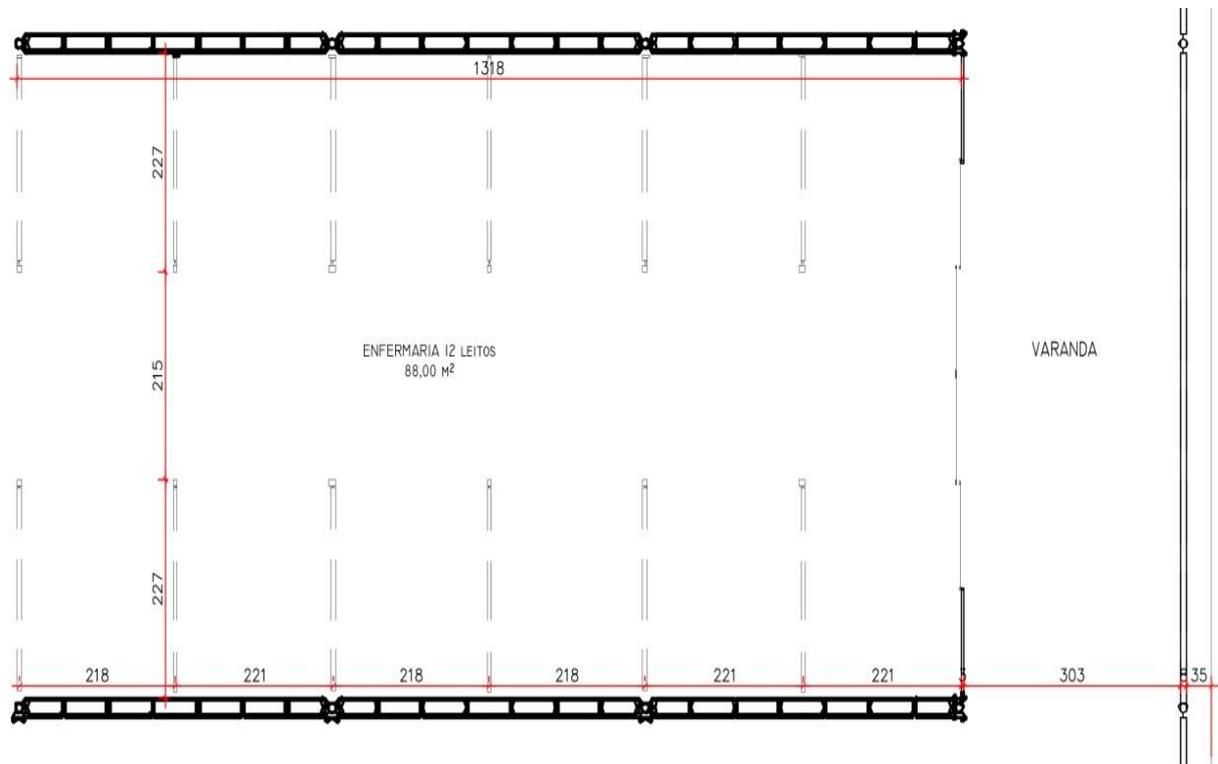
Fonte: Adaptado de Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação (2017).

Figura 50 – Ficha técnica do Hospital SARAH Lago Norte.



Fonte: Adaptado de Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação (2017).

Figura 51 – Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.

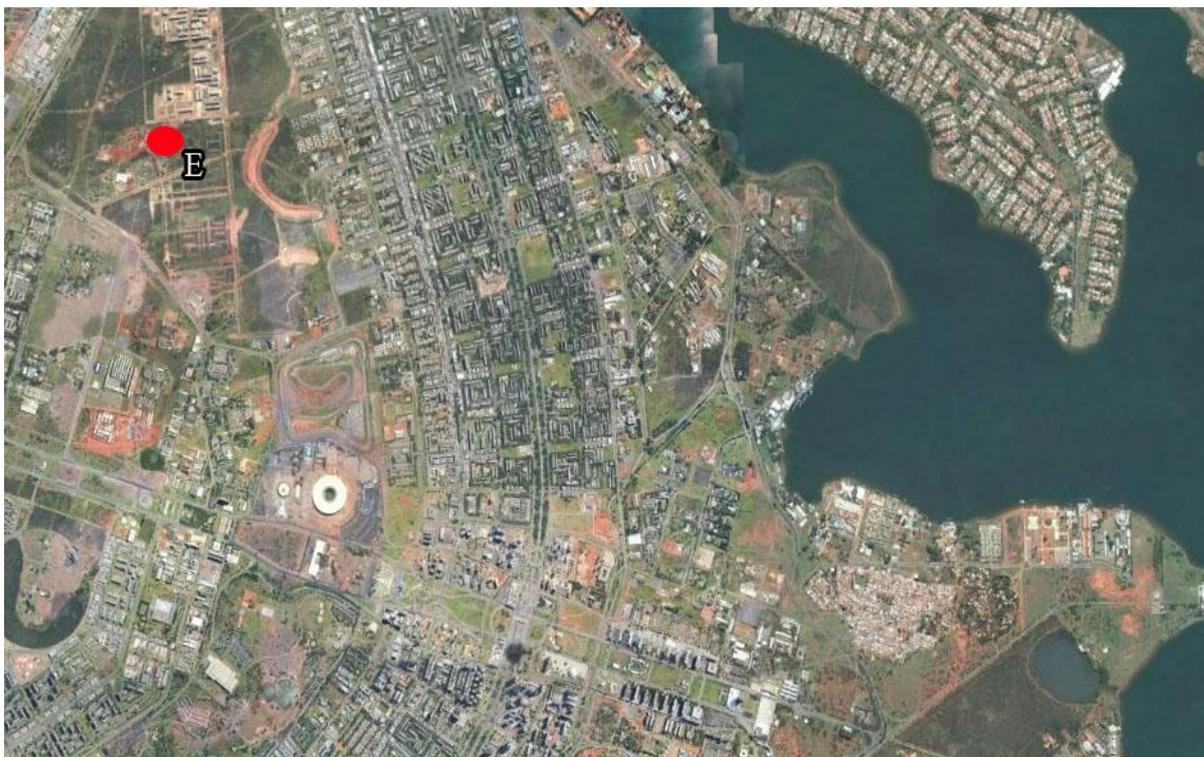


Fonte: Adaptado de Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação (2017).

3.1.5 Hospital de Apoio de Brasília

O HAB foi fundado em 1994 e é especializado em reabilitação de indivíduos com graves danos neurológicos e de cuidados paliativos oncológicos, e atende apenas pacientes encaminhados de outros hospitais da rede pública, em regime de internação e ambulatorial de crianças e adultos. Está localizado no SAIN, quadra 4, Brasília, Distrito Federal (Figuras 52 e 53).

Figura 52 – Localização do Hospital de Apoio de Brasília.



Fonte: Adaptado de Google (2017).

Figura 53 – Ficha técnica do Hospital de Apoio de Brasília.

FICHA TÉCNICA - HOSPITAL DE APOIO DE BRASÍLIA (HAB)	
	<p>Arquiteto: Janete Freiburger Ano: 1994 Cidade: Brasília - DF Área construída: 5.000 m²</p> <p>Ambiente analisado: Internação (Térreo)</p>

Fonte: Adaptado de SES- DF (2017).

A análise dos ventos predominantes vindos do Leste aponta a incidência direta do vento a 30° da normal da fachada da internação do estudo de caso do HAB, conforme evidenciado na Figura 54.

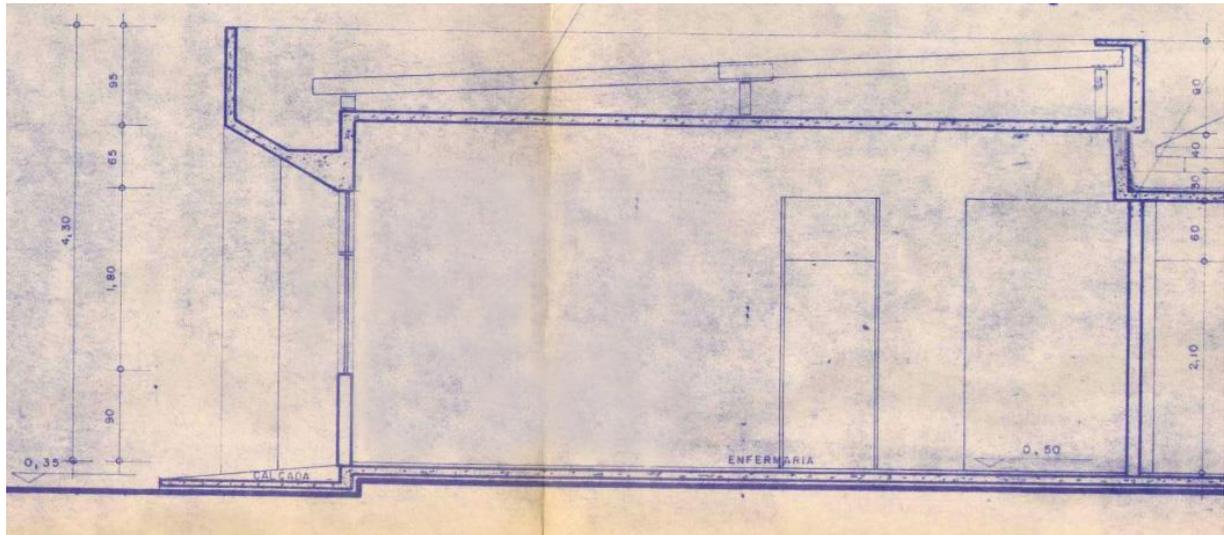
Figura 54 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital de Apoio de Brasília.



Fonte: Adaptado de Google (2017).

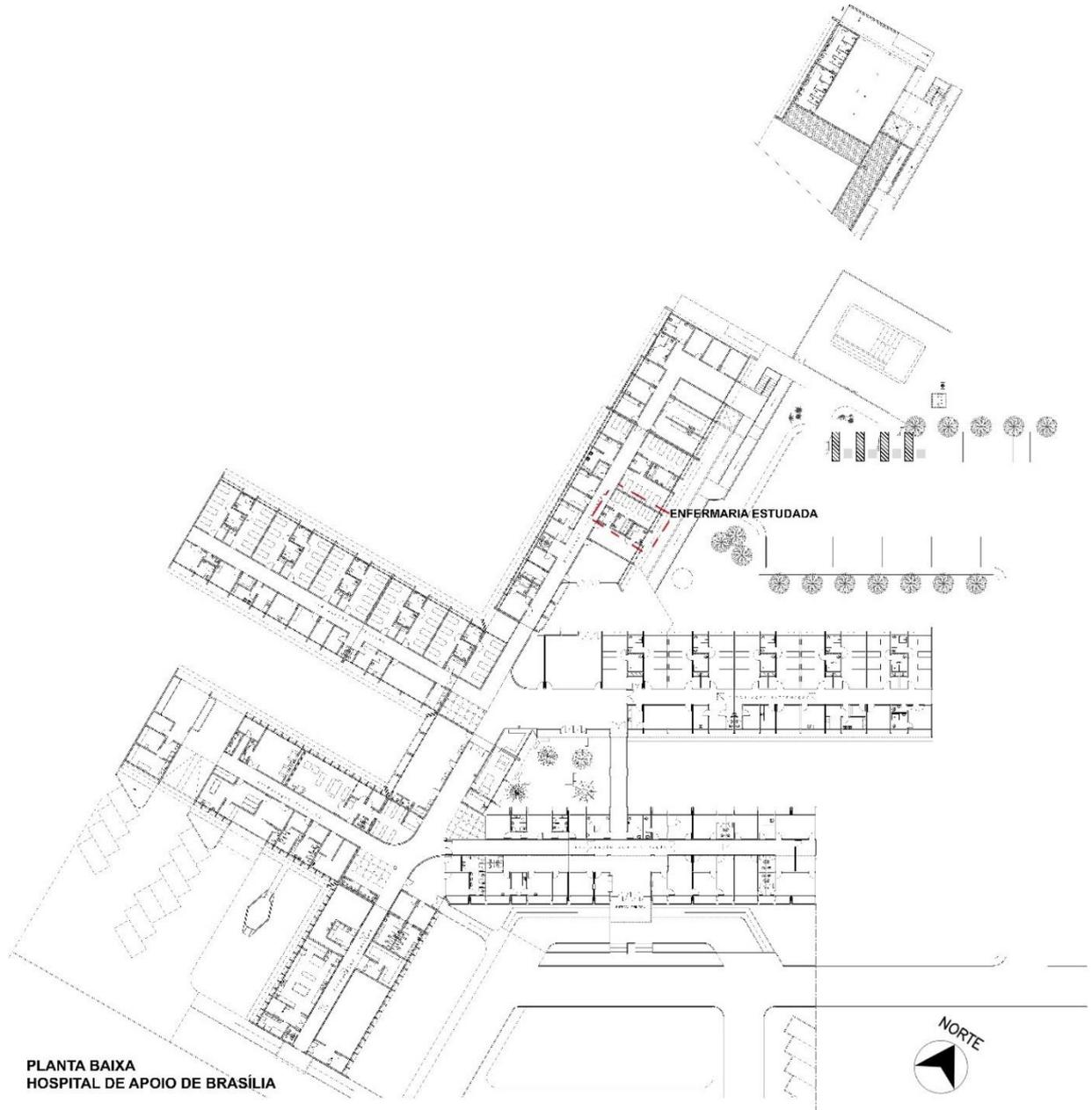
O HAB possui uma arquitetura horizontal subdividida em alas, com 24 Enfermarias (Figura 56), de boa iluminação e ventilação natural, sendo obedecidos os conceitos de humanização e da arquitetura bioclimática. A Enfermaria estudada possui quatro leitos, capacidade para oito pessoas, um banheiro para Pessoas Portadoras de Deficiência (PPD), espaço de 29 m² e área de abertura efetiva (Figura 57) de 4,41 m² (1,80 m por 2,45 m).

Figura 55 – Corte do Hospital de Apoio de Brasília.



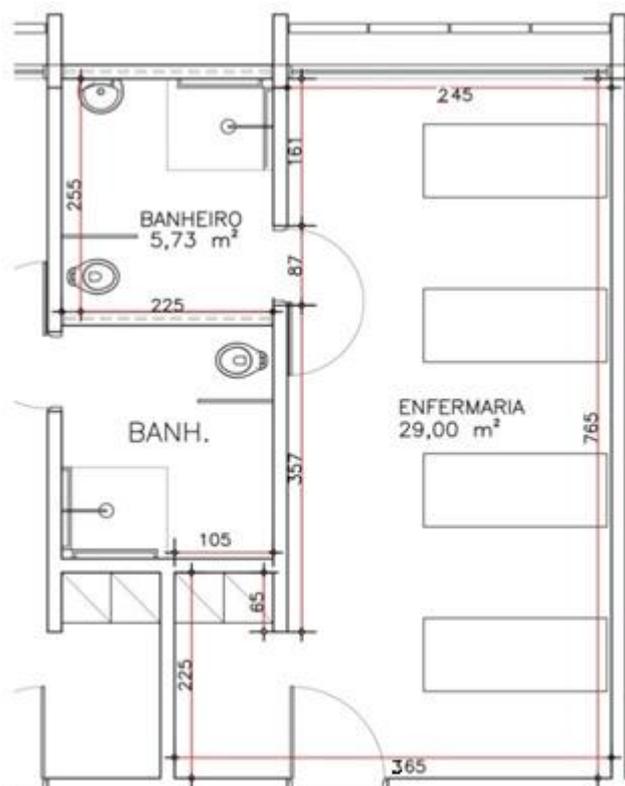
Fonte: Adaptado de SES- DF (2017).

Figura 56 – Planta do Hospital de Apoio de Brasília – SES- DF.



Fonte: SES- DF (2017).

Figura 57 – Enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.



Fonte: SES- DF (2017).

A seguir, os são demonstrados os valores do ângulo de incidência dos ventos predominantes e área efetiva das aberturas dos ambientes hospitalares estudados (Tabela 13).

Tabela 13 – Compatibilização das informações extraídas dos estudos de caso.

Hospitais	Valor do ângulo de incidência dos ventos predominantes na abertura do ambiente estudado	Área de Abertura Efetiva do ambiente estudado
Hospital de Base do Distrito Federal	30°	8,80 m ²
Hospital da Criança de Brasília José Alencar	0°	3,78 m ²
Hospital SARAHA Brasília	90°	10,08 m ²
Hospital SARAHA Lago Norte	50°	9,35 m ²
Hospital de Apoio de Brasília	30°	4,41 m ²

3.2 Definição da velocidade dos ventos predominantes

A definição da velocidade dos ventos predominantes se deu com base em três métodos, a saber:

- 1) Valores da velocidade dos ventos das normais climatológicas para cidade de Brasília divulgadas pelo INMET, onde Zanoni (2015) definiu o valor de 3,5 m/s (conforme demonstrado no capítulo anterior) como velocidade média dos ventos predominantes;
- 2) Análise urbana para estabelecer a velocidade dos ventos incidentes nos estudos de caso por meio da ficha bioclimática espacial criada por Romero (2016a; 2016b), onde é possível analisar as características espaciais do entorno, base e fronteira (exposição ao sol, vento, som etc.), e como tais atributos espaciais são refletidos para a característica ambiental (ressonância, radiação, velocidade do ar entre outras) – a ficha bioclimática espacial utilizada no presente estudo é uma ferramenta de análise urbana com o intuito de fornecer, teoricamente, parâmetros para velocidade do ar externa que incide nos estudos de caso (característica ambiental); e
- 3) Cálculo matemático, que foi estabelecido pelos autores Swami e Chandra (1987), que considera fatores urbanos que são transpostos de forma numérica para uma equação que fornecerá a velocidade dos ventos incidentes em uma abertura preestabelecida; Sales (2016) fez uso do método matemático (SWAMI; CHANDRA, 1987), reconhecido pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), para fornecimento de dados para a simulação computacional de fluidos, para estabelecer um diagrama de ventilação natural para habitações em diversas zonas bioclimáticas.

A ficha bioclimática espacial foi adaptada para estabelecer a velocidade dos ventos em cada estudo de caso, sendo analisados os cenários e aspectos espaciais onde cada hospital estudado é inserido; segundo Romero (2016a; 2016b), os aspectos espaciais constam da análise do entorno (sol, vento, som, continuidade da massa e condução dos ventos), da base (área da base, pavimentação, vegetação, água e mobiliário urbano) e da fronteira (convexidade, continuidade da superfície, aberturas, tensão, detalhes arquitetônicos, número de lados, altura e área total da superfície), conforme a Figura 58.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 58 – Ficha bioclimática do espaço com destaque para os atributos espaciais.

ESPACIAIS		AMBIENTAIS		
ENTORNO	ACESSOS	SOL	SENSAÇÃO DE CALOR	COR
		VENTO	RESSONÂNCIA DO RECINTO	SOM
		SOM		
	CONTINUIDADE DA MASSA	Direta	RADIÇÃO	
CONDUÇÃO DOS VENTOS	Difusa			
		Refletida		
A BASE	COMPONENTES E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	ÁREA DA BASE	UMIDADE RELATIVA	CLIMA
		PAVIMENTAÇÃO	VELOCIDADE DO VENTO	
		VEGETAÇÃO	ALBEDO	SOM
		ÁGUA	AMBIENTE SONORO	
		MOBILIÁRIO URBANO	CONJUNTO DE CORES	COR
			TONALIDADE	LUZ
	MANCHA DE LUZ			
A FRONTEIRA		CONVEXIDADE	LUMINÂNCIA	LUZ
		CONTINUIDADE	INCIDÊNCIA DE LUZ	
		ABERTURAS	ABSORÇÃO	CLIMA
		TIPOLOGIA ARQUITETÔNICA	MATIZES	COR
		DETALHE ARQUITETÔNICO	PERSONALIDADE ACÚSTICA	SOM
		NÚMERO DE LADOS		
ALTURA				

Fonte: Romero (2016a; 2016b), p. 159.

Após análise pela ficha bioclimática espacial dos estudos de casos, foi definido o potencial de ventilação de cada hospital, que será inserido no programa de dinâmica computacional de fluídos (CFD), para verificação da qualidade do ar interna.

3.2.1 Ficha bioclimática espacial – Hospital de Base do Distrito Federal

A ficha bioclimática adaptada para a análise da velocidade do vento no HBDF (Figura 59) aponta a inexistência de barreiras no fluxo direto dos ventos predominantes (Figura 60),

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

pois, a direção leste do hospital está voltada para o Eixo Rodoviário de Brasília, não possuindo nenhuma barreira em altura capaz de diminuir a velocidade ou direção dos ventos.

Por se localizar na região central da cidade, o entorno do HBDF tem alturas variadas, desde gabaritos sem construção (Eixo Rodoviário) até edifícios com 12 andares, fazendo com que a fronteira possua uma massa descontínua.

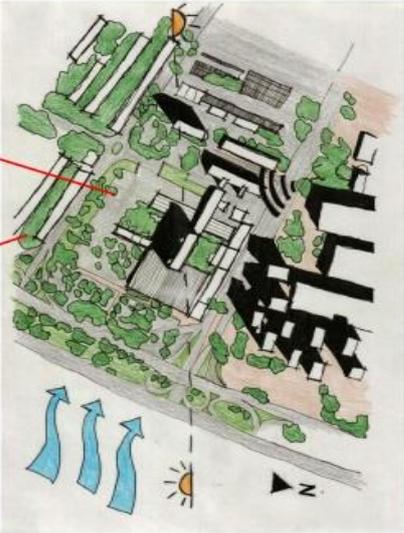
Na pavimentação é predominante a presença de calçadas de concreto e asfalto, por ser um edifício localizado no centro da cidade, onde não há muito espaço para áreas verdes; porém, a vegetação divide-se em árvores de grande, médio e pequeno porte.

Na dimensão da fronteira, encontram-se grandes aberturas e três lados, pelo fato do lado leste daquele Hospital voltar-se para o Eixo Rodoviário, culminando na inexistência de uma continuidade da massa, pela variação das alturas dos edifícios.

O HBDF também se destaca pela presença de brises, que diminuem a velocidade dos ventos incidentes.

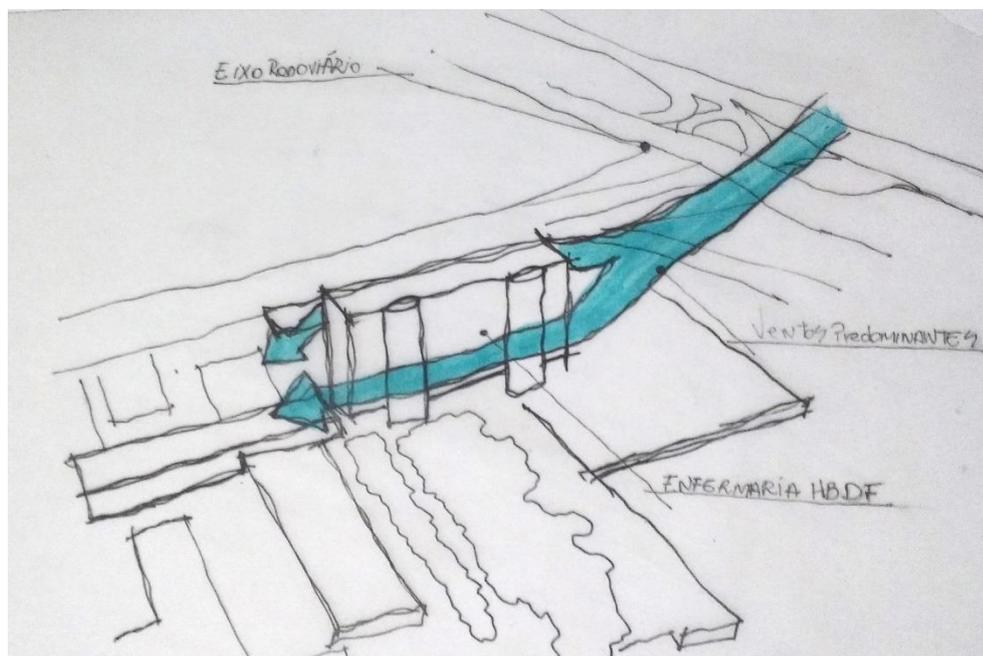
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 59 – Ficha bioclimática espacial – Hospital de Base do Distrito Federal.

ESPACIAIS		HOSPITAL DE BASE DO DISTRITO FEDERAL (HBDF)
A FRONTEIRA	ACESSOS	<p>VENTO Não há barreira</p> 
		<p>CONTINUIDADE DA MASSA Massa descontínua devida as alturas diferentes do entorno</p> <p>CONDUÇÃO DOS VENTOS Não há barreira que interfira a ventilação do HBDF</p>
A BASE	COMPONENTES E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	<p>PAVIMENTAÇÃO Calçada de concreto Grama Asfalto</p> <p>VEGETAÇÃO Árvores de grande e médio porte Grama</p> 
A FRONTEIRA		<p>CONTINUIDADE Não existe continuidade</p> <p>ABERTURAS Grandes</p> <p>DETALHE ARQUITETÔNICO- Brises instalados no edifício</p> <p>NÚMERO DE LADOS 3 Lados</p> <p>ALTURA Variada (térreo até 12 andares)</p> 

Fonte: Adaptado de Romero (2016a; 2016b), p. 159.

Figura 60 – Fluxo de vento predominantes no Hospital de Base do Distrito Federal.



3.2.2 Ficha bioclimática espacial – Hospital da Criança de Brasília José Alencar

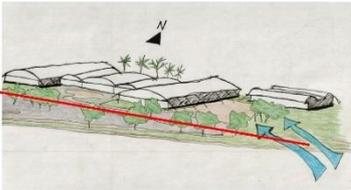
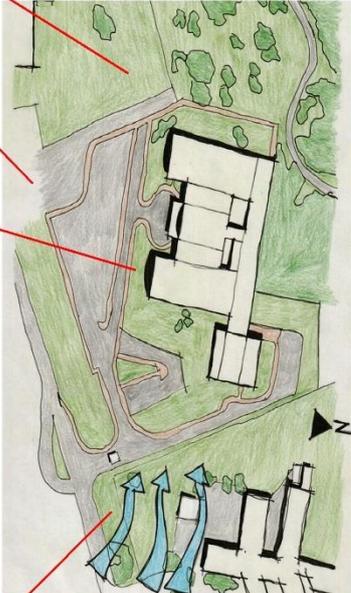
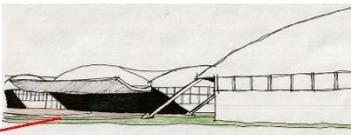
A ficha bioclimática de análise da velocidade do vento no HCB (Figura 61) demonstra que no HAB tem-se uma barreira no fluxo dos ventos predominantes (Figura 62), fazendo com que ocorra uma redução na velocidade; porém, este último encontra-se em uma distância considerável do HCB, que em seu entorno ainda se tem a não continuidade da massa e não condução específica dos ventos, pelo fato de que este se encontra em uma área isolada e aberta, havendo somente o HAB no seu entorno imediato.

Na base do HCB, é possível verificar a grande predominância de área verde em relação às outras pavimentações (asfalto e a calçada de concreto). A vegetação é constituída de árvores de grande e médio porte, com a presença de grama na maior parte da base.

Ali é possível observar uma continuidade da massa na dimensão da fronteira, pelo fato de possuir somente um lado, fazendo com que existam grandes aberturas. A altura máxima da fronteira é de um pavimento (HAB).

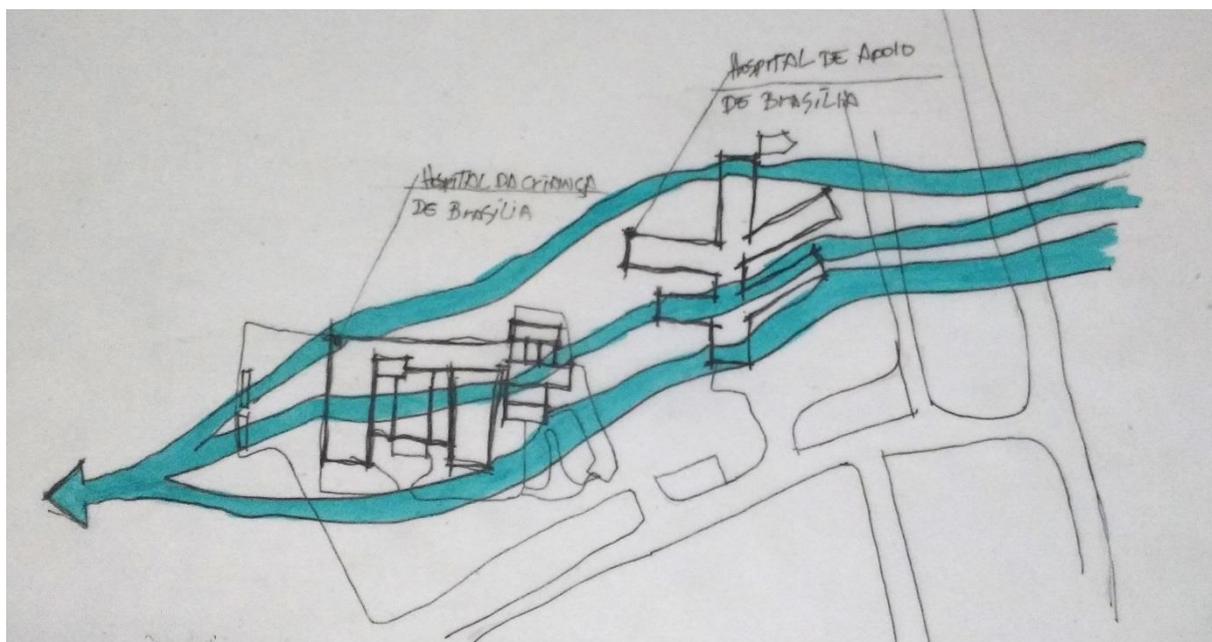
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 61 – Ficha bioclimática espacial – Hospital da Criança de Brasília José Alencar.

ESPACIAIS		HOSPITAL DA CRIANÇA DE BRASÍLIA (HCB)
O ENTORNO	ACESSOS	
	CONTINUIDADE DA MASSA	
	CONDUÇÃO DOS VENTOS	
A BASE	COMPONENTES E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	
A FRONTEIRA	CONTINUIDADE	
	ABERTURAS	
	NÚMERO DE LADOS	
	ALTURA	

Fonte: Adaptado de Romero (2016a; 2016b), p. 159.

Figura 62 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital da Criança de Brasília.



3.2.3 Ficha bioclimática espacial – Hospital SARAH Brasília

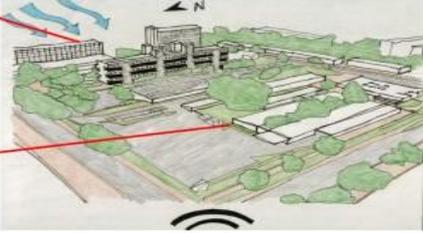
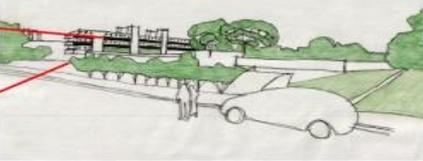
A ficha bioclimática do Hospital SARAH Brasília (Figura 63) aponta barreiras no fluxo direto dos ventos predominantes (Figura 64), uma vez que na direção leste se têm edifícios (o bloco de internação do HBDF, por exemplo) que criam uma descontinuidade da massa edificada, interferindo na velocidade dos ventos que incidem na fachada deste Hospital.

Na base, a pavimentação predominante é de calçadas de concreto e asfalto, não havendo grandes áreas verdes; porém, a vegetação divide-se em árvores de grande, médio e pequeno porte.

Na dimensão da fronteira têm-se grandes aberturas e quatro lados, pelo fato de todos os lados possuírem edificações; porém, inexistente uma continuidade da massa, pela variação das alturas dos edifícios. Os detalhes arquitetônicos ali existentes favorecem a utilização da ventilação natural interna.

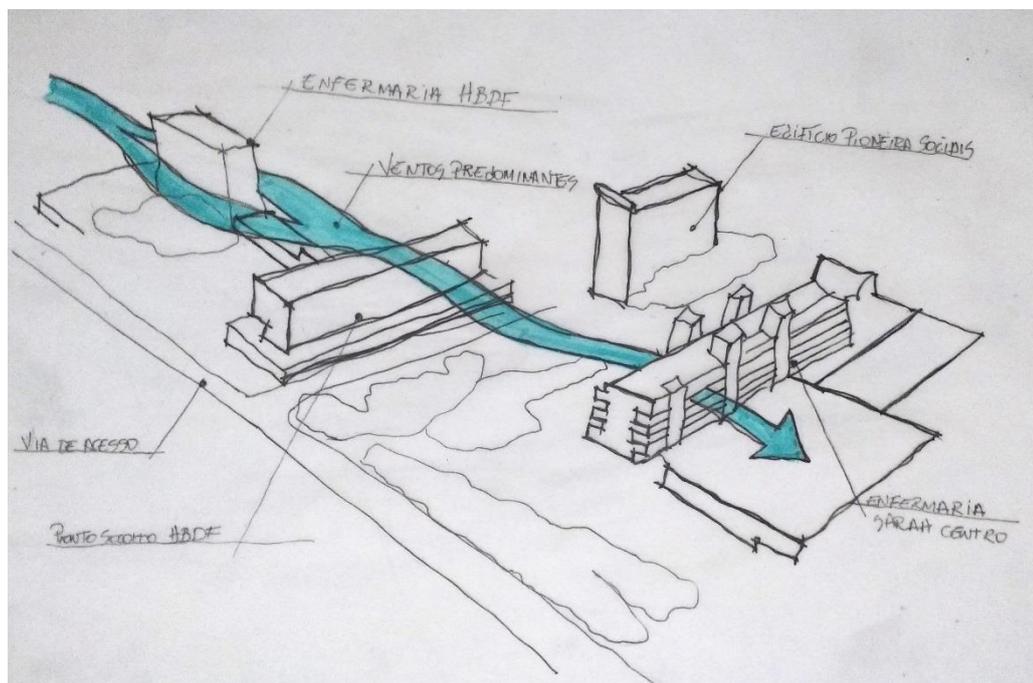
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 63 – Ficha bioclimática espacial – Hospital SARAH Brasília.

ESPACIAIS		HOSPITAL DA SARAH CENTRO DE BRASÍLIA
O ENTORNO	ACESSOS	<p>VENTO Barreira pelos edifícios do entorno</p> 
		<p>CONTINUIDADE DA MASSA Massa descontínua devida as alturas diferentes do entorno</p> <p>CONDUÇÃO DOS VENTOS O HBDF cria uma barreira que interfere na ventilação</p> 
A BASE	COMPONENTES E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	<p>PAVIMENTAÇÃO Calçada de concreto Grama Asfalto</p> <p>VEGETAÇÃO Árvores de grande e médio porte Grama</p> 
A FRONTEIRA		<p>CONTINUIDADE Não existe continuidade</p> <p>ABERTURAS Grandes</p> <p>DETALHE ARQUITETÔNICO- Sheds e volumetria do edifício</p> <p>NÚMERO DE LADOS 4 Lados</p> <p>ALTURA Variada (térreo até 12 andares)</p> 

Fonte: Adaptado de Romero (2016a; 2016b), p. 159.

Figura 64 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital Sarah Centro de Brasília.



3.2.4 Ficha bioclimática espacial – Hospital SARAHA Lago Norte

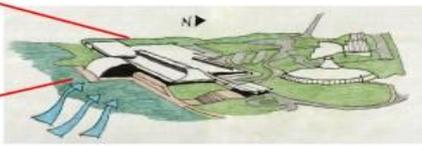
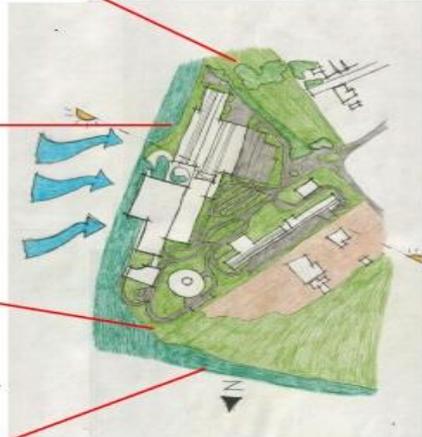
A ficha bioclimática do Hospital SARAHA Lago Norte (Figura 65) demonstra que em seu entorno não existe nenhuma uma barreira no fluxo dos ventos predominantes (Figura 66), pelo fato do hospital se localizar à beira do Lago Paranoá, Brasília, Distrito Federal. Não há uma continuidade da massa, bem como não há uma condução específica dos ventos.

Em sua base é possível verificar a grande predominância de área verde em relação às outras pavimentações (asfalto e a calçada de concreto). A vegetação é constituída de árvores de grande e médio porte, além de considerável presença de grama.

Ainda é possível perceber que não se tem uma continuidade da massa na dimensão da fronteira, pelo fato de possuir somente um lado (escala residencial), promovendo a existência de grandes aberturas na fronteira. A altura máxima da fronteira é de três pavimentos. A volumetria e os detalhes arquitetônicos foram projetados especificadamente para o aproveitamento da ventilação natural.

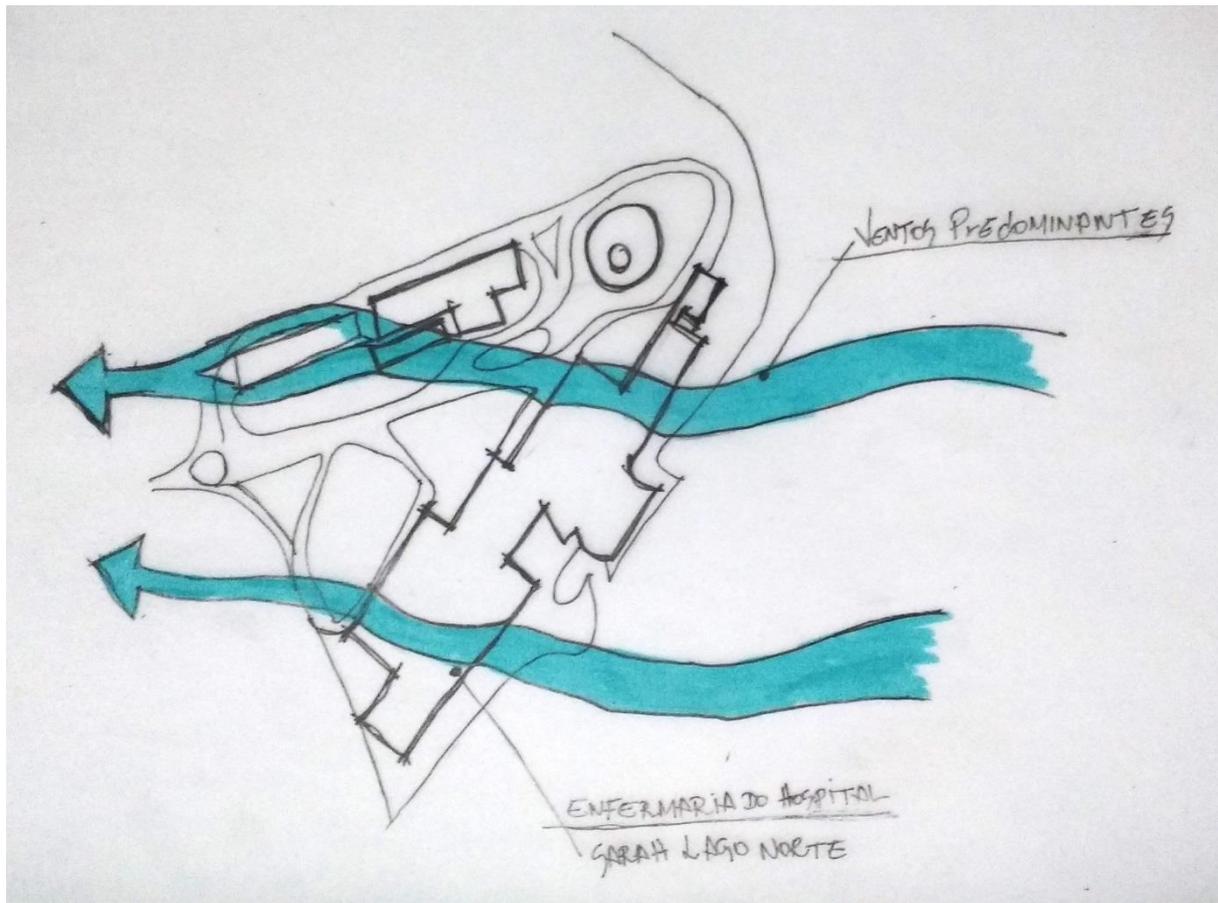
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS MEDOTOLÓGICOS

Figura 65 – Ficha bioclimática do espaço – Hospital SARAH Lago Norte.

ESPACIAIS		HOSPITAL SARAH LAGO NORTE
A FRONTEIRA	ACESSOS	
	VENTO	
	CONTINUIDADE DA MASSA	
A BASE	VEGETAÇÃO	
	PAVIMENTAÇÃO	
A BASE	CONTINUIDADE	
	ABERTURAS	
	TIPOLOGIA ARQUITETÔNICA	
	DETALHE ARQUITETÔNICO-	
	NÚMERO DE LADOS	
	ALTURA	

Fonte: Adaptado de Romero (2016a; 2016b), p. 159.

Figura 66 – Fluxo de ventos predominantes no Hospital Sarah Lago Norte.



3.2.5 Ficha bioclimática espacial – Hospital de Apoio de Brasília

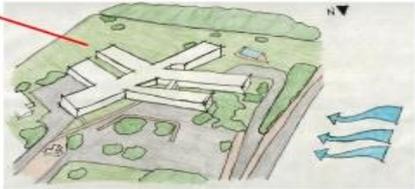
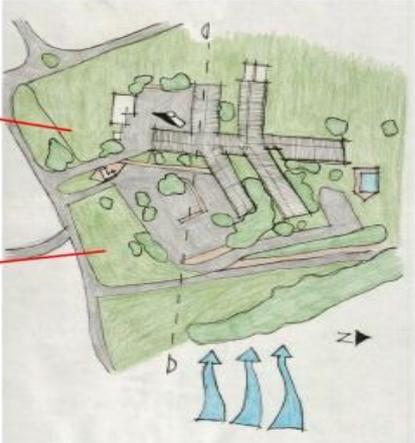
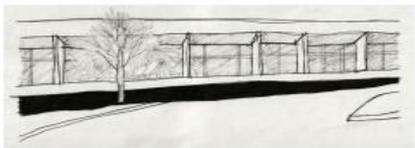
A ficha bioclimática de análise da velocidade do vento do HAB (Figura 67) demonstra que no entorno deste não se tem nenhuma barreira no fluxo dos ventos predominantes (Figura 68), bem como não há edificações no interno imediato, não havendo uma condução dos ventos específica, uma vez que aquele Hospital tem sua localização em uma área isolada e aberta.

Em sua base é possível verificar a grande predominância de área verde em relação às outras pavimentações (asfalto e a calçada de concreto). A vegetação é constituída de árvores de grande e médio porte, além de considerável presença de grama.

Ainda é possível perceber a não continuidade da massa na dimensão da fronteira, pelo fato de possuir somente um lado, fazendo com que existam grandes aberturas. A altura máxima da fronteira é de um pavimento (HCB). As projeções solares foram retiradas ao longo dos anos, pela falta de manutenção, melhorando na ventilação natural dos ambientes internos.

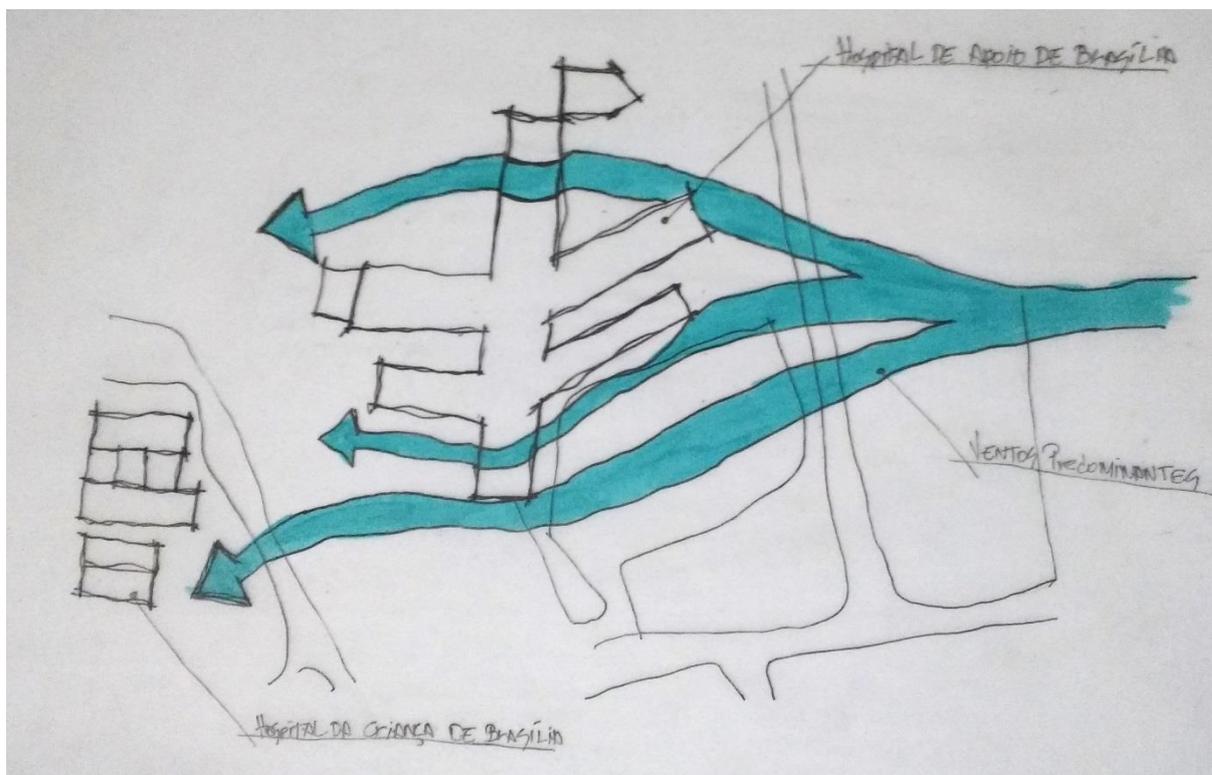
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Figura 67 – Ficha bioclimática do espaço – Hospital de Apoio de Brasília.

ESPACIAIS		HOSPITAL DE APOIO DE BRASÍLIA (HAB)
O ENTORNO	ACESSOS	<p>VENTO</p> <p>Não há barreiras</p> 
	CONTINUIDADE DA MASSA	<p>Não existe massa</p>
	CONDUÇÃO DOS VENTOS	<p>Os ventos não encontram canais de condução pela área ser aberta</p>
A BASE	COMPONENTES E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	<p>PAVIMENTAÇÃO</p> <p>Calçada de concreto</p> <p>Grama</p> <p>Asfalto</p> <p>VEGETAÇÃO</p> <p>Árvores de grande e médio porte</p> <p>Grama</p> 
	CONTINUIDADE	<p>Não existe continuidade</p>
A FRONTEIRA	ABERTURAS	<p>Grandes</p>
	TIPOLOGIA ARQUITETÔNICA	<p>Arquitetura Pós-Moderna</p>
	DETALHE ARQUITETÔNICO-	<p>Proteções contra radiação solar direta</p> 
	NÚMERO DE LADOS	<p>1 Lado</p>
	ALTURA	<p>Máxima de 1 pavimento</p>

Fonte: Adaptado de Romero (2016a; 2016b), p. 159.

Figura 68 – Fluxo dos ventos predominantes no Hospital de Apoio de Brasília.



3.2.6 Potencial de ventilação dos estudos de caso por meio da ficha bioclimática espacial

A ficha bioclimática espacial foi utilizada na presente pesquisa para análise urbanística dos estudos de caso, a fim de estabelecer, de modo teórico, a velocidade dos ventos incidentes em cada ambiente hospitalar analisado, com base nos aspectos espaciais urbanos.

Após a análise urbana de cada Hospital, fez-se o potencial de ventilação (3,5 m/s ou 1,75 m/s), conforme as dimensões espaciais urbanas em relação ao entorno, à base e à fronteira de cada projeto. Assim, atribuindo um valor entre 1 e 3 para cada fator, a soma dos três fatores resultaram em valores entre 3 e 9. Os valores entre 3 e 5 foram atribuídos à velocidade do vento de 1,75 m/s, e os valores acima de 5, à velocidade de 3,5 m/s (Tabela 14).

Tabela 14 – Compatibilização das informações advindas das fichas bioclimáticas.

Hospitais/Dimensão Urbana	A Fronteira	A Base	O Entorno	Total	Velocidade do vento adotada
Hospital de Base do Distrito Federal	3	2	2	7	3,5m/s
Hospital da Criança de Brasília José Alencar	2	3	3	8	3,5m/s
Hospital SARAH Brasília	1	2	1	4	1,75ms
Hospital SARAH Lago Norte	3	3	3	9	3,5m/s
Hospital de Apoio de Brasília	3	3	3	9	3,5m/s

Posteriormente à compatibilização dos resultados da ficha bioclimática, constata-se que o Hospital SARAH Brasília possui um potencial de ventilação menor (1,75 m/s) do que os demais Hospitais aqui analisados, por causa das dimensões de fronteira e de entorno, principalmente pela sua proximidade ao HBDF.

3.3 Potencial de ventilação dos estudos de caso por meio do método matemático

O segundo método para a definição do potencial de ventilação natural incidente em cada estudo de caso da presente pesquisa se deu pelo viés matemático, reconhecido pela ASHRAE (SWAMI; CHANDRA, 1987), que define o potencial de ventilação por meio de características urbanas (terreno, velocidade dos ventos, altura da abertura, entre outros fatores) (Equação 1).

$$V_{ref} = \left[\left(\frac{10}{h} \right)^{b_r} \right] \cdot \left[\left(\frac{H}{10} \right)^{b_b} \right] \cdot \left(\frac{a_b}{a_r} \right) \cdot V_{rh} \quad (1)$$

Onde:

h = altura do mastro da medição da velocidade do vento³;

a_r = constante do terreno;

b_r = constante do terreno;

H = altura da abertura/janela em relação ao solo;

a_b = constante da edificação em relação ao terreno;

b_b = constante da edificação em relação ao terreno;

³ Sales (2016) define o valor de altura de mastro de medição da velocidade dos ventos como 10 metros, pois, o valor é informado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) como sendo a altura do mastro onde os equipamentos são fixados nas Estações Meteorológicas.

V_{rh} = velocidade do vento medida em “h”.

Sales (2016) define para cidade de Brasília os valores de velocidade do vento (V_{rh}) como o valor da intensidade do vento coletada pelas Normais Climatológicas do INMET (1961-1990), onde foi definido o valor de intensidade média do vento de 2,56 m/s; porém, tais dados foram atualizados de acordo com Zanoni (2015), no valor de aproximadamente de 3,5 m/s, como demonstrado no capítulo 2 da presente pesquisa. Os valores de a_b e b_b foram definidos conforme as constantes do terreno (Tabela 15) por Swami e Chandra (1987).

Os valores do coeficiente H foram definidos de acordo com a altura da abertura do ambiente do estudo de caso estudado em relação ao solo.

Tabela 15– Coeficientes do terreno para determinar a velocidade dos ventos incidentes.

Classes	b	a	Descrição
I	0,10	1,30	Oceanos ou outros corpos de água com pelo menos 5 km de extensão irrestrita.
II	0,15	1,0	Terreno plano com alguns obstáculos isolados.
III	0,20	0,85	Áreas rurais com edificações baixas.
IV	0,25	0,67	Áreas urbanas, industriais ou de florestas.
V	0,35	0,47	Centros de grandes cidades.

Fonte: Swami e Chandra (1987).

3.3.1 Método matemático – Hospital de Base do Distrito Federal

O terreno onde está implantado o HBDF foi classificado, de acordo com o método matemático (Equação 2), como área urbana, industriais ou de florestas, possuindo os coeficientes 0.25 e 0.67 (b e a, respectivamente). A altura da abertura da janela do 5º pavimento em relação ao nível do solo (H) é de 17,85 metros, conforme evidenciada na Figura 69, a seguir. Neste sentido, têm-se o método matemático e os coeficientes estabelecidos para o HBDF, conforme se segue.

$$V_{ref} = \left[\left(\frac{10}{h} \right)^{b_r} \right] \cdot \left[\left(\frac{H}{10} \right)^{b_b} \right] \cdot \left(\frac{a_b}{a_r} \right) \cdot V_{rh}$$

$$V_{ref} = 4,04 \text{ m/s}$$

(Equação 2)

Onde:

$h = 10$ metros;

$a_r = 0.67$ (vide Tabela 13);

$b_r = 0.25$ (vide Tabela 13);

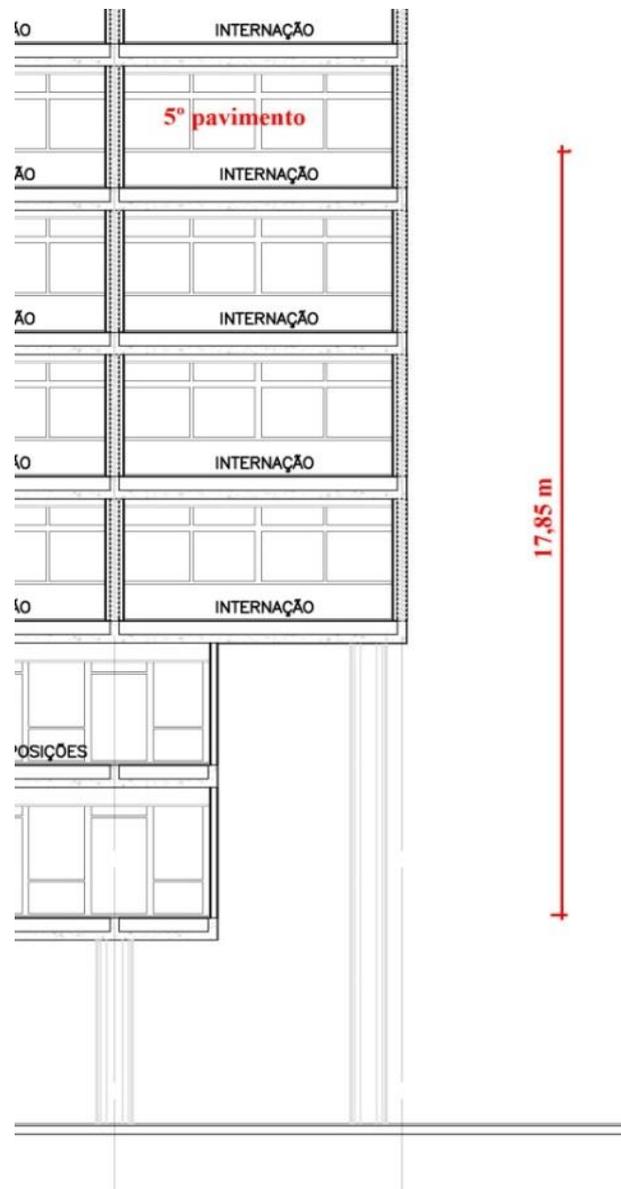
$H = 17,85$ m (demonstrado na Figura 57, a seguir);

$a_b = 0.67$ (vide Tabela 13);

$b_b = 0.25$ (vide Tabela 13);

$V_{rh} = 3,5$ m/s.

Figura 69 – Distância da abertura da janela do 5º pavimento do nível do solo (H).



Fonte: Araújo (2016a).

O valor dos ventos incidentes na abertura da janela do 5º pavimento (V_{ref}) corrigido pelo método matemático é igual a 4,04 m/s.

3.3.2 Método matemático – Hospital da Criança de Brasília José Alencar

O terreno onde está implantado o HCB foi classificado como terreno plano com alguns obstáculos isolados, possuindo os coeficientes 0.15 e 0.10 (b e a, respectivamente). A altura da abertura da janela da UTE ao nível do solo (H) é de 1,10 metros, conforme evidenciado na Figura 70, a seguir. Neste sentido, têm-se o método matemático e os coeficientes estabelecidos para o HCB, conforme se segue.

$$V_{ref} = \left[\left(\frac{10}{h} \right)^{b_r} \right] \cdot \left[\left(\frac{H}{10} \right)^{b_b} \right] \cdot \left(\frac{a_b}{a_r} \right) \cdot V_{rh}$$

$$V_{ref} = 2,51 \text{ m/s}$$

(Equação 3)

Onde:

$h = 10$ metros;

$a_r = 0.10$ (vide Tabela 13);

$b_r = 0.15$ (vide Tabela 13);

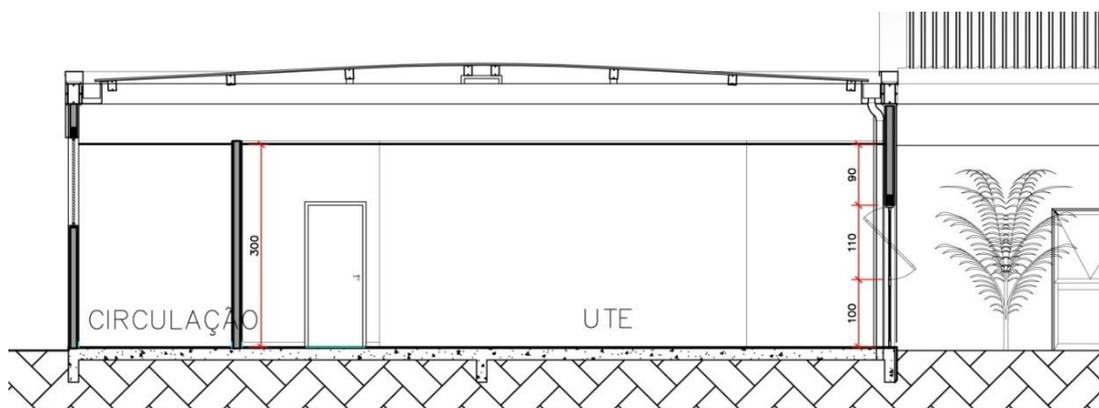
$H = 1,10$ m (demonstrado na Figura 58, a seguir);

$a_b = 0.10$ (vide Tabela 13);

$b_b = 0.15$ (vide Tabela 13);

$V_{rh} = 3,5$ m/s.

Figura 70 – Distância da abertura da janela do térreo ao nível do solo (H).



Fonte: HCB (2017).

O valor dos ventos incidentes na abertura da janela da UTE no pavimento térreo (V_{ref}) corrigido pelo método matemático é igual a 2,51 m/s.

3.3.3 Método matemático – Hospital SARAH Brasília

O Hospital SARAH Brasília possui o terreno que foi classificado, de acordo com o método matemático, como área urbana, industriais ou de florestas, possuindo os coeficientes 0.25 e 0.67 (b e a , respectivamente). A altura da abertura da janela 1º pavimento da internação em relação ao nível do solo (H) é de 17,85 metros, conforme evidenciada na Figura 71, a seguir. Neste sentido, têm-se o método matemático e os coeficientes estabelecidos para o Hospital SARAH Brasília, conforme se segue.

$$V_{ref} = \left[\left(\frac{10}{h} \right)^{b_r} \right] \cdot \left[\left(\frac{H}{10} \right)^{b_b} \right] \cdot \left(\frac{a_b}{a_r} \right) \cdot V_{rh}$$

$$V_{ref} = 3,58 \text{ m/s}$$

(Equação 4)

Onde:

$h = 10$ metros;

$a_r = 0.67$ (vide Tabela 13)

$b_r = 0.25$ (vide Tabela 13);

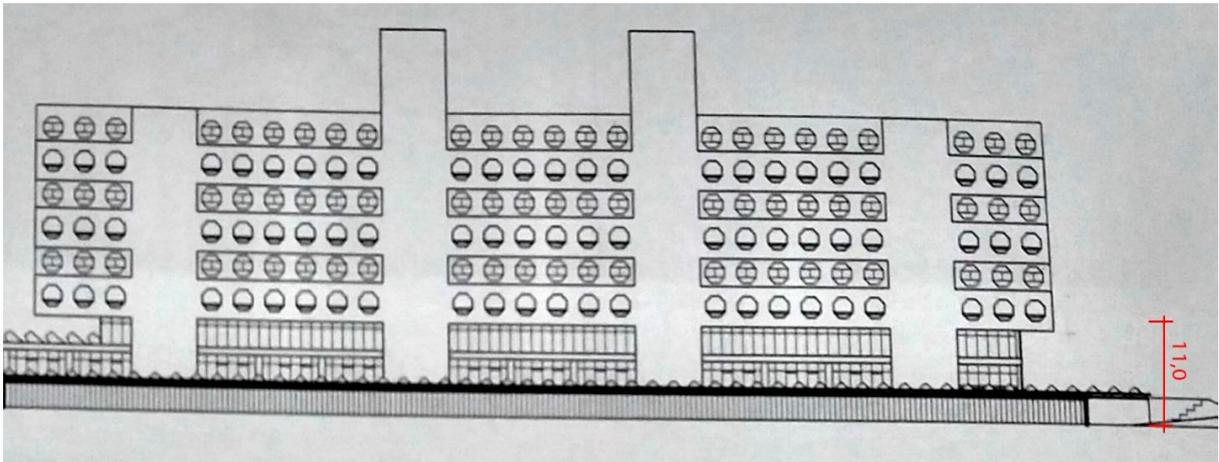
$H = 11,00$ m (demonstrado na Figura 59, a seguir);

$a_b = 0.67$ (vide Tabela 13)

$b_b = 0.25$ (vide Tabela 13);

$V_{rh} = 3,5$ m/s.

Figura 71 – Distância da abertura da janela da interseção do nível do solo (H).



Fonte: Lelé (2012), p.106.

O valor dos ventos incidentes na abertura da janela do 1º pavimento da interseção (V_{ref}) corrigido pelo método matemático é igual a 3,58 m/s.

3.3.4 Método matemático – Hospital SARAH Lago Norte

O terreno onde está implantado o Hospital Sarah Lago Norte foi classificado como terreno plano com alguns obstáculos isolados, possuindo os coeficientes 0.15 e 0.10 (b e a , respectivamente), pois, a massa de água na frente do Hospital (Lago Paranoá) não possui 5 quilômetros de extensão, não podendo ser classificado como terreno de classe I. A altura da abertura da janela da interseção em relação ao nível do solo (H) é de 3,84 metros, conforme evidenciada na Figura 72, a seguir. Neste sentido, têm-se o método matemático e os coeficientes estabelecidos para o Hospital SARAH Lago Norte, conforme se segue.

$$V_{ref} = \left[\left(\frac{10}{h} \right)^{b_r} \right] \cdot \left[\left(\frac{H}{10} \right)^{b_b} \right] \cdot \left(\frac{a_b}{a_r} \right) \cdot V_{rh}$$

$$V_{ref} = 3,03 \text{ m/s}$$

(Equação 5)

Onde:

$h = 10$ metros;

$a_r = 0.10$ (vide Tabela 13)

$b_r = 0.15$ (vide Tabela 13);

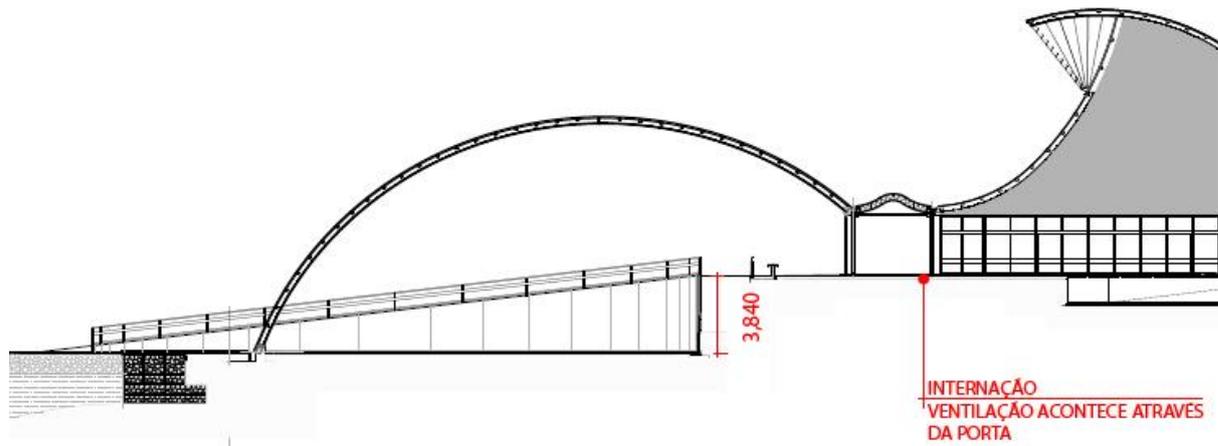
$H = 3,84$ m (demonstrado na Figura 60, a seguir);

$a_b = 0.10$ (vide Tabela 13)

$b_b = 0.15$ (vide Tabela 13);

$V_{rh} = 3,5$ m/s.

Figura 72 – Distância da abertura da janela até o nível do solo (H).



Fonte: Adaptado de Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação (2017).

O valor dos ventos incidentes na abertura da janela da internação (V_{ref}) corrigido pelo método matemático do Hospital SARAH Lago Norte é igual a 3,03 m/s.

3.3.5 Método matemático – Hospital de Apoio de Brasília

O terreno onde está implantado o HAB foi classificado, de acordo com o método matemático, como terreno plano com alguns obstáculos isolados, possuindo os coeficientes 0.15 e 0.10 (b e a, respectivamente). A altura da abertura da janela da internação em relação ao nível do solo (H) é de 0,90 metros, conforme evidenciada na Figura 73, a seguir. Neste sentido, têm-se o método matemático e os coeficientes estabelecidos para o HAB, conforme se segue.

$$V_{ref} = \left[\left(\frac{10}{h} \right)^{b_r} \right] \cdot \left[\left(\frac{H}{10} \right)^{b_b} \right] \cdot \left(\frac{a_b}{a_r} \right) \cdot V_{rh}$$

$$V_{ref} = 2,43 \text{ m/s}$$

(Equação 6)

Onde:

$h = 10$ metros;

$a_r = 0.10$ (vide Tabela 13);

$b_r = 0.15$ (vide Tabela 13);

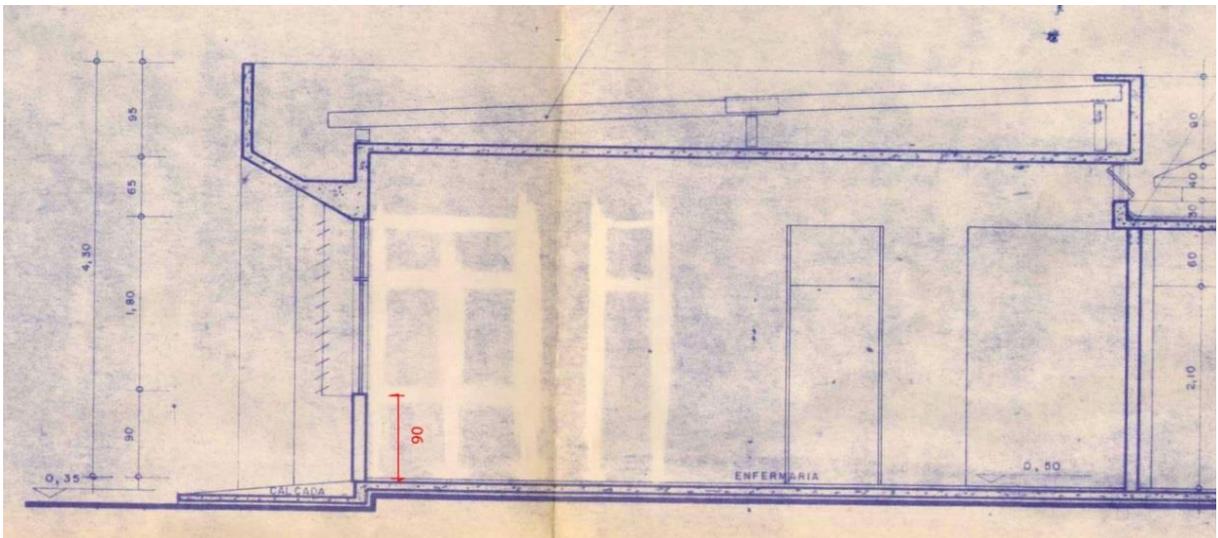
$H = 0,90$ m (demonstrado na Figura 61, a seguir);

$a_b = 0.10$ (vide Tabela 13)

$b_b = 0.15$ (vide Tabela 13);

$V_{rh} = 3,5$ m/s.

Figura 73 – Distância da abertura da janela até o nível do solo (H).



Fonte: SESDF (2017).

O valor dos ventos incidentes na abertura da janela da internação (V_{ref}) corrigido pelo método matemático é igual a 2,43 m/s.

3.3.6 Potencial de ventilação dos estudos de caso por meio do método matemático

De acordo com os métodos (dados do INMET, ficha bioclimática e método matemático) verificados para a definição da velocidade dos ventos nas aberturas dos estudos de caso, os valores obtidos nos estudos de casos de referência foram corrigidos, para análise da QAI dos ambientes hospitalares (Tabela 16).

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tabela 16 – Compatibilização das informações da velocidade nas aberturas dos estudos de caso analisados.

Hospitais/Potencial de Ventilação	Valor fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia	Ficha Bioclimática	Valor corrigido (Método Matemático)
Hospital de Base do Distrito Federal	3,5	3,5	4,04
Hospital da Criança de Brasília José Alencar	3,5	3,5	2,51
Hospital SARAH Centro de Brasília	3,5	1,75	3,58
Hospital SARAH Lago Norte	3,5	3,5	3,03
Hospital de Apoio de Brasília	3,5	3,5	2,43

Pode ser visualizado que o valor fornecido pela ficha bioclimática se demonstrou mais sensível no estudo de caso do Hospital Sarah Centro de Brasília, pois a ficha é o método que melhor expressa a presença de barreiras físicas no entorno, porém como metodologia para análise dos ventos foi adotado os valores fornecidos pelo método matemático, pois é o processo que analisa o tipo de terreno e a altura das aberturas, tendo maior relação com os demais estudos de caso analisados. Os valores fornecidos pelo método matemático e os ângulos de incidência dos ventos predominantes (Tabela 17) serão inseridos no software CFD para realização das simulações.

Tabela 17 – Compatibilização das informações dos estudos de caso analisados.

Hospitais/Inputs do Software CFD	Valor do ângulo de incidência dos ventos predominantes na abertura do ambiente estudado	Valor velocidade dos ventos predominantes corrigida (Método Matemático)
Hospital de Base do Distrito Federal	30°	4,04
Hospital da Criança de Brasília José Alencar	0°	2,51
Hospital SARAH Brasília	90°	3,58
Hospital SARAH Lago Norte	50°	3,03
Hospital de Apoio de Brasília	30°	2,43

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Após o fornecimento dos valores acima, é verificada a velocidade dos ventos e os seus impactos no homem, edifícios e vegetação (Tabela 18) por meio da escala de Beaufort (EVANS; SCHILLER, 1994) e foi concluído que todos os valores obtidos pelo método matemático estão em uma escala aceitável, obtendo somente um leve desconforto (na velocidade dos ventos acima de 3,4 m/s) ao usuário interno das edificações analisadas.

Tabela 18 – Velocidade dos ventos e o seu impacto. Fonte Evans, Schiller (1994).

Graus Beaufort	Descrição	Velocidades		Efeito no homem	Efeito em edifícios e vegetação
		m/s	Km/h		
0	Calma	0.0 - 0.5	0.0 - 1.8	Nenhum	A fumaça sobe verticalmente e a superfície da água é tranquila
1	Ar leve	0.6 - 1.5	2.2 - 5.4	Movimento mal percebido devido ao efeito de resfriamento	A direção do vento é mostrada pela fumaça e não pelos equipamentos
2	Brisa leve	1.6 - 3.3	5.8 - 11.9	O ar fresco é sentido no rosto	Murmurho de folhas
3	Brisa suave	3.4 - 5.4	12.2 - 19.4	Movimentos do cabelo, luz tração de roupa; o desconforto começa.	As folhas e galhos se movem e formam pequenas ondas na água
4	Brisa moderada	5.5 - 7.9	19.8 - 28.4	O cabelo é bagunçado, moderadamente desconfortável	A poeira sobe e os jornais voam
5	Vento regular	8.0 - 10.7	28.8 - 38.5	A força do vento é desconfortável no corpo	As árvores com folhagem começam a se inclinar
6	Vento forte	10.8 - 13.8	38.9 - 49.7	Ouve-se o vento, o cabelo se estende e é difícil andar firmemente	As folhas são destacadas, a areia ou neve sopra na calçada e os grandes ramos se movem
7	Vento muito forte	13.9 - 17.1	50.0 - 61.6	Caminhada contra o vento é igual subir uma inclinação de 1/7	Todas as árvores se encontram completamente movimento
8	Vendaval	17.2 - 20.7	61.9 - 74.5	Geralmente impede o andar, e equivale subir uma inclinação de 1/5	Grandes ramos são dobrados e pequenos galhos quebrados
9	Vendaval forte	20.8 - 24.4	74.9 - 87.8	As rajadas causam desequilíbrio nas pessoas	As estruturas leves e de madeira são danificadas e os têxteis são removidos
10	Tempestades	24.5 - 28.4	88.2 - 102.2	Movimento praticamente impossível	Danos estruturais em edifícios
11	Tempestades fortes	28.5 - 29.0	102.6 - 104.4	Homens e animais são arrastados	Edifícios totalmente destruídos
12	Tempestades muito fortes	> 29.0	> 104.7	Mais forte que qualquer anterior	Mais forte que qualquer anterior

3.4 O software Autodesk CFD

O software escolhido para realizar as simulações computacionais é o Autodesk CFD 2015 – um programa intuitivo para os arquitetos, com fácil operabilidade, boa visualização dos resultados e licença estudantil é gratuita.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

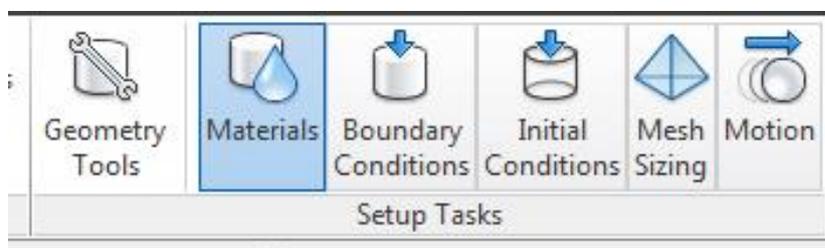
Antes dos procedimentos de simulação e seleção dos parâmetros fez-se necessária a criação de uma geometria tridimensional do objeto em algum *software* específico de desenho técnico, como, por exemplo, os *softwares* do tipo CAD (*Computer Aided Design*), ou de modelagem tridimensional. Assim, a pesquisa em questão fez uso do Autodesk 3DS Max 2014, pois não *era possível* realizar a criação de objetos tridimensionalmente no *software* Autodesk CFD 2015.

Para a modelagem tridimensional no Autodesk 3DS Max 2014 é necessário obter o desenho técnico da planta baixa 2D exportada de um *software* CAD. No caso da presente pesquisa fez-se uso do Autodesk AutoCAD 2014, pois utilizou-se em todo o processo computacional os *softwares* da Autodesk por serem mais fácil de compatibilizar uns com os outros, pela Autodesk possuir vários tutoriais e fóruns na *internet* explicativos de cada *software* disponível para a comunidade estudantil, pela facilidade de operabilidade de todos os programas e por serem gratuitos nas versões estudantis.

Após as exportações dos desenhos e da modelagem realizada, os arquivos tridimensionais foram exportados para o *software* Autodesk CFD 2015.

O CFD conta com seis abas principais (Figura 74), onde se tem o início de todo o processo de caracterização do objeto e das condicionantes ambientais. Na aba *Geometry Tools* é definida as dimensões do domínio. O domínio é definido pela dimensão espacial, onde se tem a inserção das variáveis pressão, temperatura, velocidade, vazão etc. Cóstola e Alucci (2011) aconselham a utilização da extensão de domínio no valor de 10 vezes o valor da altura do edifício em todas as direções, e cinco vezes de altura em relação ao edifício analisado.

Figura 74 – Abas principais do *software* Autodesk CFD.

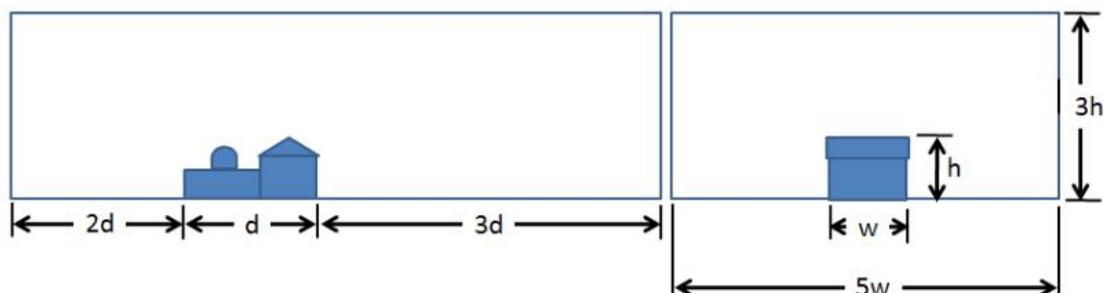


Fonte: Autodesk CFD 2015.

A Autodesk (2016) recomenda que a extensão do campo de domínio deva possuir as seguintes dimensões: altura sendo igual a três vezes a altura do edifício; largura de cinco vezes a largura do edifício, sendo que o objeto deverá ficar localizado no ponto médio da dimensão, e de profundidade igual a seis vezes o tamanho da profundidade do modelo, sendo que na parte

da frente deverá possuir três vezes o tamanho da profundidade e, na parte posterior, duas vezes, conforme evidenciado na Figura 75, a seguir.

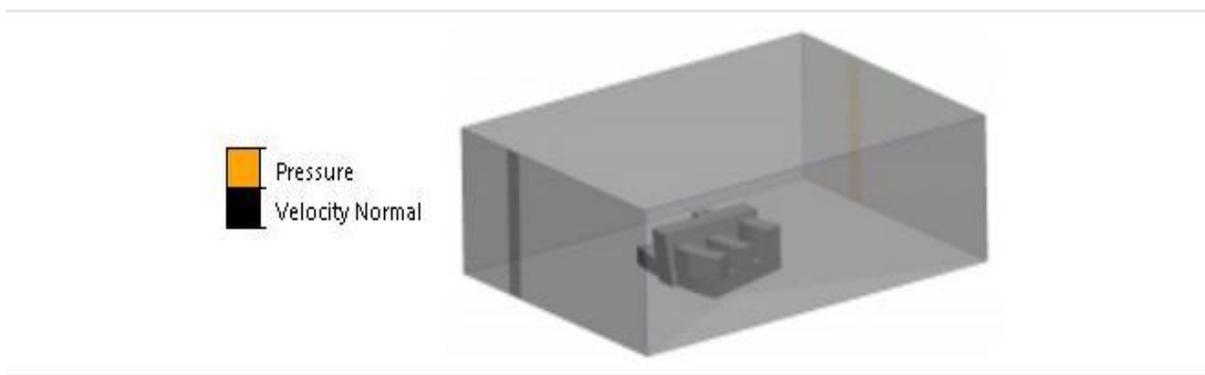
Figura 75 – Dimensionamento ideal para o volume de domínio para o *software* Autodesk CFD.



Fonte: Autodesk (2016).

Posteriormente à definição das dimensões de domínio, é necessária a inserção dos materiais no objeto tridimensional modelado e no domínio. Na camada externa são geralmente colocados os parâmetros do material de ar ou água, pois, no CFD, o objetivo é a simulação de fluídos. Nos materiais do objeto têm-se, em geral, concreto, alvenaria, vidro, madeira, gesso (*dry-wall* ou forro), madeira e poliestireno (pisos).

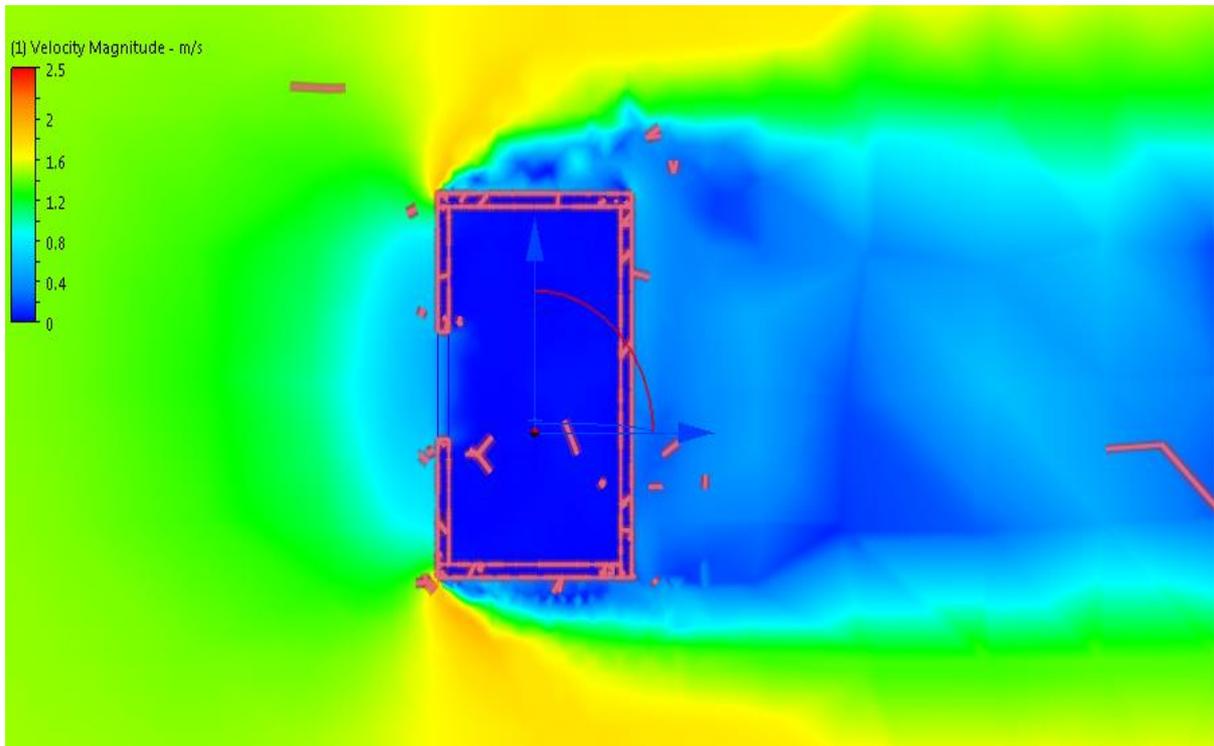
Em seguida, é necessário inserir as *Boundary Conditions* – as propriedades dos *inputs* e *outputs* da camada domínio e do objeto (Figura 76). De acordo com a Autodesk (2016), no volume do domínio, os *inputs* devem ser colocados à velocidade dos ventos desejada na simulação e, para o *output*, deverá ser colocado somente a pressão do ar com o valor 0, e o restante da área deve ser inserida como *slip/symmetry* (que simboliza obstáculos).

Figura 76 – Volume de domínio com as *Boundary Conditions* do Autodesk CFD.

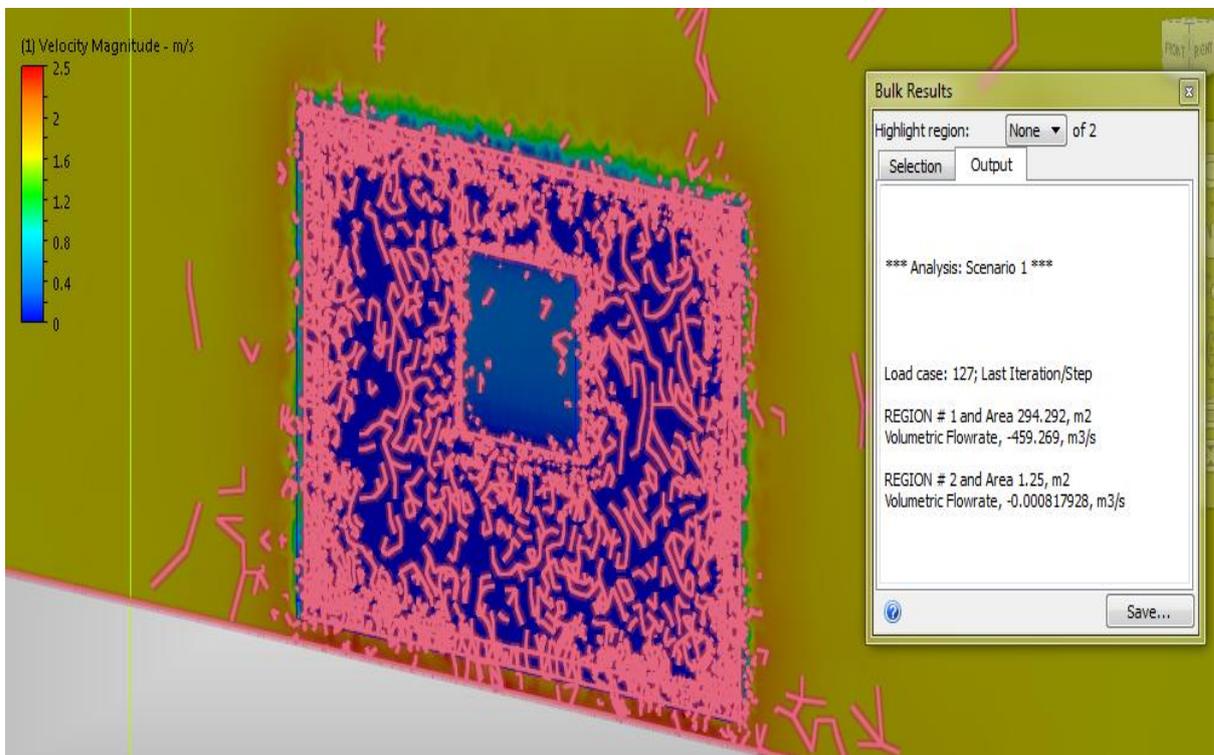
Fonte: Autodesk CFD 2015.

Em seguida têm-se a definição dos sistemas de malhas do domínio e do objeto, pois, de acordo com Sales (2012), o nível de refinamento das malhas determina a precisão dos resultados porque o volume de ar que envolve o objeto pode ser subdividido em pontos menores, ou seja, esta área pode ser refinada, aumentando as informações e precisão da área desejada. O CFD possui um sistema de refinamento automático, onde é necessário somente definir o grau de detalhe da malha que varia de valores entre 0.2 (boa) até 5 (grosseira).

Por último, os parâmetros do “Solve” são colocados, onde são definidos fatores como, por exemplo, o número de iterações que serão necessárias até os resultados convergirem para valores aproximados uns dos outros, se na simulação haverá cálculos de transferência de calor, cálculos de conforto através do PMV (*Predicted Mean Vote*), entre outros. Os resultados são mostrados em escala de cores que variam conforme a legenda definida pelo usuário. Além da velocidade, os fluxos de ar e a taxa de vazão do fluido podem ser fornecidos posteriormente às simulações, conforme evidenciado nas Figuras 77 e 78, a seguir.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOSFigura 77 – Simulação de fluídos no *software* Autodesk CFD.

Fonte: Autodesk CFD 2015.

Figura 78 – Resultado da simulação de vazão de ar no *software* Autodesk CFD.

Fonte: Autodesk CFD 2015.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O *software* ainda fornece uma aba posterior às simulações onde pode ser verificada a vazão de ar que adentra por determinadas aberturas selecionadas, na qual estes dados são utilizados para o cálculo da renovação de ar e para a visualização da QAI.

CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo tem-se a análise das simulações computacionais realizadas nos estudos de caso empreendidos na pesquisa (Hospital de Base do Distrito Federal – HBDF, Hospital da Criança de Brasília José Alencar – HCB, Hospitais SARAH Brasília e SARAH Lago Norte, e Hospital de Apoio de Brasília – HAB) para visualização da vazão de ar modificando a velocidade dos ventos incidentes de acordo com cada método efetuado, para a verificação da Qualidade do Ar Interna (QAI) nos ambientes hospitalares supramencionados.

A velocidade do vento utilizada para as simulações da cidade de Brasília foi definida conforme os dados indicados pelos métodos descritos no capítulo anterior. Nas simulações foram inseridos os ângulos de incidência dos ventos predominantes na área das aberturas do ambiente onde se desejou obter os resultados desejados, para se descobrir a QAI.

4.1 Hospital de Base do Distrito Federal

O primeiro estudo de caso simulado foi o da Enfermaria de quatro leitos do HBDF, com incidência dos ventos predominantes à 30° da abertura do ambiente. Foi criado um cenário com a velocidade dos ventos fornecida pelo método matemático (4,04 m/s). A simulação foi realizada com todas as janelas abertas e a porta de entrada fechada, para demonstrar o máximo de potencial da ventilação que adentra pelas janelas, conforme evidenciado nas Figuras 79, 80, a seguir.

O cálculo da vazão de ar produzido pelo *software* foi dado pelas zonas (*REGION*) de abertura (Figura 81), onde o valor fornecido se dá em metros cúbicos (m³) por segundo (s). A soma de todos os valores positivos (volume de ar que adentra na edificação pelas aberturas selecionadas, onde os valores estão coloridos pela cor azul) é igual à da vazão de ar (*REGION* 2, 4, 6, 8 e 9) por segundo. O resultado da vazão de ar no cenário (velocidade dos ventos de 4,04 m/s) foi de 3,43 m³/s (o equivalente ao somatório dos valores em azul: 0,33; 1,25 e 1,84 m³/s).

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 79 – Resultado em planta da simulação da Enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal.

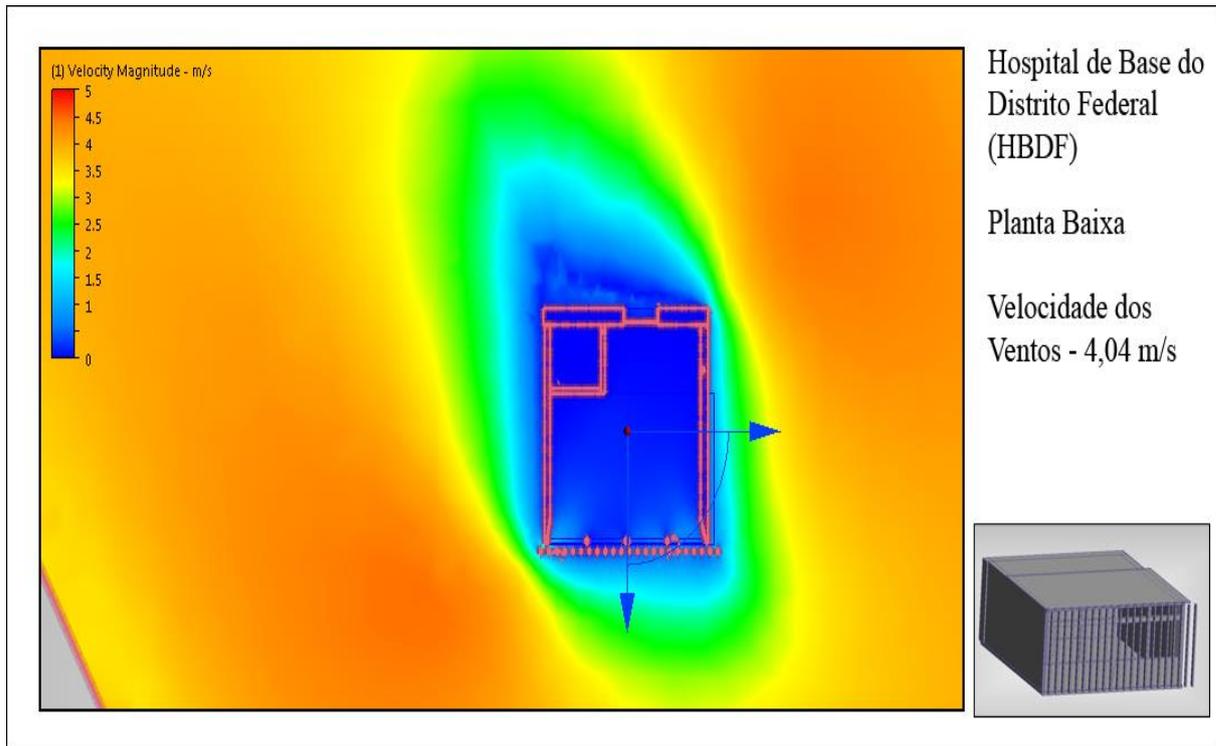
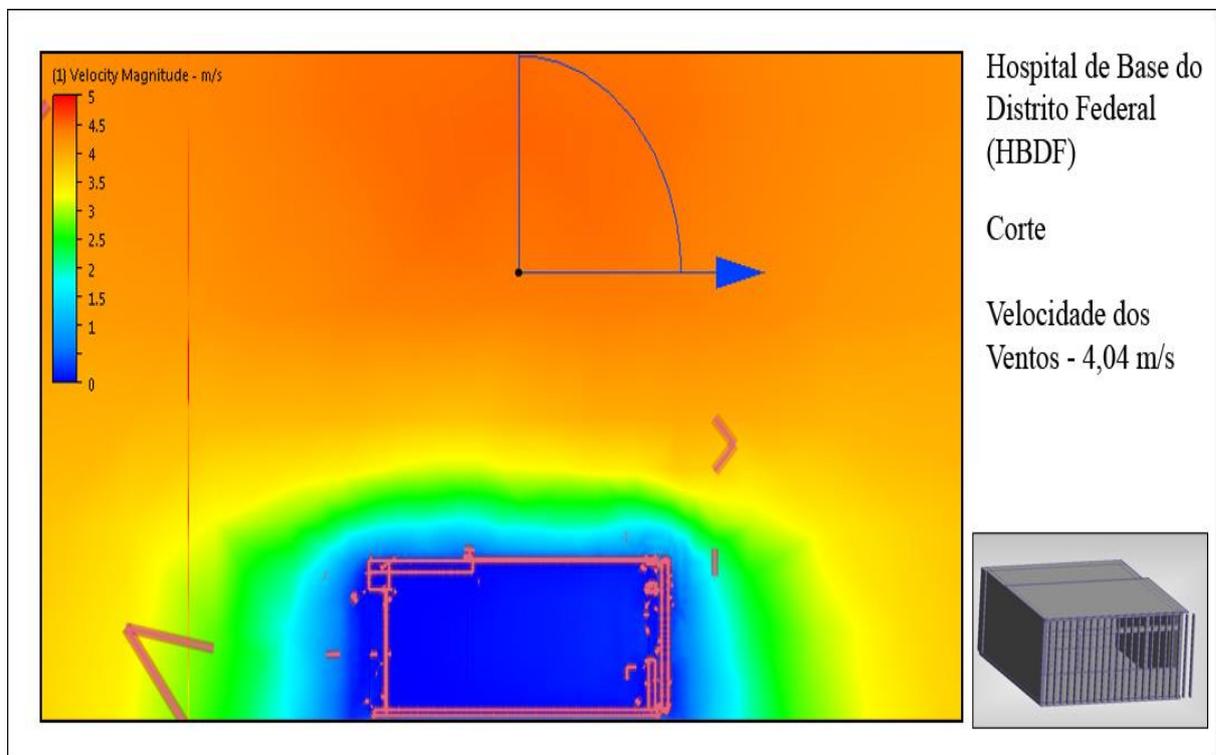
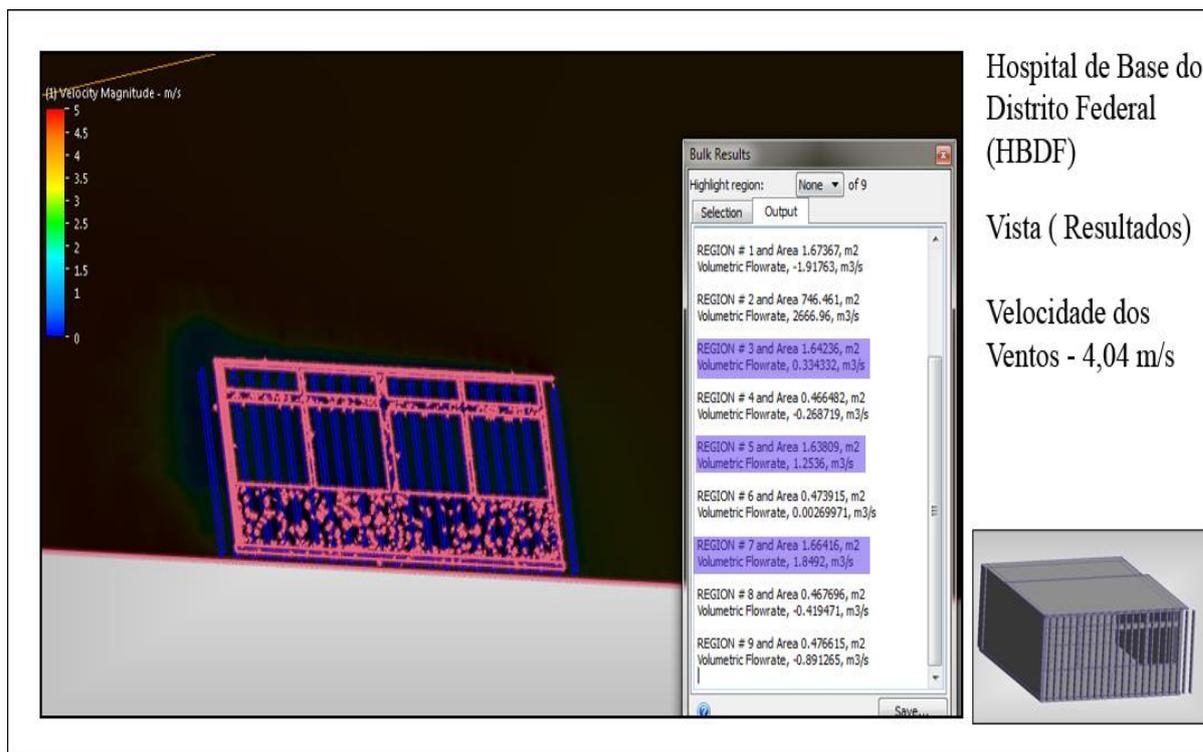


Figura 80 – Resultado em corte da simulação da Enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal.



CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 81 – Resultado em Vista da simulação da Enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal.



4.2 Hospital da Criança de Brasília José Alencar

O segundo ambiente hospitalar simulado é a Unidade de Terapia Endovenosa (UTE) para oito pacientes do HCB, com o ângulo de incidência dos ventos predominantes na abertura do ambiente de 0 grau. Foi criado o cenário com a velocidade dos ventos no valor de 2,51 m/s (método matemático). As simulações se deram com todas as janelas abertas e a porta de entrada fechada, para demonstrar o máximo de potencial da ventilação que adentra pelas janelas, conforme evidenciadas nas Figuras 82, 83 e 84. O resultado da vazão de ar no cenário (velocidade dos ventos de 2,51 m/s) foi de 0,48 m³/s.

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 82 – Resultado em planta da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.

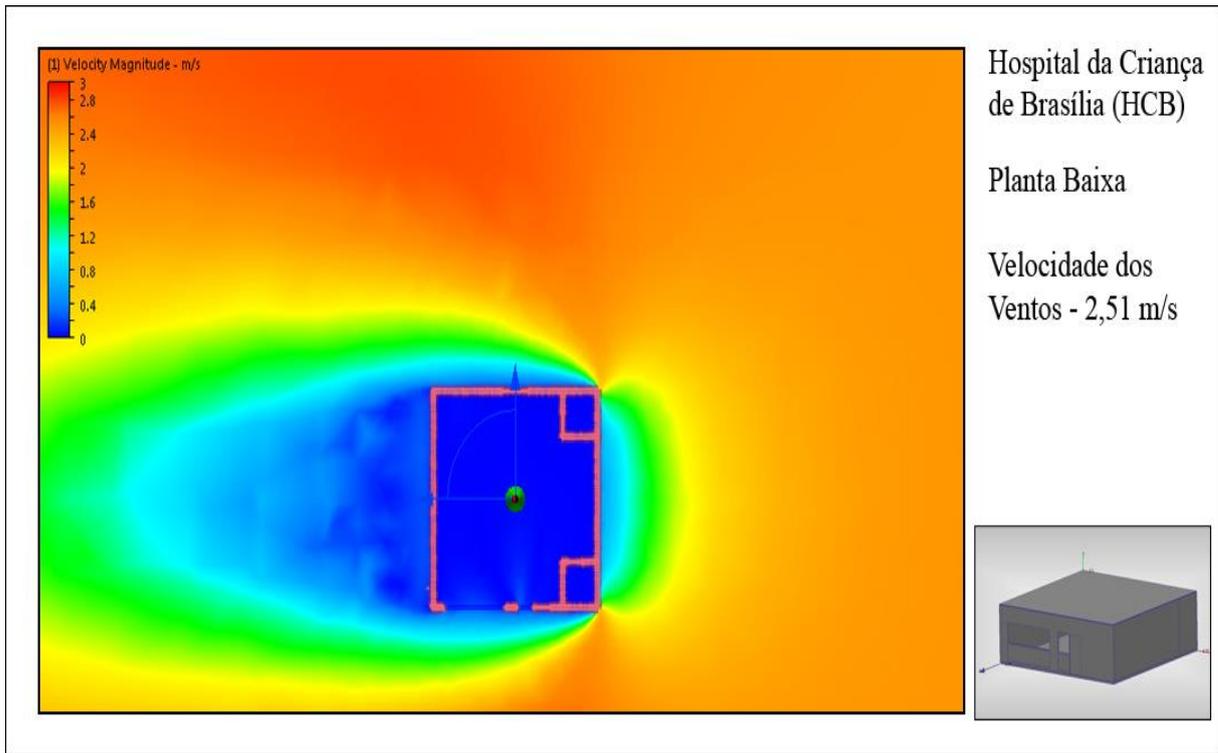
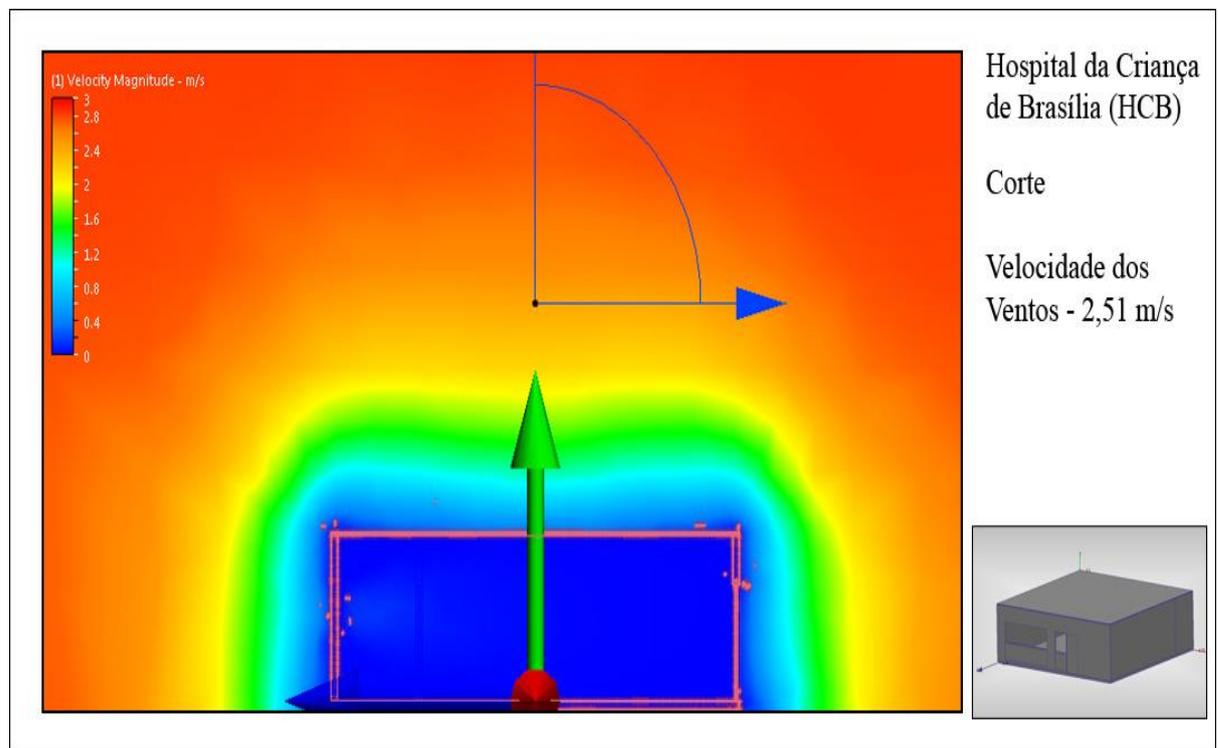
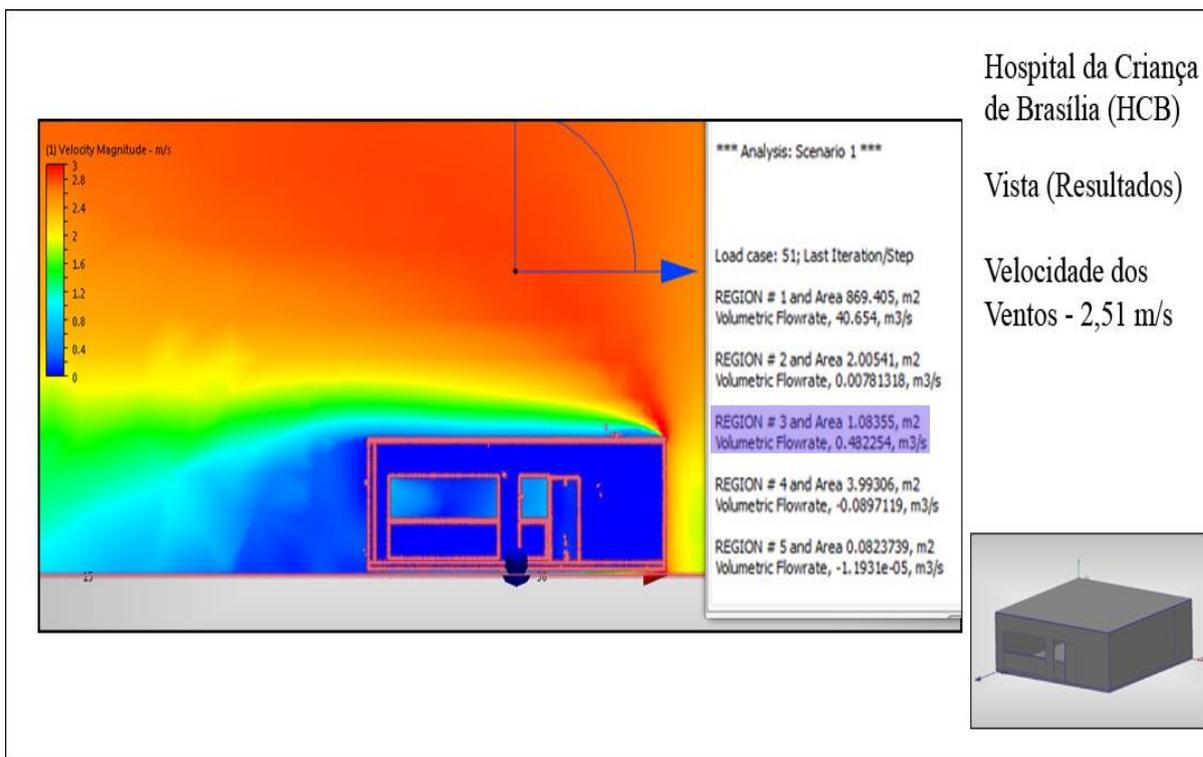


Figura 83 – Resultado em corte da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.



CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 84 – Resultado em Vista da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital da Criança de Brasília José Alencar.



4.3 Hospital SARAH Brasília

O terceiro cenário simulado se deu na Enfermaria do Hospital SARAH Brasília, onde a área simulada possui espaço para nove pacientes. As aberturas da Enfermaria estão colocadas perpendicularmente em relação aos ângulos de incidência dos ventos predominantes, sendo realizada a simulação (com o valor de velocidade dos ventos predominantes de 3,58 m/s) com todo o cenário com as janelas abertas e as portas de entrada fechadas, para demonstrar o máximo de potencial da ventilação que adentra pelas janelas, conforme evidenciadas nas Figuras 85, 86 e 87. O resultado da vazão de ar obtido é de 15,92 m³/s (velocidade dos ventos de 3,58 m/s).

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 85 – Resultado em Planta da Enfermaria do Hospital SARAH Brasília.

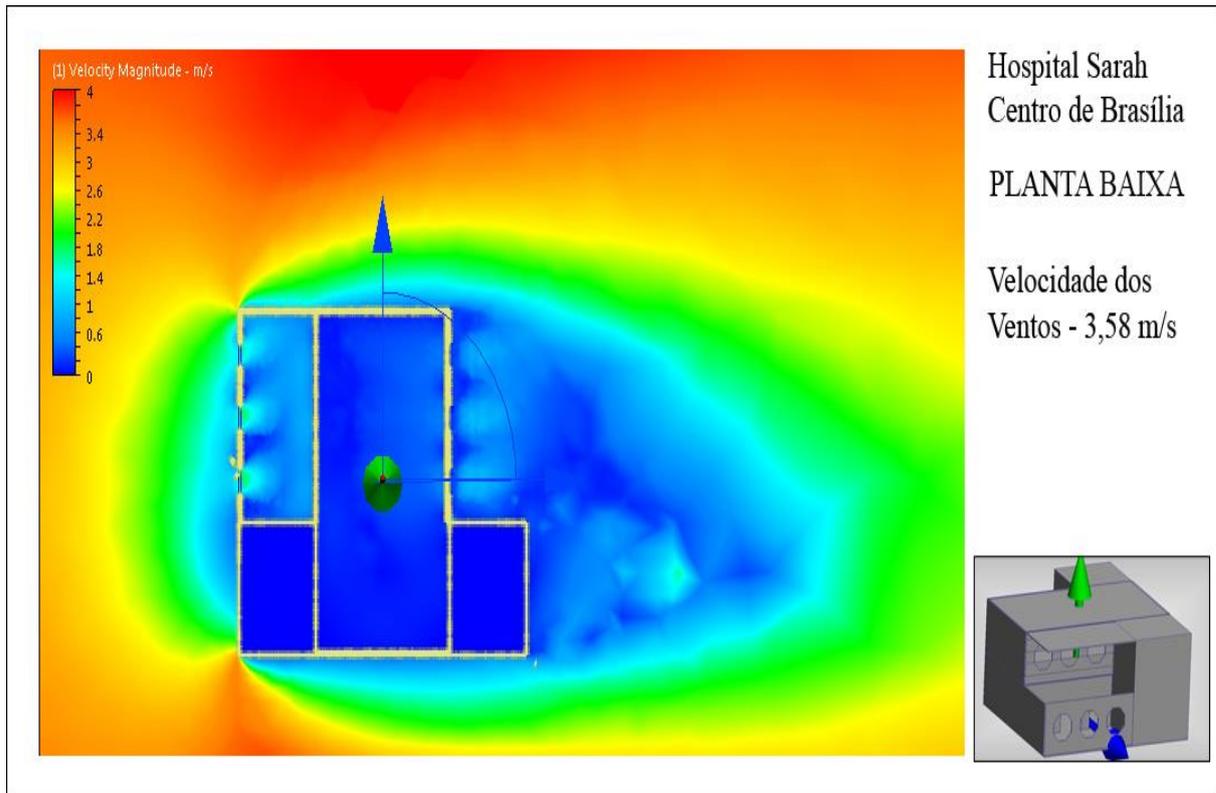


Figura 86 – Resultado em Corte da Enfermaria do Hospital SARAH Brasília.

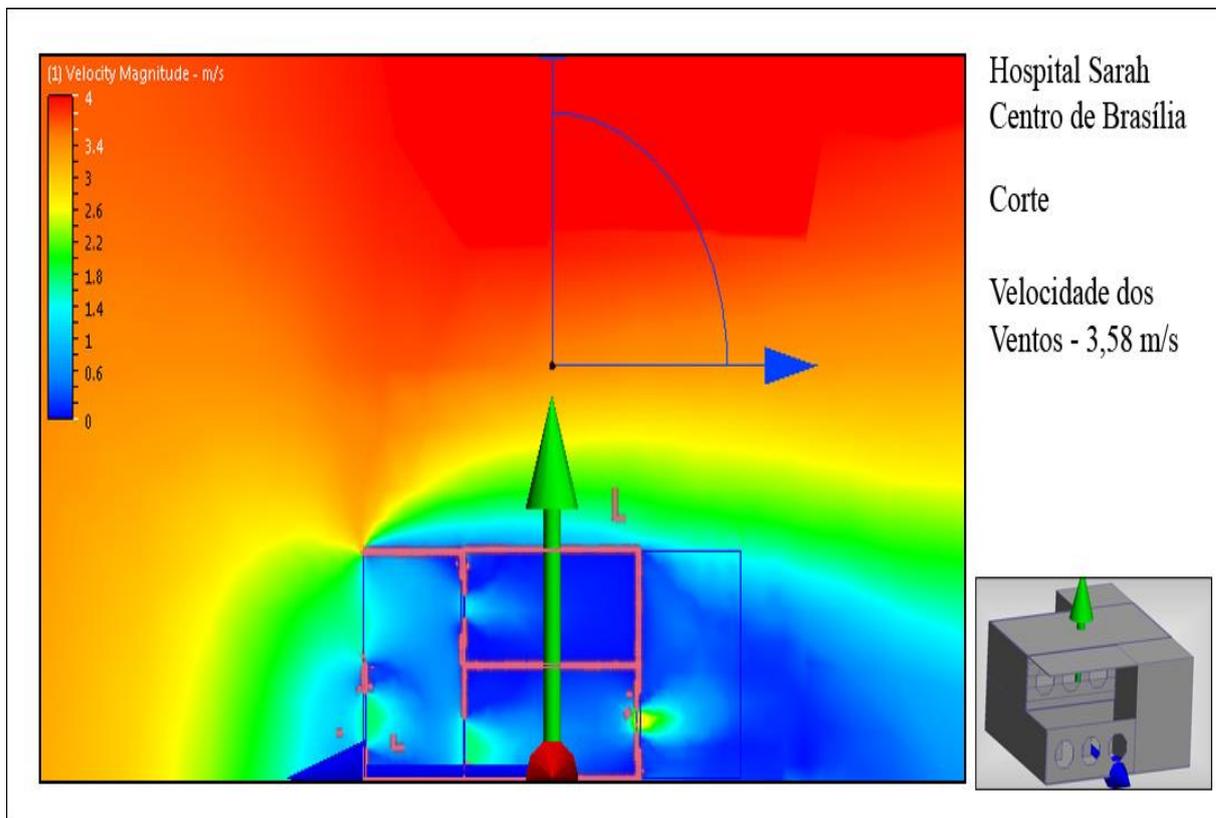
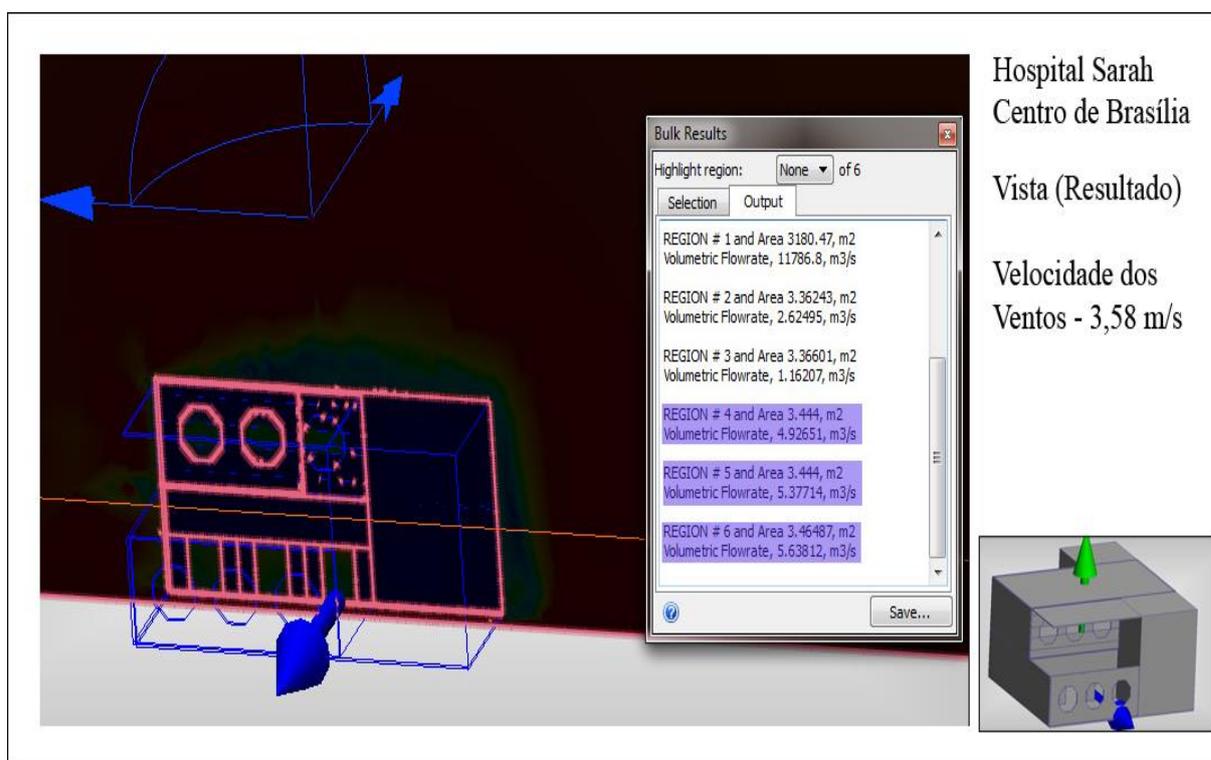


Figura 87 – Resultado em Vista da Enfermaria do Hospital SARAH Brasília.



4.4 Hospital SARAH Lago Norte

O quarto hospital simulado foi a Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte, onde a área simulada possui espaço para 12 pacientes. As aberturas da Enfermaria em relação aos ângulos de incidência dos ventos predominantes apresentavam 50 graus. A simulação foi realizada (velocidade dos ventos incidentes de 3,03 m/s) com os cenários com as janelas abertas e as portas fechadas, para demonstrar o máximo de potencial de ventilação que adentra pelas janelas, conforme evidenciadas nas Figuras 88, 89 e 90. O resultado da vazão de ar foi de 11,54 m³/s (velocidade dos ventos de 3,03 m/s).

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 88 – Resultado em planta da Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.

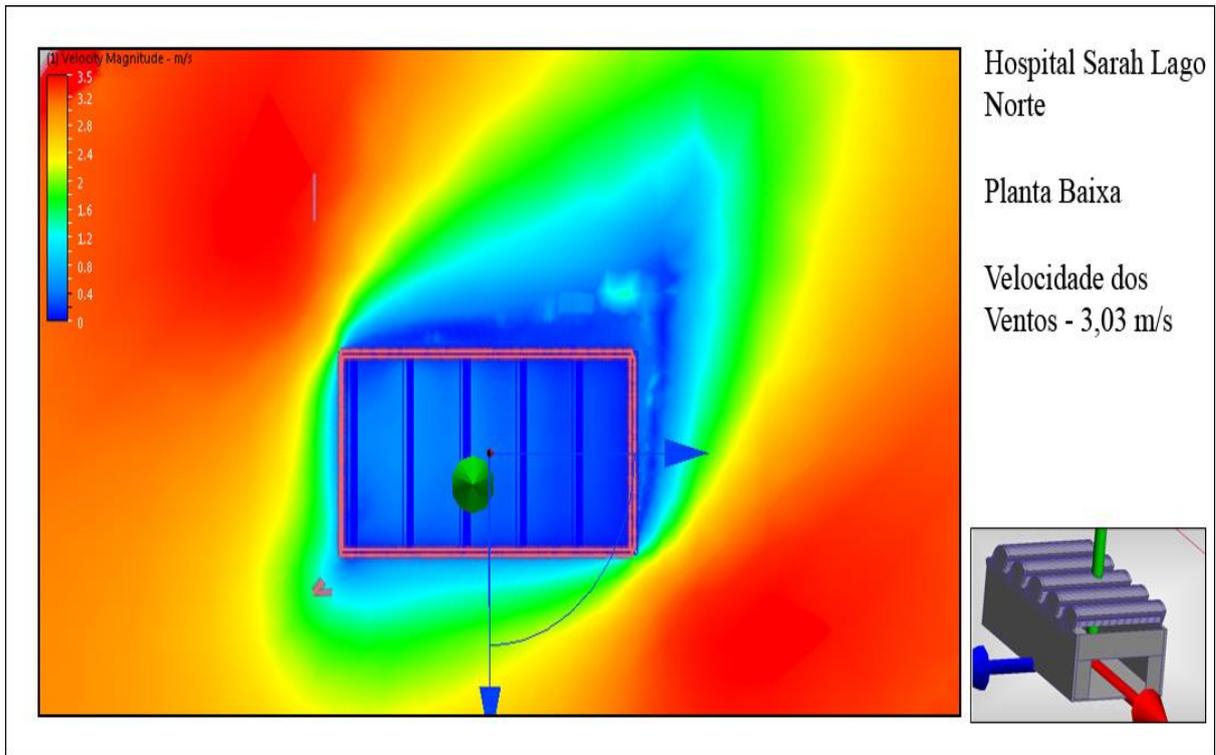
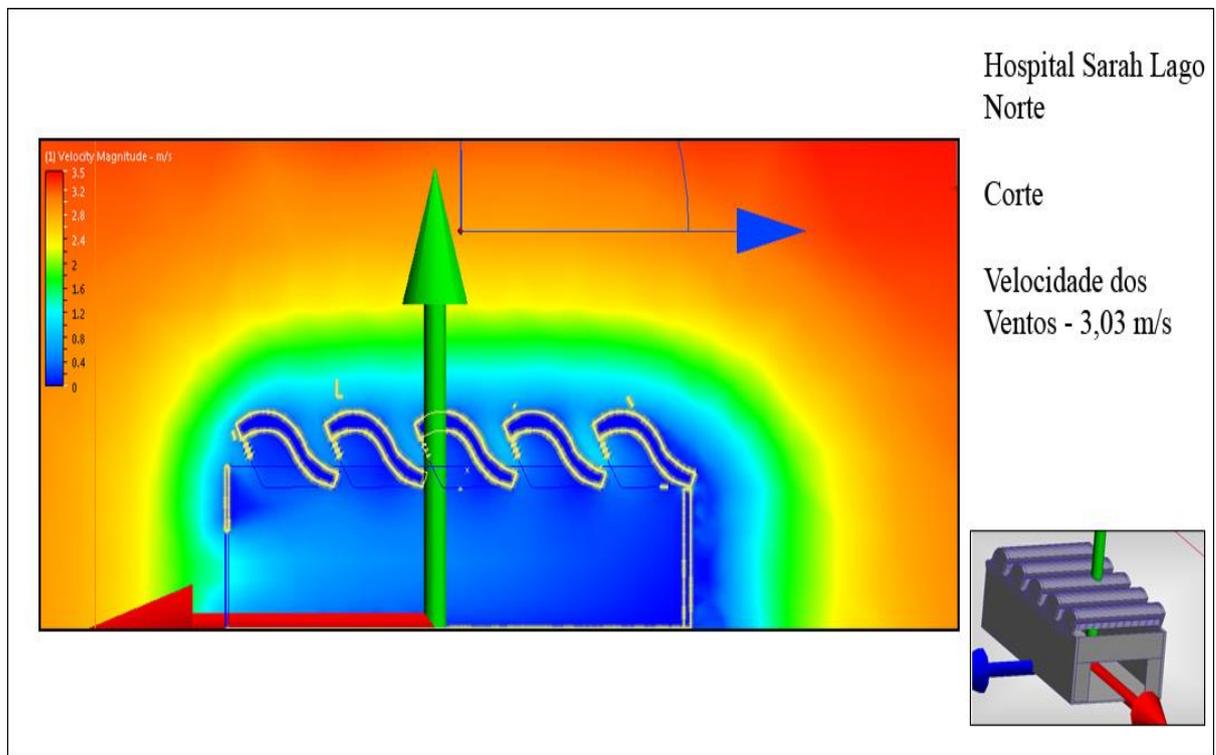
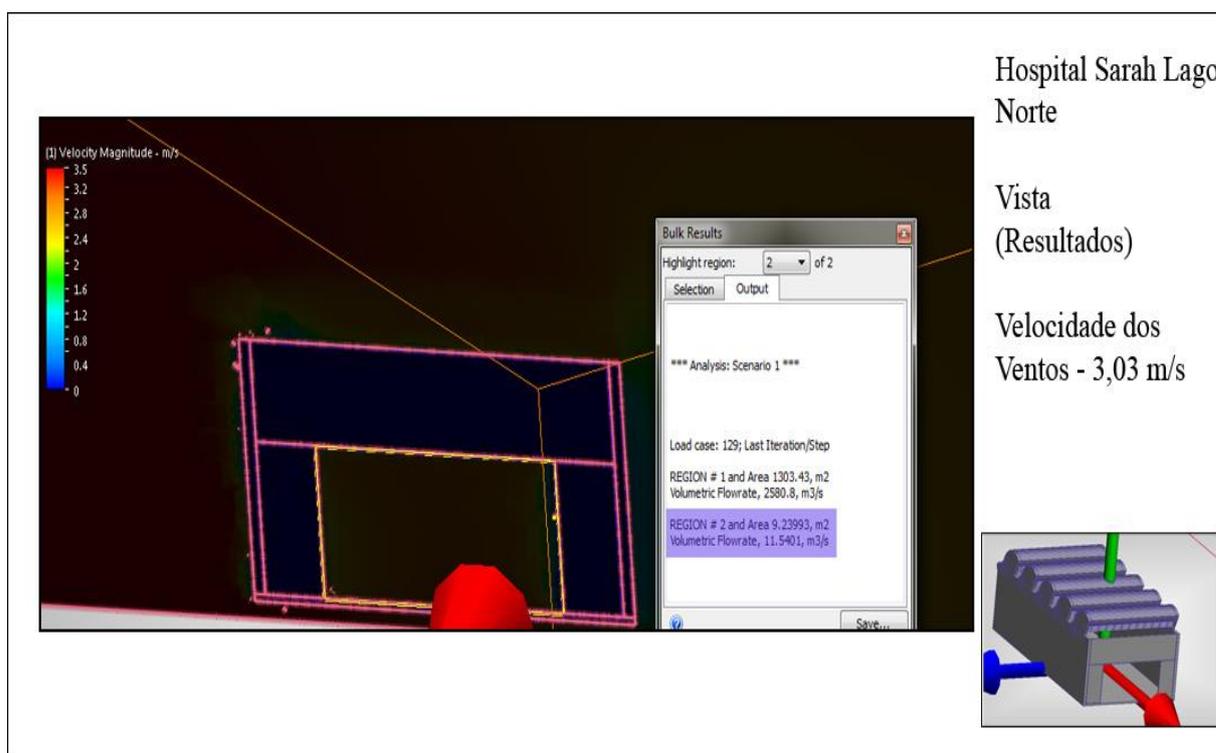


Figura 89 – Resultado em corte da Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.



CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 90 – Resultado em Vista da Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte.



4.5 Hospital de Apoio de Brasília

O quinto e último ambiente hospitalar simulado foi a Enfermaria do HAB, onde a área simulada possui espaço para quatro pacientes. As aberturas da Enfermaria em relação aos ângulos de incidência dos ventos predominantes estão a 30 graus. A simulação (velocidade dos ventos incidentes de 2,43 m/s) foi realizada com o cenário de todas as janelas abertas e a porta de entrada fechada, para demonstrar o máximo de potencial da ventilação que adentra pelas janelas, conforme evidenciadas nas Figuras 91, 92 e 93. O resultado da vazão de ar na simulação foi de 0,48 m³/s (velocidade dos ventos de 3,03 m/s).

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 91 – Resultado em Planta da Enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.

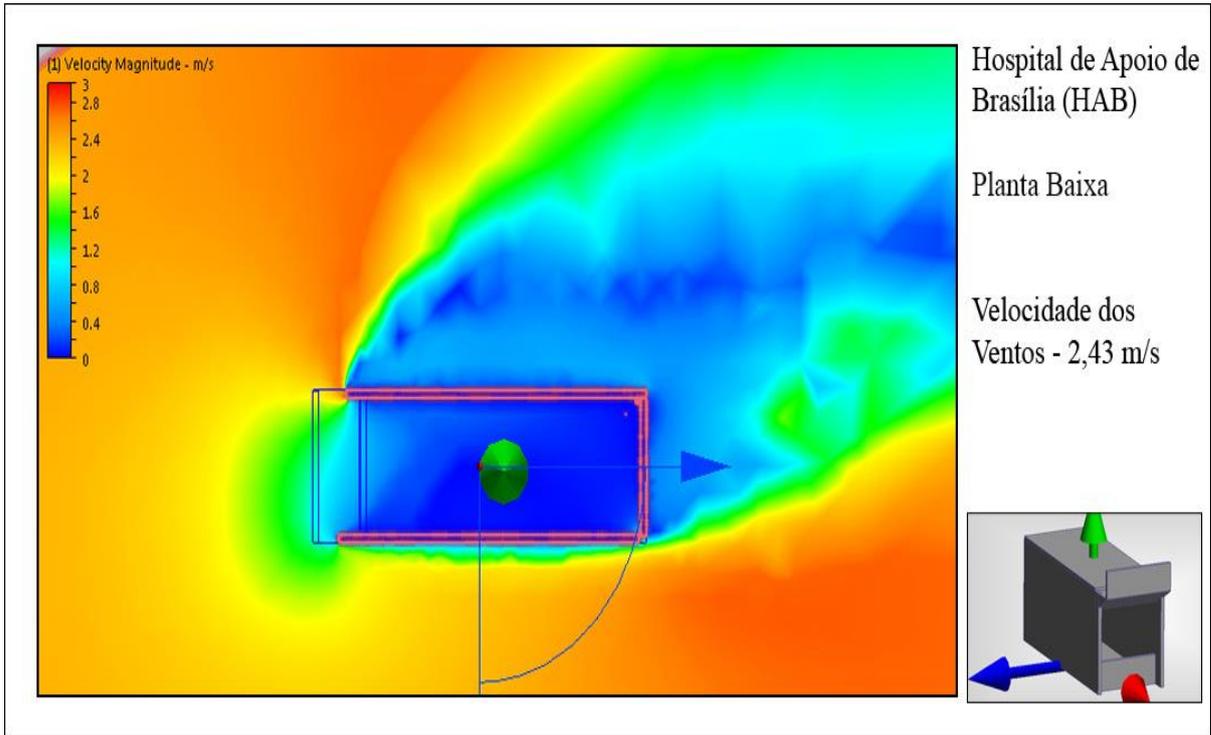


Figura 92 – Resultado em perspectiva da Enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.

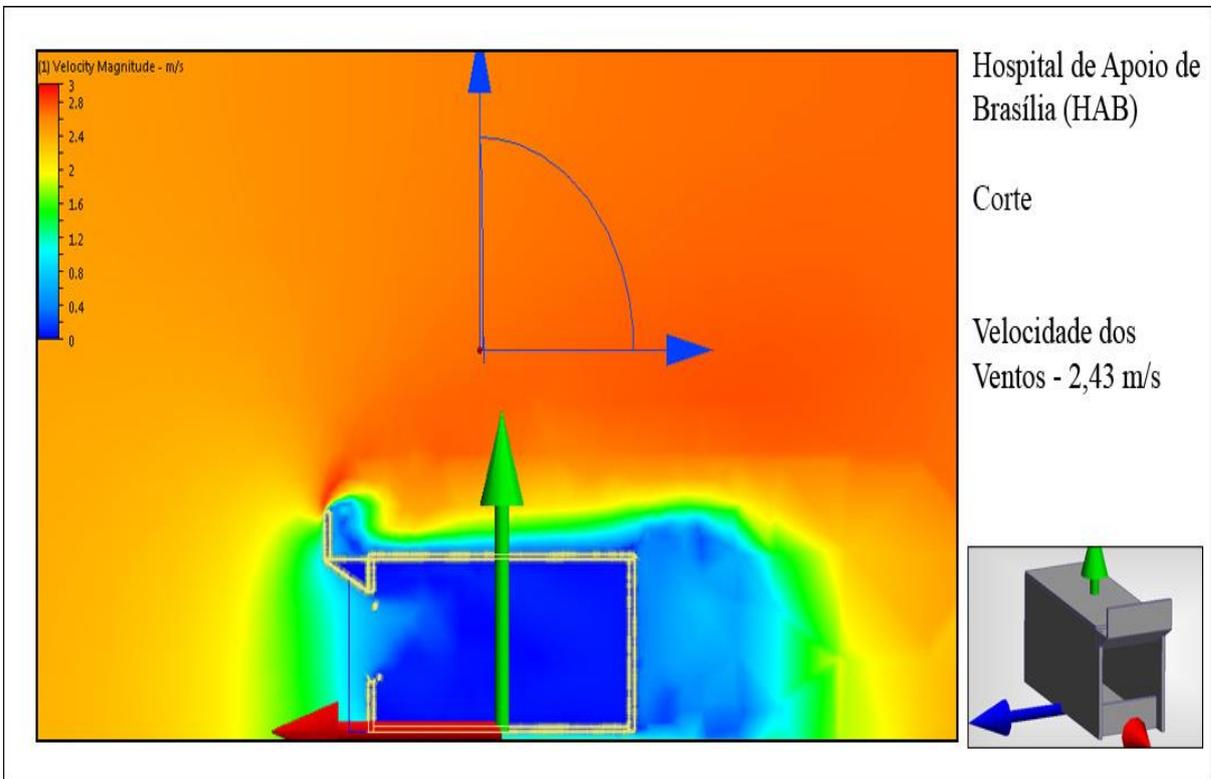
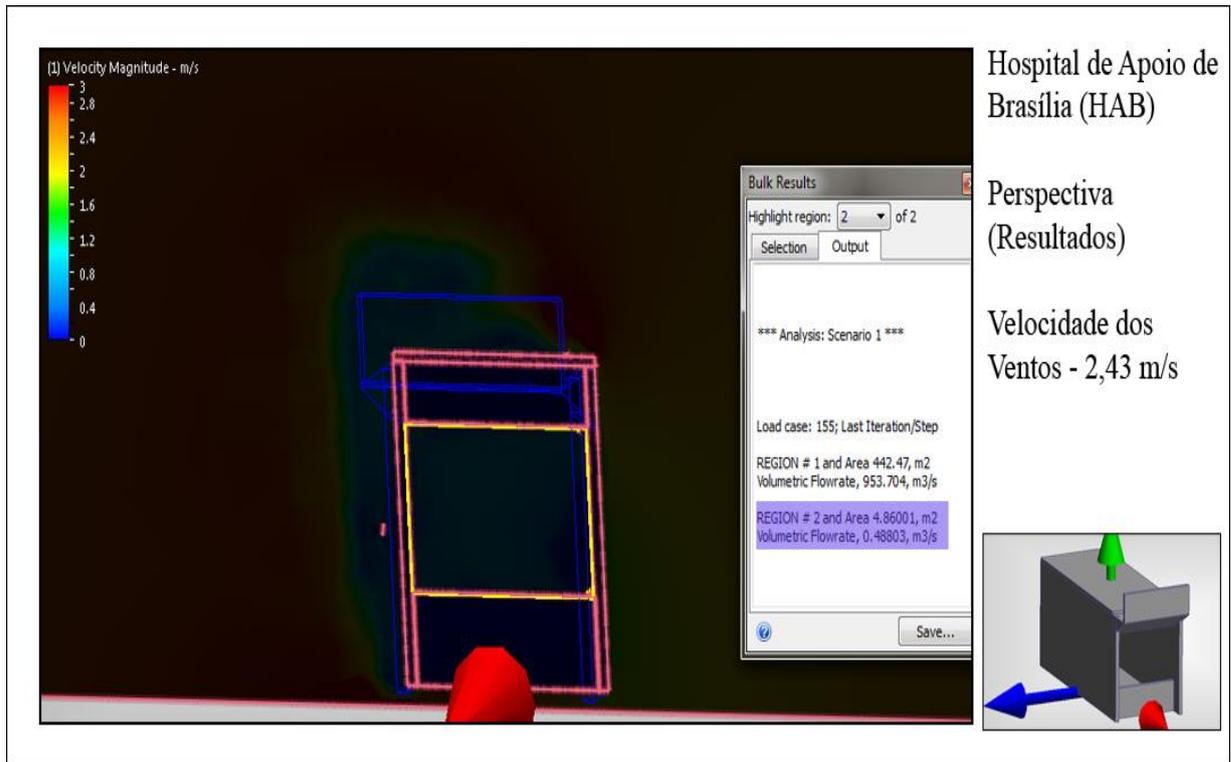


Figura 93 – Resultado em perspectiva da enfermaria do Hospital de Apoio de Brasília.

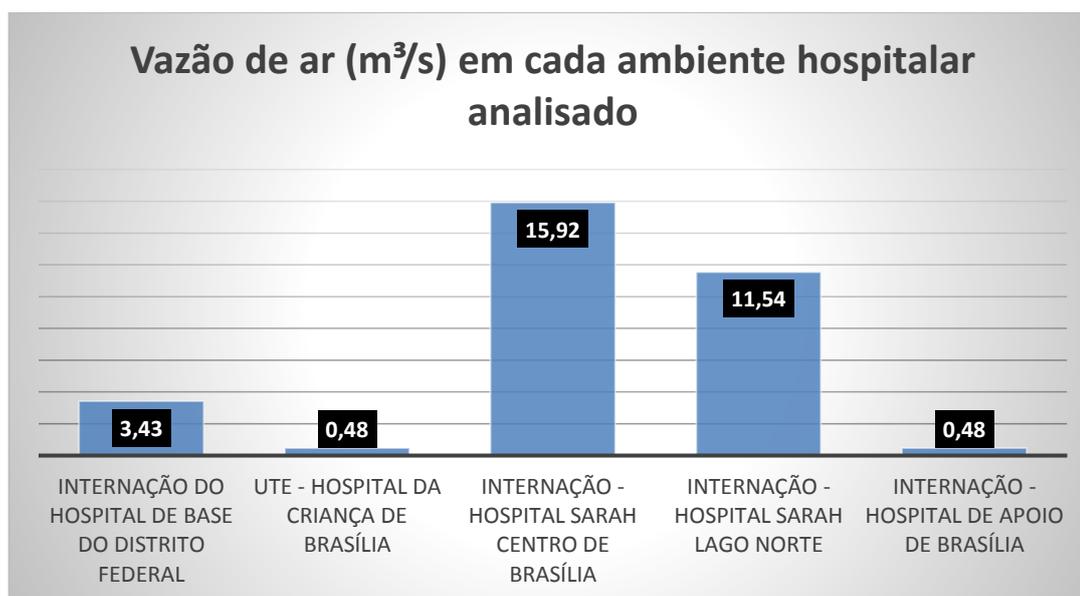


4.6 Análise dos resultados

Posteriormente às simulações realizadas foi elaborado um gráfico de análise de resultados, onde é possível verificar as variações da vazão de ar em cada ambiente estudado, nas diferentes velocidades de ventos incidentes que refletiu na QAI, conforme evidenciado na Figura 94, a seguir.

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 94 – Relação entre a vazão de ar interna (resultados) em todos os estudos de caso.



Por meio da Figura 94 apresentada anteriormente, é possível verificar que as internações dos Hospitais SARAH Brasília e SARAH Lago Norte são os ambientes que possuem as maiores vazões de ar em comparação com os outros estudos de caso aqui analisados.

De acordo com as bibliografias utilizadas na presente pesquisa (ROMERO, 2016a; 2016b; BITENCOURT, 2014; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013; LELÉ, 2012), os hospitais da Rede SARAH são considerados edifícios bioclimáticos, pois têm considerável oferta de ventilação natural e obtenção de sistemas de ventilação eficientes, incluindo a utilização da ventilação cruzada.

Após a verificação e comparação dos dados obtidos por meio das simulações foi possível constatar que os Hospitais SARAH Brasília e SARAH Lago Norte são os únicos ambientes analisados que possuem o sistema de ventilação mais aprimorado com a utilização de ventilação natural cruzada (SARAH Brasília) e extração do ar pelos *sheds* (SARAH Lago Norte), sendo justificado o bom desempenho de tais ambientes.

Os ambientes do Hospital da Criança de Brasília (HCB) e do Hospital de Apoio de Brasília (HAB) simulados obtiveram níveis de vazão do ar abaixo quando comparado com os demais ambientes estudados, pelo fato de estarem localizados nos níveis térreo das edificações e assim possuírem uma grande perda da velocidade dos ventos incidentes estabelecido pelo método utilizado para definição da velocidade dos ventos predominantes (método matemático).

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir tem-se um quadro comparativo (Quadro 6) entre os valores obtidos das simulações, em m³/s, dos Hospitais aqui analisados e os valores mínimos exigidos na bibliografia concernente (ATKINSON et al., 2009) para um ambiente obter uma boa QAI.

Conforme os resultados obtidos no Quadro em questão, foi possível verificar que a UTE do HCB não obteve uma boa QAI advinda da utilização somente da ventilação natural, sendo o único estudo de caso a não atingir o parâmetro mínimo, pois, a vazão de ar que adentra no ambiente é menor do que o exigido (0,06 metros cúbicos por pessoa por segundo), conforme recomendado pela *World Health Organization* (WHO) (ATKINSON et al., 2009).

Quadro 6 – Resultado das simulações CFD dos ambientes hospitalares e a relação com a Qualidade do Ar Interno.

Ambientes	Resultado das Simulações	Valores Mínimos Exigidos (ATKINSON et al., 2009)	Conclusão
Enfermaria do Hospital de Base do Distrito Federal	*3,43 metros cúbicos por segundo dividido por 8 pessoas = 0,42 metros cúbicos por pessoa.	0,06 metros cúbicos por segundo por pessoa.	O ambiente tem uma boa qualidade do ar interna devido à alta taxa de renovação de ar, chegando cerca de sete vezes acima do mínimo recomendado.
Sala de Aplicação Endovenosa do Hospital da Criança de Brasília José Alencar	*0,48 metros cúbicos por segundo dividido por 20 pessoas = 0,024 metros cúbicos por pessoa.	0,06 metros cúbicos por segundo por pessoa.	Renovação de ar no ambiente é menos da metade do mínimo exigido, devido ao ângulo de incidência dos ventos predominantes.
Enfermaria do Hospital SARAH Brasília	*15,92 metros cúbicos por segundo dividido por 8 pessoas = 0,88 metros cúbicos por pessoa.	0,06 metros cúbicos por segundo por pessoa.	O ambiente tem uma excelente qualidade do ar interna devido à alta taxa de renovação de ar, chegando cerca de quatorze vezes acima do mínimo recomendado.
Enfermaria do Hospital SARAH Lago Norte	*11,54 metros cúbicos por segundo dividido por 8 pessoas = 0,48 metros cúbicos por pessoa.	0,06 metros cúbicos por segundo por pessoa.	O ambiente tem uma excelente qualidade do ar interna devido à alta taxa de renovação de ar, cerca de oito vezes acima do mínimo recomendado.
Hospital de Apoio de Brasília	*0,48 metros cúbicos por segundo dividido por 8 pessoas = 0,06 metros cúbicos por pessoa.	0,06 metros cúbicos por segundo por pessoa.	O ambiente apresenta uma boa qualidade do ar interno, devido à taxa de renovação de ar ser o mínimo recomendado.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

No Brasil infelizmente não existem normas e legislações que estabeleçam os níveis mínimos para a criação de uma boa qualidade do ar em ambientes internos por meio do uso exclusivo da ventilação natural, sendo necessária a observação de referência bibliográfica aplicada fora do País, bem como aquela recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Porém verifica-se que o edifício hospitalar ao decorrer do tempo evoluiu devido a incorporação da ventilação e iluminação natural, fazendo entender que os aspectos ambientais contribuem para melhoria do serviço dos hospitais, assim como para uma boa qualidade do ar interna, pois diversos estudos científicos comprovam os benefícios da QAI nos hospitais, tornando-os assim mais eficientes e eficazes.

É demonstrado também neste trabalho que as altas taxas de renovação de ar por meio da ventilação natural se opõem aas altas concentrações de agentes transmissores de patologias dispersas no ar, sendo uma das estratégias utilizadas para o combate as infecções hospitalares.

A utilização da ventilação natural em ambientes de saúde pode combater as infecções hospitalares, desde que observados alguns regramentos como os níveis mínimos de vazão e renovação de ar estabelecido pelas normas e se o ar externo possui uma boa qualidade, por exemplo.

Os resultados dos estudos mostraram que a utilização da estratégia de ventilação natural em ambientes que possuam a presença de pacientes pode ser eficaz, diminuindo, assim, o consumo de energia elétrica proveniente dos aparelhos de climatização artificial, o que contribui para a eficiência energética. Logo, é possível afirmar que em ambientes hospitalares, onde há um grande consumo de energia elétrica, o uso da ventilação natural deveria ser mais incentivado e estudado.

Dessa forma existem vários métodos para a definição dos potenciais de ventilação para inserir nas simulações computacionais. Na pesquisa em questão, fizeram-se uso dos valores divulgados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com base nas normas climatológicas, na ficha bioclimática e no método matemático, no qual é levado em conta fatores de terreno e altura da abertura do ambiente.

Pelas simulações computacionais aqui utilizadas foi possível verificar que os estudos de caso 01, 03, 04 e 05 (Hospital de Base do Distrito Federal – HBDF, Hospital Sarah Centro – Brasília, Hospital Sarah Lago Norte – Brasília e Hospital de Apoio de Brasília – HAB, respectivamente) obtiveram boa qualidade do ar por meio da simulação *Computacional Fluid*

Dynamics (CFD). O estudo de caso 02 (Hospital da Criança de Brasília José Alencar– HCB) não obteve uma boa qualidade do ar. As possíveis causas são pelo fato do ângulo entre a incidência dos ventos predominantes e as aberturas do ambiente simulado (Unidade de Terapia Endovenosa – UTE) ser de 0 grau.

Entretanto, vê-se que um bom projeto de arquitetura está conectado com os conceitos bioclimáticos, que envolvem: estudos de implantação, dos ventos e solar, que influenciam na Qualidade do Ar Interna (QAI) e no conforto ambiental. Assim, no estudo de caso 02 verificou-se que o ambiente da UTE não obteve uma boa QAI pelo fato de que as aberturas não possuem boa localização em relação aos ventos predominantes.

Na temática urbana, verifica-se que para inserção da ventilação natural em ambientes internos é necessário a análise de barreiras no entorno, como no estudo de caso do Hospital Sarah Centro, onde foi explicitado que havia edifícios que causavam barreiras de vento, prejudicando a oferta de ventilação natural.

Ainda no âmbito do urbano, é requerido os dados da qualidade do ar externa para

Os resultados obtidos em todas as simulações CFD foram comparados com os valores mínimos estabelecidos pela bibliografia recomendada para a verificação da QAI nos ambientes internos hospitalares propostos para a análise.

Verificou-se ainda a ocorrência de fatores que podem influenciar na qualidade interna em ambientes naturalmente ventilados, tais como: a utilização da ventilação cruzada, área e orientação das aberturas; a velocidade dos ventos predominantes; e, a concentração de pessoas no ambiente estudado.

5.1 Propostas para trabalhos futuros

- Verificação da porcentagem de ambientes existentes em hospitais que possam obter a troca da climatização artificial pela ventilação natural, sem perder a qualidade do ar interna, culminando, assim, em hospitais com maior eficiência;
- Verificação *in loco* da QAI nos ambientes naturalmente ventilados dentro dos hospitais que tenham uma taxa de ventilação maior do que estabelecidos pela bibliografia existente, para comprovação da relação entre a QAI e as taxas de ventilação natural;
- Verificação *in loco* das taxas de ventilação interna nos ambientes naturalmente ventilados dentro dos hospitais, além da realização de comparação com as taxas de ventilação obtidas pelo *software* CFD, a fim de comprovar os resultados aqui obtidos pelos *softwares* de simulação de fluídos;

- Aprofundar os estudos na Rede de Hospitais Sarah, para verificar se seus hospitais são mais energeticamente eficientes do que outros hospitais de mesmo porte e nível de atendimento, em termos de consumo de energia por m², uma vez que os hospitais daquela rede tendem a ser mais espaçosos, porém, possuem maior oferta de ventilação e iluminação natural;
- Estudar sobre a possibilidade de criação de ambientes hospitalares de classificação crítica e restrita (Unidades de Terapia Semi-Intensiva – UTSI, por exemplo) que possam fazer o uso da ventilação natural, tornando, assim, ambientes mais eficientes, sustentáveis e humanizados, uma vez que a ventilação natural ajuda a combater os agentes biológicos causadores da infecção hospitalar; e
- Com os fatores que influenciam na QAI aqui demonstrados, promover um estudo capaz de verificar quais os fatores que mais modificam a qualidade do ar e quais são os que menos influenciam, a fim de estabelecer uma escala de utilização na hora da criação de projetos de arquitetura.

Assim, acredita-se que estudos como este que demonstram os benefícios do uso da ventilação natural como estratégia passiva para obtenção da qualidade do ar interna, contribuem para a promoção de ambientes de saúde mais humanizados, sustentáveis e eficientes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7256**: Tratamento de ar em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EASs) – Requisitos para projetos e instalações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 16401-3**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008.

ADAMU, A.; PRICE, A. **The design and simulation of Natural Personalised Ventilation (NPV) system for multi-bed hospital wards**. Buildings, 2015.

AGUIAR, J. R. C.; ARAÚJO, E. P. Habitações coletivas para pessoas portadoras de câncer. **Arquitetura & Saúde**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 6-9, maio 2013.

_____; SILVA, C. F. A análise da taxa de renovação de ar em unidades de terapia oncológica naturalmente ventiladas no contexto climático de Brasília – Brasil. In: **3º Congresso Sudamericano de Simulación de Edificios**, Buenos Aires, 2016.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. Atlanta, 2009.

_____. **ASHRAE 62. Ventilation for acceptable Indoor Air Quality**. Atlanta, 1999;

_____. **HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics**. 2. ed. Atlanta, 2013.

AMORIM, C. N.; FERNANDES, J. **Tecnologia e sustentabilidade para a humanização dos edifícios hospitalares**. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011. v. 1.

ARAÚJO, E. P. **Manual prático de procedimento em estabelecimentos assistenciais de saúde**. Brasília: Kiron, 2013.

_____. **Notas de Aula**. 2016a. Especialização em Arquitetura de Sistemas de Saúde, Universidade Católica de Brasília, Brasília.

_____. Retrofit no bloco de internação do Hospital de Base do Distrito Federal Brasília – DF – Brasil. In: **IV Congresso ABDEH**, Brasília, 2010.

_____. **Visita aberta**: contribui para um hospital mais humanizado!. Brasília, 2009.

_____. **Tecnologia e sustentabilidade para a humanização dos edifícios hospitalares**. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2016b.

ATKINSON, J.; CHARTIER, Y.; PESSOA-SILVA, C.; JENSEN, P.; LI, Y.; SETO, W. **Natural ventilation for infection control in health-care settings**. Genebra: World Health Organization, 2009.

AUTODESK. WorkShop de Sustentabilidade. Simulation CFD. 2016. Disponível em: <<https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/simulation-cfd>>. Acesso em: 29 out. 2016.

AZEVEDO, F. A. **Avaliação de estratégias para uso racional de energia em hospital**. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2011/Artigos/Art_TCC_019_2011.pdf>. Acesso em: 29 out. 2016.

BICALHO, F. C. **A Arquitetura e a Engenharia no controle de infecções**. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2010.

BIOCLIMATISMO. Estratégias bioclimáticas. **Blog**, 2017. Disponível em: <<http://bioclimatismo.com.br/arquitetura-bioclimatica/estrategias-bioclimaticas/>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

BITENCOURT, F.; COSTEIRA, E. **Arquitetura e Engenharia Hospitalar**: planejamento, projetos e perspectivas. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2014.

BITENCOURT, L.; CÂNDIDO, C.. **Introdução a ventilação natural**. 4. ed. Maceió: Edufal, 2015.

BODE, K.; GONÇALVES, J. C. S. **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada n. 9, de 16 de janeiro de 2003**. Brasília, 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RE_09_2003.pdf/f4af80d4-8516-4f9c-a745-cc8b4dc15727>. Acesso em: 27 ago. 2016.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada n. 50, de 21 de fevereiro de 2002**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Brasília, 2002. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/res0050_21_02_2002.html>. Acesso em: 27 ago. 2016.

_____. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria n. 2.616, de 12 de maio de 1998**. Brasília, 1998. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt2616_12_05_1998.html>. Acesso em: 27 ago. 2016.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 3, de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 382, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

BRASÍLIA. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal Brasília Ambiental. **Monitoramento da Qualidade do Ar no Distrito Federal**. Brasília, 2016.

_____. Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal. **Hospital de Apoio de Brasília**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.saude.df.gov.br/sobre-a-secretaria/hospitais-e-regionais/270-hospital-de-apoio-de-brasilia.html>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista v. 8, n. 16, p. 40-55, jan./mar. 2014. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/actageo/article/view/1384/1480>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

CARVALHO, A. P. A. **Introdução à Arquitetura Hospitalar**. 1. ed. Quarteto, 2014.

COBERLLA, O; YANNAS, S.. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, H. Reabilitação é área promissora para profissionais de Educação Física. In: **Portal UnB**, Brasília, 19 de maio de 2011. Disponível em: <<http://unb2.unb.br/noticias/unbagencia/unbagencia.php?id=5101>>. Acesso em: 28 jan. 2017.

CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M. P. Aplicação de CFD para cálculo de coeficientes de pressão externo nas aberturas de um edifício. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 145-58, jan./mar. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n1/a10v11n1.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT. **Índice de cidades verdes da América Latina:** avaliando o desempenho ambiental das principais cidades da América Latina. Munique, 2010.

EVANS, M.; SCHILLER, S.. **Diseño bioclimático y arquitectura solar**. Buenos Aires: FADU-UBA. 1994

FERRER, M. **Manual da Arquitetura das interações hospitalares**. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2012.

FIORENTINI, D. M. F.. **Arquitetura na prevenção de infecção hospitalar**. Brasília: Ministério da Saúde; Secretaria de Assistência à Saúde, 1995. (Série Saúde & Tecnologia – Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde)

GIVONI, B. **Man, climate and Architecture**. Amsterdam; London; New York: Elsevier Publishing Company Limited, 1969.

GOÉS, R. **Manual prático de Arquitetura Hospitalar**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

GOOGLE. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/>>. Acesso em: 28 jan. 2017.

HEYWOOD, H. **101 regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. São Paulo: G. Gili, 2015.

HOSPITAL DA CRIANÇA DE BRASÍLIA JOSÉ ALENCAR – HCB. 2017. Disponível em: <<http://www.hcb.org.br/>>. Acesso em: 28 jan. 2017.

ILOCIS. **Workplace Health and Safety Information**. 2016. Disponível em: <<http://www.ilocis.org/documents/chpt44e.htm>>. Acesso em: 28 out. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais Climatológicas Brasileiras**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>;

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Energy and Air Pollution**. Paris, 2016.

JO, S. et al. Air migration from negative pressure isolation ward due to different door opening speed and human movement. In: **The 3rd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association**, 2016.

KWOK, A. G.; GRONDZIK, W. R. **The Greenstudio Handbook. Environmental strategies for schematic design**. Architectural Press, 2007.

LACERDA, R. A.; EGRY, E. Y. As infecções hospitalares e sua relação com o desenvolvimento da assistência hospitalar: reflexões para análise de suas práticas atuais de controle. **Rev. Latin-Amer. Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 5, n. 4, p. 13-23, out. 1997. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rlae/v5n4/v5n4a03.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW, 2013.

LELÉ, J. F. L. **Arquitetura: uma experiência na área da saúde**. Romano Guerra, 2012.

LUKIANCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações**. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MALKIN, J. **A visual reference for Evidence-Based Design**. 1. ed. San Diego: The Center for Health Design, 2008.

MASCARELLO, V. L. D. **Princípios bioclimáticos e princípios de Arquitetura Moderna – Evidências no edifício hospitalar**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5747/000519282.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

MEMARZADEH, F.; XU, W. Role of Air Changes per Hour (ACH) in possible transmission of airborne infections. **Building Simulation**, n. 5, p. 15-28, 2012. Disponível em: <<https://www.orf.od.nih.gov/PoliciesAndGuidelines/Bioenvironmental/Documents/RoleofACHinTransmissionofAirborneInfections508.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

MIQUELIN, L. C. **Anatomia dos edifícios hospitalares**. São Paulo: CEDAS, 1992.

MOHAMMED, M. A.; DUDEK, S. J. M.; HAMZA, N. Simulation of natural ventilation in hospitals of semiarid climates for harmattan dust and mosquitoes: a conundrum. In: **The 13th**

Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, 26 a 28 de agosto de 2013. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2340.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2016.

MONTEIRO, C. A.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MYRUP, M. L.; OLESEN, J. L. **Natural ventilation in hospitals**. Copenhagen, 2008.

NET ZERO TOOLS. **Extech CO220 Indoor Air Quality IAQ CO2 Carbon Dioxide Monitor**. 2016. Disponível em: <<http://www.netzerotools.com/extech-co220-indoor-air-quality-co2-monitor>>. Acesso em: 28 out. 2016.

NINOMURA, P.; BARTLEY, J. New ventilation guidelines for health care facilities. **ASHRAE Journal**, p. 29-33, jun. 2001.

O GUIA DA ENFERMAGEM. **Os uniformes das enfermeiras através dos anos**. 25 de abril de 2013. Disponível em: <<https://oguiadaenfermagem.wordpress.com/tag/florence-nightingale/>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen, 1978.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Pról. de R. Serra Florensa. Apres. de Susana Rodríguez Alemparte. Trad. de Josefina Frontado e Luis Clavet. Rev. de Carme Muntané. Barcelona: G. Gili, 1963.

PORTOCARRERO, V. Pasteur e a microbiologia. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 5, p. 69-81, 1991.

PERÉN, J. I. M. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

PIMENTA, J. M. D. A renovação do ar em um projeto de climatização: critérios de definição e soluções, 18 anos da Portaria 3.523/98/MS e o futuro da qualidade do ar interno. In: **ABRAVA**, Brasília, 15 de junho de 2016.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Ventilação natural em edificações**. PROCEL EDIFICA. Rio de Janeiro, 2010.

QUADROS, M. E.; LISBOA, H. M.; OLIVEIRA, V. L.; SCHIRMER, W. N. Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: estudo de caso e análise crítica dos padrões atuais. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 14, n. 3, P. 431-38, jul./set. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n3/v14n3a17.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

REDE SARAH DE HOSPITAIS DE REABILITAÇÃO. 2017. Disponível em: <<http://www.sarah.br/>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta**. Barcelona: G. Gili, 2008.

ROMERO, M. A. B. **Notas de aula**. 2016a. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

_____. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

_____. **Tecnologia e sustentabilidade para a humanização dos edifícios hospitalares**. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2016b. v. 1.

SALES, G. L. **Diagrama de ventilação natural**: ferramenta de análise do potencial da ventilação natural no estudo preliminar de projeto. 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

_____. **Ventilação natural e análise da influência das aberturas no fluxo de ar – estudo de caso**: Secretaria de Cultura de Bragança/PA. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

SHORT, C. A.; AL-MAIYAH, S. **Design strategy for low-energy ventilation and cooling of hospitals**. Londres, 2009.

SWAMI, M.; CHANDRA, S. **Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings**. Flórida: Florida Solar Energy Center, 1987.

TABAK, D. **Entendendo a terapia medicamentosa e lidando com os efeitos colaterais**. ABRILE, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Monitoring ambient air quality for health impact assessment. WHO regional publications. **WHO Regional Publications**, European Series, Geneva, n. 85, 2014. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/119674/E67902.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2016.

YAU, Y. H.; CHANDRASEGARAN, D.; BADARUDIN, A. The ventilation of multiple-bed hospital wards in the tropics: a review. **Building and Environment**, v. 46, n. 5, p. 1125-132, maio 2011.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. 2015. 293 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.