



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Ana Paula Magalhães Jeffe

**Avaliação do Potencial da Ventilação Natural e mecânica para Conforto,  
renovação do Ar e Eficiência Energética em Ambientes Hospitalares**

Florianópolis  
2015

Ana Paula Magalhães Jeffe

**Avaliação do Potencial da Ventilação Natural e mecânica para Conforto,  
renovação do Ar e Eficiência Energética em Ambientes Hospitalares**

Dissertação/Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo  
Orientador: Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.

Florianópolis

2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Jeffe, Ana Paula  
Avaliação do Potencial da Ventilação Natural e mecânica  
para Conforto, renovação do Ar e Eficiência Energética em  
Ambientes Hospitalares / Ana Paula Jeffe ; orientador,  
Fernando Simon Westphal, 2015.  
134 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2015.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Conforto Ambiental. 3.  
Ventilação Natural. 4. Ventilação Mecânica. 5. Eficiência  
Energética. I. Simon Westphal, Fernando . II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Ana Paula Magalhães Jeffe

**Avaliação do Potencial da Ventilação Natural e mecânica para Conforto,  
renovação do Ar e Eficiência Energética em Ambientes Hospitalares**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.<sup>a</sup> Veridiana Atanasio Scalco, Dr.<sup>a</sup>  
UFSC

Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.  
UFSC

Prof.<sup>a</sup> Joana Carla Soares Gonçalves, , Dr.<sup>a</sup>  
USP

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi  
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo

---

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.  
Coordenador(a) do Programa

---

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.  
Orientador(a)

Florianópolis, 2015.

Este trabalho é dedicado a Deus, aos meus amados pais e a minha filha Valentina.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela força e determinação para concluir mais uma etapa do meu aprimoramento profissional.

Agradeço os meus pais que me deram a oportunidade de ter uma formação de qualidade.

Agradeço ao meu orientador pela motivação e pela dedicação destinada ao meu aprendizado.

Aos meus colegas do Labcon pelo apoio e pelos bons momentos durante os dias de trabalho juntos.

A Arquitetura é a exibição do êxito da técnica. (Mendes da Rocha, 2017).

## RESUMO

Os edifícios hospitalares possuem uma estrutura complexa em suas instalações, gerando grande demanda por energia elétrica e condições de conforto ambiental específicas. Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial da ventilação natural e mecânica para conforto, renovação do ar e eficiência energética em modelos computacionais de quartos de internação hospitalar e consultórios ambulatoriais, com base em um hospital brasileiro localizado na cidade de São Paulo. Para avaliação do desempenho térmico foi utilizado o software de simulação computacional EnergyPlus. A análise do conforto térmico com o uso da ventilação natural e mecânica foi realizada com base no modelo adaptativo da ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013). Para análise da qualidade do ar interno com o uso da ventilação natural, foram considerados limites de taxa de vazão de ar recomendados pela literatura específica da área. Diferentes alternativas foram simuladas com a variação de alguns parâmetros de simulação: *setpoint* de controle da ventilação natural, fator de abertura e limites de taxas de vazão de ar. Foram simulados modelos com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado, a fim de verificar o potencial de economia de energia das alternativas simuladas. Por meio dos resultados da análise de conforto térmico o aproveitamento da ventilação natural chegou em 97% das horas. Entretanto considerando os limites da taxa de vazão de ar, este percentual caiu para até 24%. Constatou-se que utilização da ventilação natural não é o suficiente para garantir a qualidade do ar interno em nenhum dos casos simulados. As simulações com a utilização da ventilação mecânica, apresentaram menor potencial de aproveitamento que a ventilação natural, com mais horas em desconforto por calor e pelo frio. Os resultados do desempenho da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado demonstraram potencial de economia de energia nos casos simulados.

**Palavras-chave:** Conforto Térmico. Ventilação Natural. Ventilação Mecânica. Renovação do Ar. Simulação Computacional.



## ABSTRACT

The hospital buildings have a complex structure in their facilities, generating great demand for electricity and specific environmental comfort conditions. This work had as main objective to evaluate the potential of natural and mechanical ventilation for comfort, air renewal and energy efficiency in computational models of hospitalization rooms and outpatient clinics, based in a hospital Located in the city of São Paulo, Brazil. The computational simulation software EnergyPlus was used to evaluate the thermal performance. The analysis of thermal comfort with the use of natural and mechanical ventilation was performed based on the adaptive model of ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013). To analyze the internal air quality with the use of natural ventilation, air flow rate limits recommended by the specific literature of the area were considered. Different alternatives were simulated with the variation of some simulation parameters: Setpoint of control of natural ventilation, opening factor and limits of air flow rates. Models were simulated with the use of mechanical ventilation complemented by air In order to verify the energy-saving potential of the simulated alternatives. Through the results of the thermal comfort analysis, the use of natural ventilation reached 97% of the hours. However, considering the limits of the air flow rate, this percentage fell to 24% it was observed that use of natural ventilation is not enough to guarantee the quality of the internal air in any of the simulated cases. The simulations with the use of mechanical ventilation, showed lower potential of utilization than natural ventilation, with more hours in discomfort due to heat and cold. The results of the mechanical ventilation performance complemented by air conditioning showed potential energy savings in simulated cases.

**Keywords:** Thermal Comfort. Natural Ventilation. Mechanical Ventilation. Renovation Air. Computer Simulation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Atribuições de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde pela RDC nº50/2004.....	30
Figura 2 - Enfermaria "Nightingale" St. Thomas Hospital.....	32
Figura 3 - Tipologias de hospital horizontalizado. ....	33
Figura 4 - Tipologias de hospital verticalizado.....	34
Figura 5 - Gráfico das faixas de conforto pelo modelo adaptativo.....	44
Figura 6 - Perfil de consumo de energia elétrica em prédios públicos e hospitalares .....	49
Figura 7 - Consumo de energia nos hospitais brasileiros em MWh. ....	50
Figura 8 - Etapas dos procedimentos metodológicos.....	52
Figura 9 – Procedimentos realizados nas etapas 3 e 4.....	54
Figura 10 - Faixa de conforto para 90% de aceitabilidade para os modelos simulados .....	57
Figura 11 - Temperaturas médias, máximas e mínimas da cidade de São Paulo.....	58
Figura 12 - Ventos de maior predominância e frequência de ocorrência na cidade de São Paulo.....	59
Figura 13 - Diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 3.....	59
Figura 14 - Carta Bioclimática para a cidade de São Paulo .....	60
Figura 15 - Implantação do complexo do Hospital Israelita Albert Einstein.....	62
Figura 16 – Corte e perspectiva do Pavilhão Vicky e Joseph Safra .....	63
Figura 17 - Pavimento da unidade de internação do Pavilhão Vicky e Joseph Safra.....	64
Figura 18 - Planta baixa das zonas dos quartos de internação.....	65
Figura 19 - Modelo simulado dos quartos de internação.....	65
Figura 20 - Padrão de uso: Iluminação .....	66
Figura 21 - Pavimento tipo dos consultórios do Pavilhão Vicky e Joseph Safra .....	67
Figura 22 - Planta baixa das zonas dos consultórios .....	68
Figura 23 - Modelo simulado dos consultórios ambulatoriais .....	68
Figura 24 - Padrão de uso: ocupação dos consultórios em dias úteis .....	69
Figura 25 - Padrão de uso: ocupação dos consultórios aos sábados .....	69
Figura 26 - Padrão de uso: sistema de iluminação em dias úteis .....	70
Figura 27 - Padrão de uso: sistema de iluminação aos sábados .....	70
Figura 28 - Padrão de uso: equipamentos em dias úteis .....	70

Figura 29 - Padrão de uso: equipamentos aos sábados .....	71
Figura 30 – Alternativas de Simulação da Ventilação Natural.....	74
Figura 31 - Janela Maxim-ar: fatores de abertura adotados na simulação.....	75
Figura 32 – Alternativas de simulação da ventilação mecânica .....	78
Figura 33 – Alternativas de simulação da ventilação mecânica complementada pelo condicionamento artificial .....	81
Figura 34 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) dos quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 60%.....	83
Figura 35 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) dos quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 30%.....	83
Figura 36 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, com estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e.....	86
Figura 37 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, sem estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e.....	86
Figura 38 - Dados horários de radiação solar na fachada em W/m <sup>2</sup> na fachada, por zona, durante o período de um ano. ....	87
Figura 39 - Percentual do número de horas no ano dentro dos limites de 90% de aceitabilidade, para os intervalos de vazão de ar com 93,6m <sup>3</sup> /h (Standard 62.1) e 216m <sup>3</sup> /h (OMS).....	88
Figura 40 - Direção dos ventos e Taxas de vazão do ar (m <sup>3</sup> /h) durante as horas ocupadas (24 horas) no dia 12 de janeiro, com o fator de abertura de 60%, para os quartos de internação.....	89
Figura 41 - Velocidade do ar (m/s), temperatura do ar externo (T.B.S) e temperatura operativa (T.O) durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (24 horas), com o fator de abertura de 60%, para os quartos de internação.....	90
Figura 42 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os consultórios no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 60%.....	92

Figura 43 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os consultórios no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 30%.....	92
Figura 44 - Temperatura do ar externo (TB.S) e Temperatura operativa (T.O), durante 4 dias no período de inverno nas horas ocupadas (12 horas), com o fator de abertura de 60%, para os consultórios.....	93
Figura 45 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos consultórios, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, com estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e. ....	94
Figura 46 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos consultórios, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, sem estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e. ....	95
Figura 47 - Percentual do número de horas no ano dentro dos limites de 90% de aceitabilidade, para os intervalos de vazão de ar com 57,6m <sup>3</sup> /h e 216m <sup>3</sup> /h.....	96
Figura 48 - Direção dos ventos e taxas de vazão do ar (m <sup>3</sup> /h), durante as horas ocupadas (12 horas) no dia 10 de janeiro, com o fator de abertura de 60%, para os consultórios. ....	97
Figura 49 - Velocidade do ar (m/s), Temperatura do ar externo (T.B.S) e Temperatura operativa (T.O), durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (12 horas), com o fator de abertura de 60%, para os consultórios. ....	98
Figura 50 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 13l/s/pessoa(ASHRAE Standard 62.1). ....	100
Figura 51 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 60l/s/paciente (WHO, 2009).....	101
Figura 52 - Temperatura do ar externo (T.B.S) e Temperatura operativa (T.O), durante 3 dias no período de inverno nas horas ocupadas (24horas), com vazão 13l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os quartos de internação. ....	102

Figura 53 - Temperatura do ar externo (T.B.S) e temperatura operativa (T.O), durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (24horas), com vazão 13l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os quartos de internação. ....	103
Figura 54 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 13l/s/pessoa e 60l/s/paciente, com as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E.....	106
Figura 55 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 13l/s/pessoa e 60l/s/paciente, sem as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E.....	106
Figura 56 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os consultórios no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 13l/s/pessoa(ASHRAE Standard 62.1). ....	108
Figura 57 - Dados horários de temperaturas operativas (T.O) no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 60l/s/paciente (WHO, 2009).....	108
Figura 58 - Percentual dos dados horários de temperaturas operativas nas zonas ,nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 8l/s/pessoa e 60l/s/paciente, com as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E, para os consultórios. ....	110
Figura 59 - Percentual dos dados horários de temperaturas operativas nas zonas nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 8l/s/pessoa e 60l/s/paciente, sem as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E, para os consultórios. ....	110
Figura 60 - Temperatura do ar externo (C°) e Temperatura operativa (C°), durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (12horas), com vazão 8l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os quartos de internação. ....	111
Figura 61 - Temperatura do ar externo (C°) e Temperatura operativa (C°), durante 3 dias no período de inverno nas horas ocupadas (12horas), com vazão 8l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os consultórios.....	112
Figura 62 - Consumo mensal de energia elétrica nas zonas, para os modelos com a ventilação mecânica complementada pelo uso do ar condicionado e para os modelos com ar condicionado. ....	115

Figura 63- Uso final de energia elétrica nas zonas em KWh, para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado e somente por meio do ar condicionado. ....	116
Figura 64 – Percentuais de participação do uso final de energia elétrica nas zonas, para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado e somente por meio do ar condicionado. ....	116
Figura 65 - Consumo mensal de energia elétrica nas zonas com as taxas de vazões de 8l/s/pessoa (Standard 62.1) e 60l/s/paciente (OMS), para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo uso do ar condicionado. ....	119
Figura 66 - Uso final de energia elétrica nas zonas em KWh para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado e somente por meio do ar condicionado, com as taxas de vazão de 8l/s/pessoa (Standard 62.1) e 60l/s/paciente (OMS).....	119
Figura 67 - Percentuais de participação do uso final de energia elétrica nas zonas, para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado e somente por meio do ar condicionado. ....	120

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização das áreas hospitalares quanto ao nível de risco de infecção.....	37
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do uso da ventilação natural, mecânica e do condicionamento híbrido .....	47
Quadro 3 - Estratégias bioclimáticas adotadas na pesquisa.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo final de energia elétrica por setor em GWh.....	24
Tabela 2 - Requisitos para ventilação em ambientes assistenciais de saúde .....	39
Tabela 3 - Níveis de conforto térmico para pacientes de algumas pesquisas e normas .....	42
Tabela 4 - Cargas Internas.....	66
Tabela 5 - Cargas Internas.....	71
Tabela 6 - Componentes construtivos.....	72
Tabela 7 - Propriedades térmicas dos materiais .....	73
Tabela 8 - Propriedades dos vidros.....	73
Tabela 9 - Exponentes e coeficientes de fluxo de ar adotados no modelo de portas e janelas .....	75
Tabela 10 - Detalhamento dos parâmetros das aberturas .....	76
Tabela 11 - Parâmetros de simulação da ventilação mecânica .....	79
Tabela 12 - Estimativas do consumo de energia elétrica por uso final nos quartos de internação em KWH, para o período de um ano (8760h).....	117
Tabela 13- Estimativas do consumo de energia elétrica por uso final e economia de energia em relação ao Baseline do consultório, em KWh para o período de um ano (3340hr).....	122
Tabela 14 - Estimativas de economia do consumo de energia elétrica para toda a área selecionada, em relação aos modelos baseline com ar condicionado, para o período de um ano inteiro. ....	123



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*

BEN - Balanço Energético Nacional

EAS – Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*

OMS – Organização Mundial da saúde

PROCEL Edifica - Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações

WHO – *World Health Organization*

## LISTA DE SÍMBOLOS

FS – Fator Solar [%]

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA .....	23
1.2 OBJETIVOS .....	26
1.2.1 objetivo geral .....	26
1.2.2 Objetivos específicos .....	26
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	27
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>28</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO HOSPITALAR .....	28
2.1.1 Tipologias Hospitalares .....	32
2.1.2 Qualidade do Ar Interno .....	36
2.3 CONFORTO TÉRMICO nos ambientes HOSPITALARES .....	40
2.4 ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO PASSIVO EM HOSPITAIS .....	45
2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS HOSPITALARES .....	48
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>51</b>
3.1 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO .....	55
3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA CIDADE DE SÃO PAULO .....	57
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO BASE .....	61
3.3.1 Modelo Computacional do Quarto de Internação Hospitalar .....	63
3.3.2 Modelo Computacional do Consultório Ambulatorial .....	67
3.3.3 Componentes Construtivos dos modelos dos quartos de internação e consultórios .....	71
3.4 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL .....	73
3.5 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA .....	78
3.6 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA COMPLEMENTADA PELO CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL <sup>80</sup>	
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>82</b>
4.1 DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL .....	82
4.1.1 Quartos de Internação .....	82
4.1.1.1 Conforto Térmico.....	82
4.1.1.2 Qualidade do ar interno.....	87

<b>4.1.2 Consultórios</b> .....	91
4.1.2.1 <i>Conforto Térmico</i> .....	91
4.1.2.2 <i>Qualidade do ar interno</i> .....	95
4.2 Desempenho da Ventilação Mecânica .....	99
<b>4.2.1 Quartos de Internação</b> .....	99
<b>4.2.2 Consultórios Ambulatoriais</b> .....	107
4.3 Desempenho da Ventilação Mecânica complementada pelo ar-condicionado .....	113
<b>4.3.1 Quartos de Internação</b> .....	114
<b>4.3.2 Consultório Ambulatorial</b> .....	118
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>124</b>
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	128
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	128
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>130</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais consomem recursos naturais, onde o impacto ocorre durante todo o seu ciclo de vida. Segundo a Agenda 21 para a Construção Sustentável (CIB, 2000), os edifícios são responsáveis diretos por cerca de 30% do consumo de energia no mundo, e de uso indireto em torno de 50%. O maior impacto de um edifício no ambiente está relacionado a energia utilizada para assegurar um clima interno confortável e saudável, o que ocorre ao longo de toda a sua vida útil. O consumo de energia de um edifício está associado não apenas às variáveis dos sistemas que utilizam diretamente a energia, mas também às variáveis que interferem nestes sistemas, como os elementos de sua arquitetura.

Inseridos no panorama da construção estão os edifícios hospitalares, consumindo grande quantidade de recursos ambientais e sendo grandes geradores de resíduos. De acordo com Góes (2011), um dos fatores de maior destaque e influência no impacto ambiental é o consumo de energia, devido a grande demanda existente na complexidade das instalações de um edifício hospitalar. Essa complexidade aumenta na medida em que a medicina avança. O processo de projeto de um edifício hospitalar deve estar adequado a este avanço, onde se fazem necessários cada vez mais conhecimentos especializados, diretrizes, integração, normatizações.

Tendo em vista a questão ambiental e econômica, vários países têm publicado diretrizes de projeto para melhorias no desempenho dos edifícios hospitalares, como o Departamento de Saúde do Reino Unido (2007), e a American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Estas diretrizes são apresentadas por meio de normas, certificações e iniciativas por partes de órgãos governamentais e não governamentais.

Na busca por minimizar os impactos ambientais e contribuir para a eficiência energética e o conforto ambiental dos edifícios hospitalares, recentemente surgiram no Brasil algumas iniciativas, como o método de avaliação e certificação ambiental *Leadership in Energy and Environmental*

*Design* (LEED), criado nos Estados Unidos. Algumas unidades hospitalares no país já possuem esta certificação e outras estão em fase de obtenção.

Como parte da meta em atender as normas ou obter uma certificação, em países da Europa e nos Estados Unidos, observa-se nos projetos de edificações hospitalares a aplicação de estratégias de projeto que promovam um melhor desempenho energético do edifício, seja novo ou retrofit. Dentre estas estratégias cita-se a adoção de sistemas passivos para condicionamento ou aquecimento dos ambientes, como o uso da ventilação natural e de sistemas de condicionamento mais eficientes. Alguns trabalhos recentes demonstram o uso destas estratégias nos edifícios como os de Adamu, Price e Cook (2012), e Short, et al. (2010).

Porém, no Brasil verifica-se que nos projetos dos hospitais são deixados para segundo plano questões relativas à sustentabilidade, o que diminui a qualidade e desempenho do ambiente construído. O hospital sustentável é mais que um conceito e em breve será uma exigência formal por parte dos governos por meio de leis e normas (BITENCOURT, 2007). Um caso de destaque são os hospitais da rede Sara Kubitschek, projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima (PÉREN, 2006), que utilizou a ventilação e a iluminação natural como pontos chaves da arquitetura para promover o conforto ambiental e diminuir o uso da energia elétrica.

Mesmo em alguns hospitais que já possuem certificação ambiental, não se utilizou como critérios de projeto estratégias de condicionamento passivo como ponto importante, a fim de alcançar a meta de eficiência exigida para a certificação ou mesmo para atingir bons níveis de conforto ambiental térmico. A maior ênfase no projeto continua sendo a utilização de sistemas mais eficientes de condicionamento e iluminação artificiais, acabando por criar ambientes menos humanizados, lacrados e fechados, dificultando a integração interior/exterior, e até mesmo a recuperação da saúde física e psicológica de pacientes e funcionários.

Segundo Adamu, Price e Cook (2012) a utilização da ventilação natural é atraente devido ao seu potencial em proporcionar um menor consumo de energia. Entretanto, utilizá-la e ao mesmo tempo manter as taxas de vazão de ar para garantir a boa qualidade do ar interno e o conforto térmico é um desafio. A *World Health Organization* (WHO), por outro lado, publicou um guia

com orientações específicas para o uso da ventilação natural e mecânica em ambientes hospitalares. A *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* também publicou a ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007), já incorporada por algumas normas e certificações ambientais, que determina requisitos para qualidade do ar interno em diversos tipos de edificações.

Entretanto, alcançar esta taxa de forma constante com a ventilação natural é um desafio porque, ao contrário de ventilação mecânica, as forças motrizes, ou seja, os ventos tendem a variar dependendo de fatores climáticos. Há, portanto, uma necessidade de investigações baseadas em evidências para apoiar estas disposições em benefício dos profissionais da arquitetura e da engenharia. O conforto térmico como um parâmetro de qualidade do ar interior no hospital afeta as condições de trabalho, bem-estar, segurança e saúde, tanto da equipe médica quanto dos pacientes. A qualidade do ar interior nestes ambientes é tratada do ponto de vista dos riscos de infecções no processo de cura dos pacientes. A boa qualidade do ar interior pode ser parte do tratamento.

Esta pesquisa parte da hipótese de que a aplicação de estratégias de condicionamento passivo para os edifícios de saúde promover com melhor desempenho ambiental e eficiência energética. Porém é necessário avaliar os resultados de suas aplicações no contexto das unidades brasileiras, a fim de que os métodos sejam aprimorados e melhor adaptados à realidade local. Portanto esta pesquisa propõe uma análise do desempenho térmico e energético de um hospital brasileiro com certificação LEED, por meio da aplicação das estratégias de condicionamento pelo uso da ventilação natural, da ventilação mecânica e da ventilação mecânica complementada pelo condicionamento artificial, a fim de verificar qual é a influência da arquitetura na melhoria da eficiência deste edifício e contribuir para as boas práticas de projeto de estabelecimentos de saúde.

## 1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

De acordo com dados recentes do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013), o consumo final de energia elétrica no Brasil foi de 498.398 GWh no ano

de 2012, um crescimento de 17,43 GWh em relação ao ano anterior. O consumo energético final cresceu em média 45%, nos últimos dez anos. Os hospitais brasileiros, sejam eles públicos ou privados, estão inseridos dentro do setor comercial pelo Balanço Energético Nacional, que considera dados de consumo final de energia elétrica de cerca de 19 setores. A tabela 1 mostra a importância de iniciativas de economia de energia no setor comercial, sendo este o terceiro setor a consumir mais energia, ficando apenas atrás do setor industrial e residencial (EPE, 2013).

Tabela 1 - Consumo final de energia elétrica por setor em GWh

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Industrial</b>	172.06 1	175.37 0	192.61 6	197.21 8	186.74 0	203.35 0	209.39 0	209.62 2
<b>Residencia I</b>	78.577	83.193	90.881	95.585	100.63 8	107.21 5	111.97 1	117.64 6
<b>Comercial</b>	50.082	53.492	58.535	62.495	65.981	69.718	74.056	79.809
<b>Público</b>	30.092	32.73	33.718	34.553	35.245	36.979	38.171	39.919

Fonte: Adaptado de EPE, 2013).

No Brasil, os hospitais representam uma parcela significativa do consumo total de energia para o setor comercial, respondendo por 8,9% da energia elétrica, registrando 7.182 GWh do consumo final de energia elétrica do setor no ano de 2012. (SZKLO; SOARES; TOLMASQUIM, 2004). Embora o percentual seja baixo, em torno de 1,4% do total para o setor em 2012, este valor representa o consumo médio de 1.127.574 moradias no Brasil.

Esses dados mostram a importância de edifícios hospitalares eficientes energeticamente, e a necessidade de iniciativas que promovam projetos com esta finalidade, contribuindo para a redução do consumo final de energia deste setor. Contudo, o que se percebe no Brasil atualmente é que os projetos hospitalares não priorizam questões de conforto ambiental e de eficiência energética, o que diminui a qualidade do ambiente construído, elevam os custos de manutenção e de frequentes readequações do espaço físico (SAMPAIO, 2005).



Nos edifícios hospitalares, os sistemas de climatização, iluminação e aquecimento de água correspondem juntos a cerca de 70% do consumo de energia elétrica (SZKLO; SOARES; TOLMASQUIM, 2004). O planejamento destes edifícios, a partir do advento do ar-condicionado no século anterior, investiu na promoção de melhores condições de conforto pelo condicionamento artificial, aumentando a demanda por energia elétrica. Este fato contribuiu para que não fossem mais priorizadas na arquitetura, critérios de aproveitamento do condicionamento passivo, como a ventilação natural.

Pesquisas quanto ao desempenho de sistemas de geração de energia para hospitais têm sido realizadas em outros países e no Brasil, assim como estudos relacionados à humanização dos espaços. No entanto, existe uma lacuna quanto a estudos relacionados à eficiência dos aspectos físicos do edifício. Poucas pesquisas relacionadas ao desempenho de estratégias aplicadas a arquitetura dos edifícios hospitalares, visando o conforto ambiental e a redução do consumo de energia, foram realizadas em outros países. No Brasil estes estudos são ainda mais escassos, sendo necessárias mais pesquisas que investiguem este tema.

No que diz respeito às normas e legislações, a Resolução de Diretoria Colegiada RDC nº50 de 2004, é a norma a ser obrigatoriamente seguida para o projeto físico dos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). A norma propõe a organização físico-funcional dos EAS, e estabelece condições e parâmetros mínimos para os ambientes. Contudo não faz referência aos aspectos bioclimáticos e de eficiência energética do edifício.

Atualmente poucas iniciativas apoiam projetos que priorizem a eficiência energética no setor hospitalar, tanto por parte da iniciativa privada quanto de órgãos governamentais. Um destes incentivos é o Programa de Nacional de Conservação de Energia-PROCEL. Outras iniciativas são as certificações ambientais adotadas no Brasil, que utilizam metodologias de avaliação ambiental, tendo destaque a certificação LEED, sendo esta atualmente a mais amplamente adotada para certificar hospitais no país.

Porém a maioria não trata exclusivamente de edifícios hospitalares, e muito menos de critérios que considerem a complexidade e a especificidade existente neste tipo de edifício.

Segundo Lobo (2010), a utilização de um método de avaliação ambiental desde a etapa de planejamento e projeto permite estabelecer diretrizes de desempenho ambiental e eficiência energética. Contudo, o que se observa atualmente no Brasil é a utilização de metodologias estrangeiras de avaliação, devido a uma carência de métodos nacionais. Esse fato que colabora para a aplicação de metodologias mais adaptadas a outras realidades, o que acaba gerando críticas e questionamentos em relação as suas aplicações no contexto brasileiro, como é o caso da certificação LEED.

Este estudo parte de alguns questionamentos acerca do que está sendo feito para garantir o bom desempenho dos edifícios hospitalares. Assim como de qual é o impacto gerado nas decisões de projeto quanto a critérios, parâmetros e estratégias adotadas, principalmente com vistas a um melhor desempenho térmico e energético.

Portanto, dissertação tem como questão norteadora, identificar o resultado e a contribuição no desempenho térmico e energético da utilização de estratégias de condicionamento passivo como critério de projeto.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o conforto, renovação do ar e eficiência energética para o condicionamento de ar de quartos de internação hospitalar e consultórios ambulatoriais, com base em um hospital brasileiro localizado na cidade de São Paulo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos decorrentes das atividades desenvolvidas ao longo da pesquisa, pretende-se:

- a) Identificar e mapear os ambientes hospitalares passíveis de aplicação da ventilação natural e mecânica.
- b) Avaliar o potencial de aproveitamento da ventilação natural e mecânica

para atendimento do conforto térmico.

- c) Verificar o atendimento aos padrões de qualidade do ar interno por meio da ventilação natural.
- d) Avaliar o potencial de economia de energia com o uso da ventilação mecânica complementada por climatização artificial.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo corresponde à introdução, onde foram explicados o contexto geral do consumo de energia no Brasil e a participação das edificações hospitalares neste contexto. Apresentou-se a justificativa do estudo proposto e os objetivos da pesquisa. O segundo capítulo corresponde à revisão bibliográfica dos conceitos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa na área da arquitetura hospitalar, eficiência energética e conforto ambiental nessas edificações, contribuindo para um melhor entendimento sobre o assunto abordado. O terceiro capítulo retrata os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa, mostrando as etapas desenvolvidas para obtenção e tratamento dos dados obtidos por meio das simulações computacionais desenvolvidas no *software EnergyPlus*. O quarto capítulo apresenta os resultados suas análises. No quinto capítulo são apresentadas as considerações finais da pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica abrangendo o tema proposto nesta pesquisa. Pesquisaram-se trabalhos recentes com enfoque em eficiência energético de edifícios hospitalares, conforto ambiental e utilização de estratégias de condicionamento passivo também em edifícios hospitalares.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO HOSPITALAR

Os hospitais são organizações estruturadas e equipadas para atender doentes em diferentes níveis de complexidade. O critério para que um Estabelecimento de Saúde (EAS) seja classificado como um hospital, de uma maneira geral, é a sua capacidade de internação de pacientes por longos ou curtos períodos. Dependendo do tipo de atendimento que é prestado, são classificados como hospitais maternidade ou hospitais-dia.

A capacidade de internação, ou número de leitos, é o que determina o tipo de porte do hospital. De acordo com Toledo (2006), hospitais com disponibilidade de mais de 200 leitos são considerados de grande porte. Unidades com número de leitos de 40 a 200 são de médio porte, e com menos de 40 leitos de internação já são consideradas de pequeno porte.

No Sistema Único de Saúde brasileiro (SUS), os edifícios de assistência a saúde são classificados em três níveis quanto ao seu grau de complexidade:

- a) Hospital de baixa complexidade: para assistência primária que configura unidades sem internação de pacientes, sem atendimento de emergência, e com atendimentos ambulatoriais.
- b) Hospital de média complexidade: para assistência secundária onde já existe unidade de internação, com atendimento de emergência, com as especialidades básicas, serviços de diagnósticos e cirurgias ambulatoriais.
- c) Hospital de alta complexidade: para assistência terciária com internação, atendimento de emergência, todas as especialidades de

cirurgia, procedimentos que exigem alta tecnologia e serviços médicos mais especializados.

Ainda, segundo Toledo (2006), as diferentes tipologias programáticas, podem ser classificadas como:

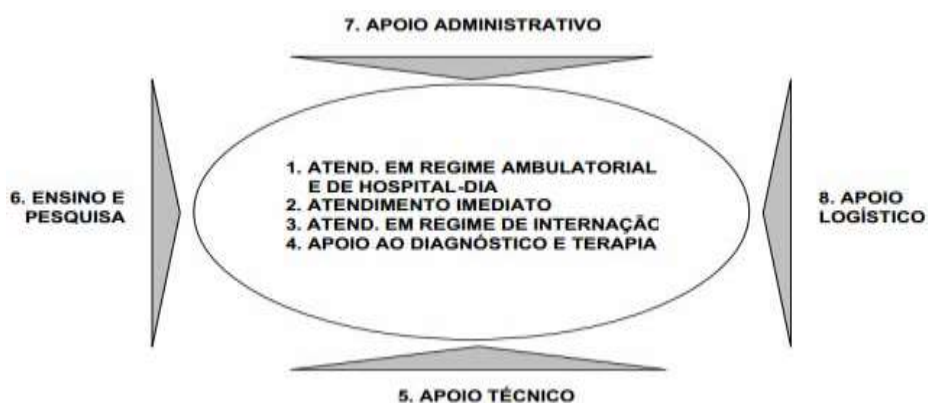
- a) Hospital Geral: estabelecimento de alta complexidade constituída de forte Apoio ao Diagnóstico<sup>1</sup>, Centro Cirúrgico, Unidade de Tratamento Intensivo (UTI), Unidade de Emergência/Urgência, Internação Infantil de Adultos, Clínica Médica e obstetrícia;
- b) Hospital de Emergência: estabelecimento com ênfase em atendimentos de emergência médica no cuidado de pacientes graves com necessidade de cuidados imediatos, com Centro Cirúrgico e Tratamento Intensivo;
- c) Hospital Pediátrico ou Infantil: voltado ao tratamento de crianças e adolescentes, com um programa semelhante ao de um Hospital Geral;
- d) Maternidade: possui um programa muito variável, podendo ser de alta complexidade. É voltado ao tratamento de gestante durante toda a gravidez, até ao atendimento do recém-nascido;
- e) Hospital de Apoio: estabelecimento com média complexidade, que tem por finalidade o atendimento a pacientes que não demandam cuidados especiais, diminuindo a demanda de internação dos hospitais de alta complexidade;
- f) Hospital Especializado: voltado ao diagnóstico e tratamento de patologias específicas, como hospitais oncológicos e de cardiologia.
- g) Unidade Mista: caracteriza-se por possuir pequena capacidade de internação, com atendimentos menor complexidade, e alia serviços de atendimento ambulatoriais típicos de centros de saúde;
- h) Hospital-dia: estabelecimento de média complexidade, voltado a tratamentos ambulatoriais e cirurgias minimamente invasivas, com períodos de internação de menos de 24h.

O edifício hospitalar, diferente de outras edificações com programas físico-funcionais complexos, abriga funções muito diversificadas e, em alguns casos, incompatíveis entre si. Podem abrigar atividade de apoio ao diagnóstico e ao tratamento, ao mesmo tempo em que abriga atividades de logística, como distribuir medicamentos e roupas.

Uma das etapas que compreende o planejamento do projeto de um hospital é a sua setorização. É necessário conhecer detalhadamente as diferenças físico-funcionais, a fim de identificar as inter-relações, os fluxos e operação entre as suas diferentes unidades hospitalares, assim como as práticas, atividades e procedimentos desenvolvidos em cada um dos ambientes que as constituem. O planejamento da infraestrutura de cada setor hospitalar deve ser acompanhado de um tratamento arquitetônico específico (TOLEDO, 2006).

A norma para projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde, RDC n°50 (ANVISA,2004), apresenta um diagrama com os diferentes setores de um hospital, por meio de oito atribuições, conforme a Figura 1. Cada setor de um hospital tem suas características próprias, tanto para os aspectos funcionais quanto para os aspectos físicos. Quanto aos aspectos físicos, os níveis de conforto ambiental devem ser tratados de forma diferenciada, dependendo das características funcionais de cada unidade, do tipo de paciente e dos níveis de assepsia. Algumas unidades necessitam de controle total das condições ambientais, quanto em outras este controle é mais flexível. No entanto, por mais que não seja necessário um controle total das condições ambientais de alguns setores, é primordial que bons níveis de conforto ambiental sejam proporcionados.

Figura 1 – Atribuições de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde pela RDC n°50/2004.



Fonte: RDC n° 50 (ANVISA,2004).

As zonas ou setores funcionais são agrupados por unidades funcionais, que reúnem um determinado conjunto de ambientes. De acordo com a RDC

nº50 (ANVISA, 2004), cada atribuição se desdobra em atividades e subatividades, que são geradoras ou caracterizam os ambientes, da seguinte forma:

1. Atendimento em regime ambulatorial e de hospital-dia: atividades de atenção à saúde como ações de prevenção e assistência médica por até 24h, com consultas e procedimentos médicos e odontológicos de pequeno porte.
2. Atendimento Imediato e de assistência a saúde: atendimento a pacientes com risco de vida e em sofrimento;
3. Atendimento em regime de internação: atividades de assistência direta a pacientes adultos e infantis, que necessitam de internação programada por período superior às 24h;
4. Apoio ao diagnóstico e terapia: atividades de atendimento a pacientes internos e externos para o apoio ao reconhecimento e recuperação;
5. Apoio Técnico: atendimento direto as ações assistência a saúde, desenvolvendo atividades de apoio de forma indireta, como proporcionar a assistência alimentar aos pacientes e acompanhantes;
6. Ensino e pesquisa: atividades de desenvolvimento humano e de pesquisas, por meio de atendimento direto e indireto de assistência a saúde;
7. Apoio administrativo: atendimento de funções administrativas e de gestão do estabelecimento;
8. Apoio logístico: atividades de função operacional, como o processamento e fornecimento de rupas e insumos.

Pela definição da norma RDC nº50 (ANVISA, 2004) os ambientes que compõem uma unidade hospitalar compreendem um espaço físico caracterizado por instalações e dimensões diferenciadas, especializados para o desenvolvimento de determinada atividade. Um exemplo são as salas de cirurgias, que possuem dimensões específicas que possam abrigar os equipamentos e as instalações apropriadas ao desenvolvimento de procedimentos cirúrgicos. Em conjunto com estes ambientes, estão os ambientes de apoio, que dão suporte aos ambientes com as atividades-fim. O

procedimento cirúrgico é um exemplo de uma atividade-fim, realizada em uma sala de cirurgia. Neste caso, o posto de enfermagem é classificado como um ambiente de apoio, que dá suporte às salas de cirurgias.

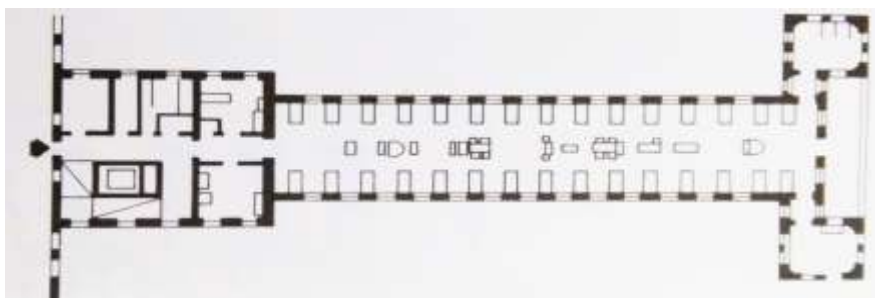
Os quartos de internação e os consultórios ambulatoriais são classificados como ambientes fisicamente especializados para abrigar atividades específicas. O primeiro tem por atividade-fim abrigar os pacientes que necessitam de assistência hospitalar direta, em regime de internação por um período de até ou mais de 24 horas. O segundo tem por finalidade abrigar atividades de atendimento médico ou de enfermagem.

### 2.1.1 Tipologias Hospitalares

Quanto a sua tipologia morfológica existem basicamente dois tipos: o hospital horizontalizado ou pavilhonar surgido no século XIX, e até hoje utilizado; e o hospital monobloco ou verticalizado.

A tipologia pavilhonar consolidou-se no século XIX por apresentar o desenho da “enfermaria aberta”, ou mais conhecida como enfermaria “Nightingale”. De acordo com Miquelin (1992), este modelo surge por meio dos escritos da enfermeira Florence Nightingale na Inglaterra em 1859, que estabeleceu as bases e dimensões desta tipologia, geradas a partir de suas críticas aos procedimentos médicos e de enfermagem até então adotados, que segundo ela, residiam principalmente na falta de iluminação e ventilação natural. A “enfermaria Nightingale” tornou-se o modelo de espaço de internação da tipologia pavilhonar (Figura, 2)

Figura 2 - Enfermaria "Nightingale" St. Thomas Hospital



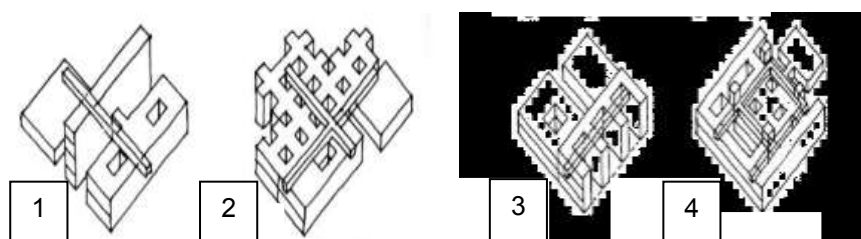
Referência: Miquelin, 1992.



Um exemplo contemporâneo do uso desta tipologia são os hospitais da rede Sara Kubitschek no Brasil, projetados pelo arquiteto brasileiro João Filgueiras Lima, o Lelé. Para Toledo (2006), ao utilizar a tipologia pavilhonar nos projetos dos hospitais da rede Sara Kubitschek, Lelé criou edificações hospitalares com capacidade de contribuir para o processo de cura. As soluções arquitetônicas adotadas na tipologia pavilhonar podem proporcionar aos pacientes uma integração maior com o exterior, através de pátios ajardinados e janelas localizadas junto aos leitos. Para Grimm (2012), esta tipologia apresenta um gama maior de possibilidades de aplicação da arquitetura bioclimática, pois o seu desenho possibilita melhores condições de iluminação e ventilação naturais, por meio de estratégias incorporadoras à arquitetura.

Contudo, a tipologia pavilhonar tem como ponto negativo a problemática relacionada com as extensas áreas dentro de um mesmo pavimento gerando problemas relacionados às circulações e acessos. Este modelo também necessita de uma maior taxa de ocupação, sendo necessárias grandes áreas de terreno para a implantação desta tipologia (GRIMM, 2012). Os modelos de hospital horizontalizado são apresentados na Figura 3, segundo Miquelin (1992).

Figura 3 - Tipologias de hospital horizontalizado.



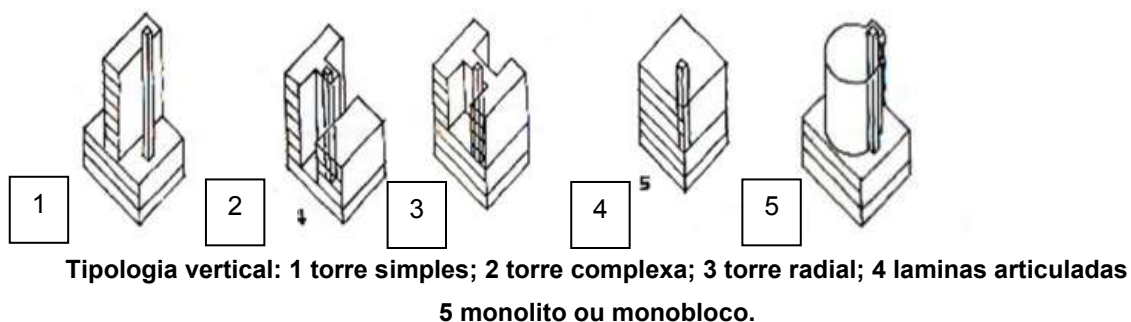
**Tipologia horizontal: 1 lâminas independentes articuladas; 2 pente e pavilhão; 3 pátio estendido; 4 pátio compacto.**

Fonte: Adaptado de Miquelin, 1992.

O Hospital verticalizado, representado na Figura 4, teve seu surgimento a partir do século XX na América do Norte, a fim de incorporar os avanços da medicina na transformação para um hospital especializado e tecnológico (TOLEDO, 2006). De acordo com Miquelin (1992), além dos avanços médicos e científicos do início do século XX, também ocorre uma mudança no perfil dos

pacientes, que implicou na introdução gradativa de novos tipos de acomodações de internação que pudessem proporcionar maior privacidade. Estas transformações trazem mudanças ao modelo de “enfermaria Nightingale”, de forma que os leitos começam a ser subdivididos e dispostos paralelamente às janelas e separados com divisórias.

Figura 4 - Tipologias de hospital verticalizado.



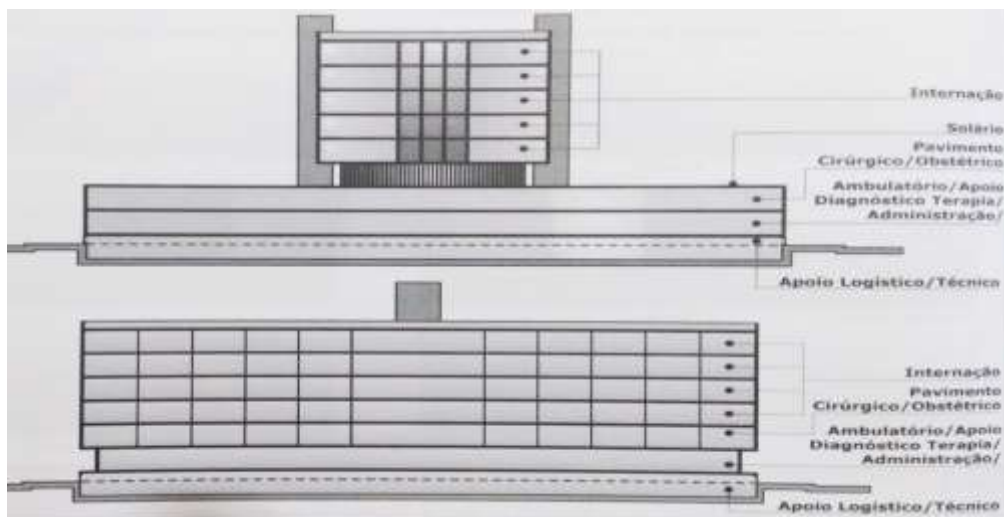
Fonte: Adaptado de Miquelin, 1992.

O partido verticalizado se torna o mais utilizado desde então, devido a uma menor taxa de ocupação que o partido horizontal, além de aperfeiçoar aspectos funcionais de uso do hospital e de economia na construção do edifício hospitalar. Esta atitude é reforçada também pelo aprimoramento das pesquisas e das ações no controle das infecções hospitalares, onde a implantação de pavilhões isolados não é mais indispensável diante da nova compreensão em relação aos processos de transmissão de doenças (TOLEDO, 2006). No Brasil atualmente é a tipologia amplamente adotada nos partidos de projetos de unidades hospitalares, conforme a Figura 5.

Assim sendo, consolida-se o modelo de internação utilizado hoje nos partidos verticalizados, com leitos separados por divisórias, dispostos na forma de apartamentos individuais ou em enfermarias com mais de um paciente. Conforme a Figura 5, atualmente na planta tipo das unidades de internação destas tipologias, os leitos de internação geralmente possuem integração com exterior por uma das faces do edifício, com acesso por um corredor central. Os ambientes de apoio, geralmente ficam na parte central do pavimento, sem

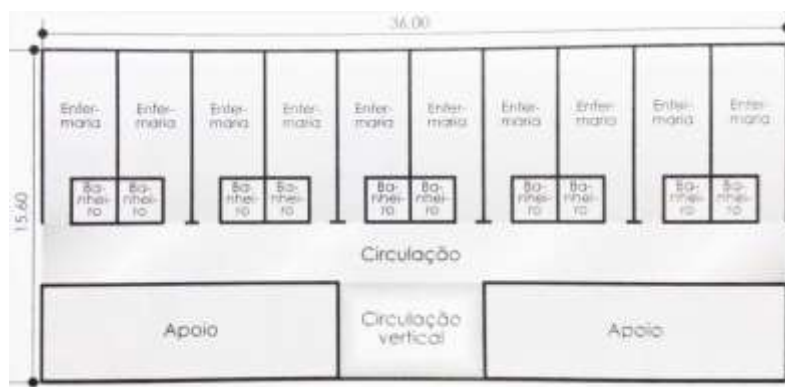
possuir aberturas para o exterior. Esta configuração também é utilizada nos pavimentos tipo de unidades ambulatoriais.

Figura 5 – Partido verticalizado hospitalar mais adotado no Brasil



Fonte: Góes, 2011.

Figura 6 - Exemplo de configuração de pavimento tipo internação dos partidos de hospitais verticalizados



Fonte: Góes, 2011.

Um dos principais problemas que surgem nestes hospitais diz respeito à humanização dos ambientes. Devido ao seu desenho prejudicam o contato com o exterior e o aproveitamento da iluminação natural, afetando o ciclo circadiano de pacientes e funcionários, e até mesmo levando à depressão (COSTI, 2002). Também dificulta o aproveitamento da ventilação natural, causando outro importante problema ambiental, com o crescente aumento no consumo de energia destes edifícios, por causa do uso de sistemas artificiais.

Portanto, Toledo (2006) afirma que nos partidos arquitetônicos com monobloco vertical, as preocupações e prioridades com o conforto ambiental vão sendo esquecidas, como por exemplo, fazer um melhor aproveitamento da iluminação natural e do condicionamento passivo nas áreas com uma maior permanência de pacientes e funcionários. O que passou a preponderar cada vez mais é a adoção de novas tecnologias de condicionamento de ar e exaustão mecânica, que permitem um total controle do clima no ambiente hospitalar.

Ainda para Toledo (2006), a arquitetura como uma ferramenta para a qualidade ambiental pouco está podendo oferecer aos hospitais da atualidade, ou o chamado hospital tecnológico, que hoje se caracteriza por ambientes artificialmente controlados, onde prevalece a tecnologia em detrimento do paciente, e assim o edifício passou a não mais contribuir e estimular o processo de cura. Para Góes (2011) os hospitais do futuro deverão estar preparados com estruturas físicas que utilizem sistemas de climatização e iluminação artificiais estritamente em locais de extrema necessidade, como nos centros cirúrgicos, unidades de tratamento intensivo e quartos de isolamento.

### **2.1.2 Qualidade do Ar Interno**

O conforto térmico como um parâmetro de qualidade do ar interior no hospital afeta as condições de trabalho, bem-estar, segurança e saúde tanto da equipe médica quanto dos pacientes. A qualidade do ar interior nestes ambientes é tratada do ponto de vista dos riscos de infecções no processo de cura. A boa qualidade do ar interior pode ser parte do tratamento de pacientes.

De acordo com Khodakarami (2012), a temperatura e a umidade do ar podem inibir ou aumentar o crescimento de bactérias, ativar ou desativar vírus em edifícios de saúde. Níveis muito elevados de umidade também contribuem com o crescimento e a proliferação de bactérias, bem como para o desconforto térmico, assim como níveis mais baixos de umidade contribuem para sintomas de irritação na garganta e problemas respiratórios. Além de que, como uma variável de condições de conforto térmico, o movimento do ar interior pode controlar ou espalhar a infecção em hospitais. A contaminação por agentes

biológicos se dá pela ventilação reduzida, alta umidade e sistemas de condicionamento do ar (GRIMM, 2012). Entretanto,

Em tais edifícios o sistema de tratamento de ar deve fornecer padrões de movimento de ar que minimizam a propagação da contaminação. A falta de ventilação ou as taxas baixas de ventilação estão associadas com o aumento da infecção e com surtos de doenças transmitidas pelo ar. Assim sendo, altas taxas de ventilação podem diminuir o risco de infecção. Uma maior taxa de ventilação é capaz de fornecer uma maior capacidade de diluição de agentes contaminadores, conseqüentemente, reduzindo o risco de infecções transportadas pelo ar. Por esta razão, as áreas de melhor ventilação têm um menor risco de transmissão da tuberculose e outras infecções transmitidas pelo ar (WHO, 2007).

Portanto, códigos e orientações para os critérios de temperatura, umidade e taxas de vazão do ar em algumas áreas dos edifícios de saúde são influenciados pela medida de controle de infecção, bem como para o conforto ambiental. No Brasil, a Resolução de Diretoria Colegiada, RDC nº50 (ANVISA, 2004), que normatiza a elaboração de projetos físicos de EAS, classifica as áreas do hospital quanto ao risco de infecção, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização das áreas hospitalares quanto ao nível de risco de infecção

<b>Nível de risco</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Exemplo de Ambientes hospitalares</b>
<b>Áreas críticas</b>	Ambientes onde existe risco aumentado de transmissão de infecção, onde se realizam procedimentos de risco, e onde se encontram pacientes imunodeprimidos;	Salas de cirurgia e de parto; Laboratório de análises clínicas; Unidade de tratamento intensivo e de queimados; Quartos de isolamento; banco de sangue; Lactário; Lavanderia; cozinha;
<b>Áreas semicríticas</b>	Compartimentos ocupados por pacientes com doenças infecciosas de baixa transmissibilidade e doenças não infecciosas;	Enfermarias, quartos de internação geral, consultórios ambulatoriais, salas de diagnóstico por imagem.
<b>Áreas não críticas</b>	Todos os demais compartimentos que não são ocupados por pacientes, e onde não se realizam procedimentos de risco.	Escritórios, sanitários, salas de espera e recepção, depósitos.

Fonte: RDC nº50 (ANVISA, 2004).

Quanto à qualidade do ar interno, as áreas consideradas críticas necessitam de total controle das condições de temperatura do ar e umidade relativa, sendo obrigatório o condicionamento artificial com sistema de renovação do ar interno. Quanto às áreas semicríticas, este controle existe, porém nesses ambientes as condições especiais de temperatura, umidade e qualidade do ar, podem ser feitas por meio de ventilação natural, mecânica e exaustão direta, como é o caso das unidades de internações e ambulatoriais, exceto quartos de isolamento que são considerados áreas críticas. Entretanto, no caso das áreas semicríticas, deve haver renovação do ar interno em níveis que garantam a assepsia dos ambientes. As áreas não críticas não apresentam restrições quanto ao controle das condições ambientais internas, podendo ser feito o uso da ventilação natural e mecânica (ANVISA, 2004).

Segundo Adamu, Price e Cook (2012) nas unidades de saúde as taxas de ventilação para serem eficientes no controle da infecção hospitalar, devem ser de 18 a 24 trocas de ar por hora. O guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009), recomenda mais de 12 trocas de ar por hora para o controle das taxas de renovação de ar que garantam a qualidade do ambiente interno. A escolha da taxa de fluxo de ventilação mínima pode ser influenciada pela necessidade de reduzir o consumo de energia, com a ventilação mecânica (WHO, 2009).

Em outros países como Estados Unidos e no Reino Unido, guias e normas estabelecem requisitos mínimos de qualidade do ar interior, para o uso da ventilação natural e mecânica nos ambientes hospitalares. Algumas normas tem como base as recomendações do guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings*, elaborado pela *World Health Organization* em 2009, como a norma do departamento de saúde do Reino Unido - *Health Technical Memorandum 03-01: Specialised ventilation for healthcare premises*, que estabelece os parâmetros para o uso da ventilação natural e mecânica nos ambientes hospitalares.

De acordo com o guia da OMS, quando o parâmetro de trocas de ar por hora é usado para medir o desempenho da ventilação, o volume do espaço fechado é claramente um importante parâmetro. Um ambiente com um volume maior pode fornecer uma taxa de diluição maior. Contudo, quanto maior for o

volume do ambiente, maiores também deverão ser as taxas de vazão de ar para manter a qualidade do ar interno. O guia determina os seguintes valores mínimos a serem usados para taxas de renovação do ar, no uso da ventilação, que devem ser:

- a) 160 l / s / paciente para prevenção da contaminação dos ambientes, com um mínimo de 80 l / s / paciente. Este parâmetro somente se aplica a novas instalações de saúde e em grandes obras de reforma;
- b) 60 l / s / paciente para enfermarias gerais e ambulatórios; e
- c) 2,5 l / s / m<sup>3</sup> para corredores e outros espaços transitórios, sem um número fixo de pacientes;

Nos Estados Unidos, o guia *Guidelines for Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities*, elaborado pelo American Institute of Architects e que estabelece requisitos para a elaboração de projetos de edifícios de assistência à saúde, tem como base as recomendações das normas da *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE). Neste caso, a ANSI/ASHRAE Standard 62.1 – *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, recomenda os seguintes parâmetros para a qualidade do ar interno em ambientes hospitalares, conforme apresenta o Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos para ventilação em ambientes assistenciais de saúde

<b>Ambientes</b>	<b>Estimativa de ocupação máxima (m<sup>2</sup>/pessoa)</b>	<b>Requisitos para renovação do ar - L/s/pessoa</b>
<b>Quartos de internação</b>	10	13
<b>Procedimentos médicos</b>	20	8
<b>Salas de cirurgia</b>	20	15
<b>Recuperação e unidade de terapia intensiva</b>	20	8
<b>Reabilitação</b>	20	8

Fonte: ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2007.

No Brasil, a norma NBR 7265, de 2005, é o documento que estabelece os requisitos para o tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde, quanto ao projeto e execução das instalações de condicionamento artificial para ambientes críticos, como centros cirúrgicos e quartos de

isolamento. Para os ambientes críticos das unidades de internação, que necessitam de controle total das condições ambientais, a norma estabelece níveis de temperatura entre 21°C e 24°C, taxas mínimas de vazão do ar total de 18 e 36 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup>, e níveis de umidades relativa de 40% a 60%.

Entretanto, esta norma não menciona requisitos para ambientes semicríticos, como os quartos de internação geral e consultórios ambulatoriais. No Brasil, nem a NBR 7265, nem a RDC nº50, abordam requisitos mínimos das condições ambientais, como limites de taxas de vazão de ar para o uso da ventilação natural ou mecânica. Assim sendo, na falta de uma norma e guia brasileiro que estabeleça ou recomende requisitos específicos para estas estratégias de condicionamento, esta pesquisa teve como base as recomendações existentes nas normas e guias internacionais. Portanto, utilizou-se dos requisitos estabelecidos pelo guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009), e pela ANSI/ASHRAE Standard 62.1 – *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (ASHRAE, 2007).

### 2.3 CONFORTO TÉRMICO NOS AMBIENTES HOSPITALARES

O conceito de conforto térmico é complexo, pois depende de variáveis ambientais físicas, variáveis fisiológicas e comportamentais. As variáveis fisiológicas e comportamentais são o que distinguem uma enfermaria de um ambiente de escritório.

De acordo com um estudo feito por Skoog, Fransson e Jagemar (2005), usuários pacientes muitas vezes têm uma taxa metabólica mais baixa, por estarem acamados, e, portanto, precisam de um ambiente com temperatura operativa superior do que um indivíduo saudável. Os medicamentos também podem afetar o metabolismo dos pacientes. Em uma mesma ala, os pacientes apresentam queixas e percepções diferentes sobre o ambiente interno. Estas condições tornam quase impossíveis prever condições térmicas ideais que satisfaça a todos.

Em uma pesquisa desenvolvida por Hill, Webb e Parsons, (2000), pacientes com esclerose múltipla experimentaram as condições de um determinado ambiente como sendo mais extremas do que a população em



geral. Em um ambiente fresco, eles sentiram mais frio, e em um ambiente aconchegante sentiram mais calor que indivíduos saudáveis.

Ainda de acordo com Parsons (2002), pessoas debilitadas fisicamente apresentam diferentes preferências térmicas do que indivíduos saudáveis. Isto ocorre por diversas razões como a capacidade de mobilidade e diferenças nas respostas termorreguladoras do organismo causadas pelas doenças, como alteração na pressão sanguínea, suor, tremores e o uso de medicamentos.

Verheyen et al., (2011), em um estudo para avaliar o conforto térmico comparando medidas objetivas (parâmetros ambientais) e medidas subjetivas (questionários), que envolveu 99 diferentes grupos de pacientes, Identificou que a maior parte destes pacientes ficou satisfeito com as suas possibilidades de se adaptar ao ambiente, quando eles estavam tendo muito frio ou muito calor. Como exemplo, medidas de adaptação cita-se a abertura de janelas e alteração o vestuário.

Os resultados da pesquisa mostram que 68% dos pacientes foram capazes de ajustar-se ao ambiente térmico alterando vestimenta ou roupa de cama por conta própria, sem precisar de ajuda da equipe de enfermagem. Enquanto 54% indicaram ser capazes de adaptar-se a ambientes térmicos por outras medidas, como a abertura de janelas, acionamento do aquecimento ou resfriamento, sem ajuda da equipe de enfermagem. Nem um único paciente apresentou não ser capaz de se adaptar ao ambiente. Entretanto, dependendo do grau de incapacidade e do estado de saúde do paciente, a oportunidade de se adaptar ao ambiente pode ser restrita, limitando as condições de conforto no ambiente (VERHEYEN ET AL., 2011).

A fim de estudar as exigências térmicas dos pacientes em ambientes hospitalares, Hwang et al., (2007) realizaram um estudo feito em Taiwan, que avaliou 83 alas médicas e cirúrgicas. O estudo foi baseado em uma pesquisa para comparar as recomendações para o conforto térmico segundo padrões da norma ANSI/ASHRAE Standard 55. A comparação dos resultados obtidos de pacientes em hospitais, e em ambientes de escritório em Hong Kong, foi um dos principais objetivos deste estudo.

Os autores concluíram que apenas 40% de todos os ambientes térmicos medidos estavam dentro dos limites da zona de conforto recomendada pela norma ANSI/ASHRAE *Standard 55*. Embora 47% dos

pacientes estavam acima dos limites de umidade recomendados por esta norma, estes estavam aceitando limites de umidade muito mais elevados do que os estabelecidos pela norma, pelo fato de que, segundo os autores, Taiwan apresenta um clima quente e úmido. O estudo também concluiu que os pacientes esperam um ambiente interior mais quente do que a neutralidade, e que preparar um ambiente térmico confortável ajuda a estabilizar os humores dos pacientes e auxilia na recuperação. Em relação às preferências térmicas, o estudo concluiu que no período de verão, o valor de temperatura neutra para os pacientes foi de 24°C e 0,5°C a mais de diferença das pessoas em escritórios. No inverno, a temperatura neutra foi de 22,9°C, apresentando 1,4°C a mais que os resultados dos indivíduos dos escritórios de Hong Kong.

De acordo com Khodakarami (2012), uma temperatura entre 24°C e 26°C é adequada para o conforto térmico em geral. Padrões internacionais recomendam níveis de umidade relativa do ar de 30% a 60%. A Tabela 3 apresenta níveis de temperatura e umidade relativa de algumas pesquisas e normas relacionados ao conforto térmico de pacientes.

Tabela 3 - Níveis de conforto térmico para pacientes de algumas pesquisas e normas

	<b>Umidade Relativa (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>ASHRAE Handbook (2008)</b>	60	21-24
<b>ASHRAE Standard 170</b>	30 (Inverno) 50 (verão)	21-24
<b>ISIAQ (2003)</b>	<60	----
<b>Verheyen</b>	35,7	23,7
<b>Hwanh et al.</b>	----	22,9-24
<b>Khondakarami</b>	30-60	24-26

Fonte: Autor (2015).

Em um projeto de um hospital, a interação entre as pessoas, sistemas e projeto arquitetônico ainda é um campo, em que são necessários mais trabalhos para melhorar o conhecimento de como projetar edifícios e sistemas, que consigam conciliar vários fatores conflitantes para as pessoas que ocupam esses edifícios. No Brasil, ainda são necessárias pesquisas que discutam sobre as condições térmicas desejadas em edifícios hospitalares, a fim de que estes estudos possam refletir na forma de normas e parâmetros para o conforto térmico nestes edifícios.

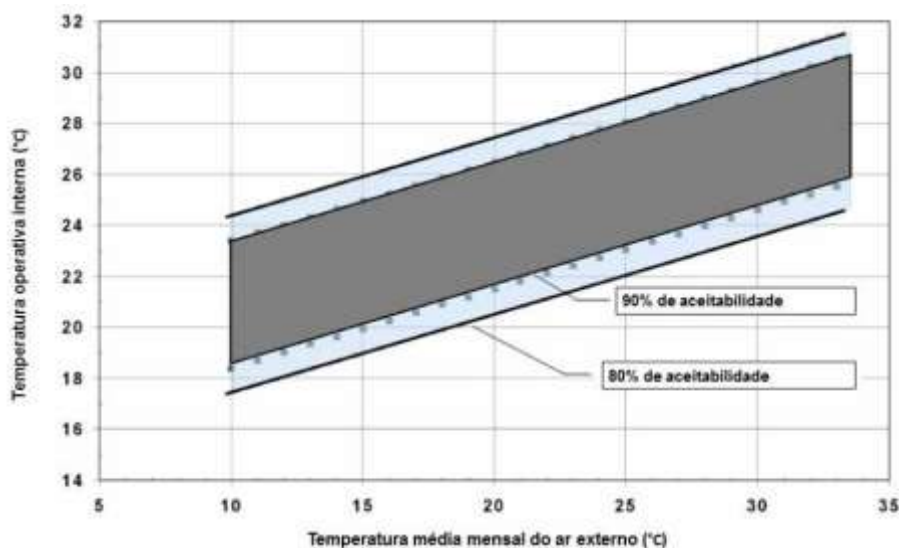
O modelo adaptativo de análise de conforto térmico é baseado na hipótese de que o ser humano tem a tendência natural a se adaptar a diferentes condições ambientais. De acordo com Nicol (2002), o princípio adaptativo considera que se uma mudança ocorre proporcionando desconforto no ser humano, este reage de forma a tentar restaurar novamente o seu conforto.

De acordo com De Dear et al. (1997), a adaptação pode ser interpretada como a gradual diminuição da resposta do organismo ao estímulo ambiental. A adaptação pode ser classificada em três grupos principais:

- a) ajuste comportamental – pessoal, tecnológico ou cultural: compreende modificações conscientes e inconscientes no balanço térmico do corpo;
- b) ajuste fisiológico – adaptação genética e aclimatação: compreende alterações nas respostas fisiológicas resultantes da exposição a fatores ambientais;
- c) ajuste psicológico – percepção térmica: refere a uma alteração da percepção e reação a informação sensorial. A percepção térmica está relacionada a expectativa ao clima interno.

A norma ANSI/ASHRAE *Standard 55 - Environmental Conditions for Human Occupancy* adota o modelo adaptativo, como um método opcional para avaliar o conforto térmico de ambientes naturalmente ventilados. Ainda a norma não apresenta restrições quanto ao uso deste modelo na avaliação da ventilação mecânica. Este método utiliza-se da temperatura operativa como principal indicadora de conforto, e define uma temperatura de conforto em função da temperatura do ar externo (temperatura neutra). A norma define faixas de conforto em relação à temperatura neutra, para índices de 90% e 80% de pessoas satisfeitas, ou aceitabilidade às temperaturas de conforto estabelecidas pelo modelo. O gráfico da Figura 7, apresenta os limites de temperaturas das faixas de conforto térmico.

Figura 7 - Gráfico das faixas de conforto pelo modelo adaptativo



Fonte: ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2013).

Pessoas com capacidade física limitada podem ter sua capacidade adaptativa restringida, portanto uma atenção deve ser dada e este tipo de grupo de usuário. Entretanto, dependendo do tipo de estabelecimento de saúde, das áreas do hospital, assim como do tipo de paciente, de acordo com seu estado de saúde, os usuários destes edifícios podem querer adaptar-se ao ambiente como apresentado na pesquisa de Skoog (2012). Assim sendo, partindo da possibilidade de que os usuários pacientes, dependendo do seu estado de saúde, podem adaptar-se aos ambientes naturalmente e mecanicamente ventilados, utilizou-se nesta pesquisa do modelo adaptativo de análise do conforto térmico.

Apesar de este método ser usualmente aplicado em edificações com usuários saudáveis, e ter surgido por meio de uma base de dados proveniente de edificações de escritórios, a norma europeia EN 15251 (2007) recomenda o método adaptativo para avaliar ambientes naturalmente ventilados, em espaços ocupados que necessitam de condições especiais de conforto. Esta norma divide as edificações em 3 categorias quanto ao nível de expectativa do usuário. A categoria I é destinada aos usuários que necessitam de condições diferenciadas de conforto térmico, como pacientes, idosos e recém-nascidos. Assim, para esta categoria a norma estabelece uma faixa de conforto mais restritiva do que para indivíduos saudáveis, com um intervalo que varia entre +-

2°C, que se aproxima aos limites da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade da ASHRAE Standard 55 (2013) que estabelece uma faixa de conforto que varia entre  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ . Portanto, como pacientes necessitam de níveis mais restritivos de conforto térmico, utilizou-se nesta pesquisa a faixa de conforto para 90% de aceitabilidade de conforto térmico.

Muitos estudos utilizam o modelo adaptativo de conforto térmico para avaliar diferentes tipos de edificações. Porém, poucas pesquisas utilizaram este método para avaliar o conforto térmico em ambientes de assistência a saúde, como a pesquisa desenvolvida por Yau and Chew (2014). Portanto, mais iniciativas que utilizem este método para verificar sua eficácia na avaliação de ambientes de saúde, são necessárias.

## 2.4 ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO PASSIVO EM HOSPITAIS

O condicionamento passivo, em geral, pode abranger medidas e processos que contribuam para o conforto ambiental e a redução da demanda do condicionamento artificial nos edifícios. Estas medidas incluem a prevenção do ganho de calor nos ambientes, por meio do envelope construtivo e do uso da ventilação natural, mecânica e de sistemas de condicionamento híbrido (SANTAMOURIS E ASIMAKOPOULOS, 1996).

Edifícios hospitalares apresentam grande consumo de energia, principalmente para o condicionamento dos seus ambientes. Segundo Short et al (2010), na Inglaterra, cerca de 44% da energia consumida nos hospitais são para o aquecimento dos ambientes, e cerca de 13% é consumida para resfriamento. Portanto, iniciativas por parte de projetistas, profissionais e órgãos governamentais, para reduzir o consumo de energia e melhorar o conforto destes edifícios, por meio de estratégias de condicionamento passivo, estão sendo feitas por meio de pesquisas, normas e guias, em países como Europa e Estados Unidos.

Em um estudo desenvolvido por Khondakarami, Knight e Nasrollahi (2009), por meio de simulação computacional, investigou-se uma variedade de técnicas passivas para o envelope construtivo em dois hospitais monitorados no Irã, como estratégia para alcançar uma faixa de temperatura do ar interior

entre 24°C e 26°C, e reduzir a dependência em relação a sistemas de aquecimento e arrefecimento. As simulações realizadas mostraram que, teoricamente, foi possível reduzir a demanda por aquecimento dos ambientes em até 9%. No caso da demanda por resfriamento, os resultados encontrados indicaram que é possível reduzir a demanda dos hospitais avaliados em cerca de 73%.

Por meio da iniciativa do departamento de saúde do Reino Unido, em diminuir a demanda por energia elétrica e a emissão de CO<sub>2</sub> das edificações hospitalares, Short e Al-Maiyah (2009) desenvolveram um estudo com o objetivo de testar, por meio de simulação computacional, algumas estratégias de condicionamento passivo, a fim de diminuir o consumo de energia de um hospital de médio-porte com 200 leitos. As estratégias propostas foram: ventilação natural simples por meio de janelas; condicionamento por meio de torres de vento; condicionamento híbrido (ventilação natural e mecânica); ventilação mecânica; e o condicionamento somente por ar-condicionado. Os autores constataram que para um hospital de pequeno a médio porte, cerca de 70% da área útil do edifício pode ser total ou parcialmente ventilado naturalmente, e em 10% da área útil pode ser condicionado por meio de um sistema de ventilação híbrido.

Ainda em outro estudo, Short et al. (2010) realizaram um estudo em um hospital de médio porte na Inglaterra, construído em 1960, com a finalidade de avaliar intervenções feitas para otimizar a iluminação e a ventilação natural. Foram investigadas 3 opções de uso da estratégia de condicionamento com o uso da ventilação natural por torres de ventilação. Por meio das simulações realizadas, o estudo concluiu que as estratégias de ventilação utilizadas mostraram uma melhoria acentuada nas condições de conforto térmico. Os resultados de consumo de energia provenientes dos casos simulados com as estratégias passivas propostas, mostraram uma redução de até 22%, em comparação com a construção do prédio atual. O estudo ainda mostrou como os princípios de projeto do edifício, que considere o envelope construtivo em conjunto com a ventilação natural, podem ser utilizados no *retrofit* de edifícios hospitalares a fim de promover uma redução significativa no consumo de energia elétrica.

Segundo o guia *Infection prevention and control of epidemic-and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care* (WHO, 2007), o uso da ventilação e do ar condicionado no ambiente hospitalar tem dois conceitos diferentes. A ventilação tem por finalidade introduzir e distribuir o ar exterior nos ambientes hospitalares, de forma a manter a boa qualidade do ar interior. A finalidade do uso do ar condicionado é manter o ambiente termicamente confortável. Quando a ventilação natural por si só não pode satisfazer os requisitos de ventilação recomendados, sistemas de ventilação alternativos ou mistos devem ser considerados, como a ventilação mecânica.

Como apresentado pelo guia da OMS, a ventilação natural, mecânica ou com sistemas híbridos, apresentam vantagens e desvantagens, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do uso da ventilação natural, mecânica e do condicionamento híbrido.

	<b>Ventilação Natural</b>	<b>Ventilação Mecânica</b>	<b>Condicionamento Híbrido (mix-mode)</b>
<b>Vantagens</b>	Adequada para ser adotada em climas quentes e temperados ; Apresenta um menor custo de implementação, operação e manutenção; Pode alcançar altas taxas de vazão do ar; Apresenta uma maior possibilidade de controle pelos usuários.	Adequada para ser usada em todos os tipos de clima, inclusive em conjunto com o ar condicionado, quando necessário; É passível de um maior controle das variáveis que interferem no conforto; Pode ser controlada pelos usuários.	Adequado para utilização em quase todo o tipo de clima; Menor consumo de energia; Mais flexível;
<b>Desvantagens</b>	Facilmente afetada pelas condições ambientais e pelos comportamento dos usuários; Mais difícil de prever, analisar e projetar; Pode reduzir o conforto em climas quentes, úmidos e frios.	Apresenta um maior custo de instalação e manutenção e pode gerar ruídos.	Tem alto custo; Pode ser mais difícil de projetar.

Fonte: *Infection prevention and control of epidemic-and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care* (WHO, 2007).

No Reino Unido, a política do Serviço Nacional de Saúde tende a limitar a adoção do condicionamento artificial para as principais áreas de tratamento médico que necessitam de controle ambiental, tais como quartos de isolamento e salas de cirurgia. Enfermarias, geralmente, não são obrigadas a ter condicionamento artificial, portanto a ventilação natural através da abertura das janelas é a solução mais comum. Mills (apud WHO, 2009) afirma que um dos maiores usuários de energia em hospitais é o tratamento do ar.

## 2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS HOSPITALARES

Atualmente um dos principais desafios para o setor hospitalar é propor medidas de eficiência energética, desde a concepção do projeto. A componente energética em uma edificação está vinculada a todo o processo de projeto, construção e ciclo de vida do edifício. A participação do Setor de Saúde no consumo de energia elétrica no Brasil vem aumentando devido, principalmente, ao crescimento da quantidade de estabelecimentos, consequência do aumento populacional, do envelhecimento da população e da modernização do setor com o surgimento de novos equipamentos.

O principal insumo energético utilizado no setor hospitalar é a eletricidade, que tem aumentado sua participação no consumo total ao longo do tempo. A energia elétrica é utilizada principalmente nos sistemas de iluminação, ar-condicionado e equipamentos médicos. O perfil de uso de energia de hospitais está relacionado ao perfil do atendimento que é prestado, englobando, número de leitos, complexidade dos serviços e área construída.

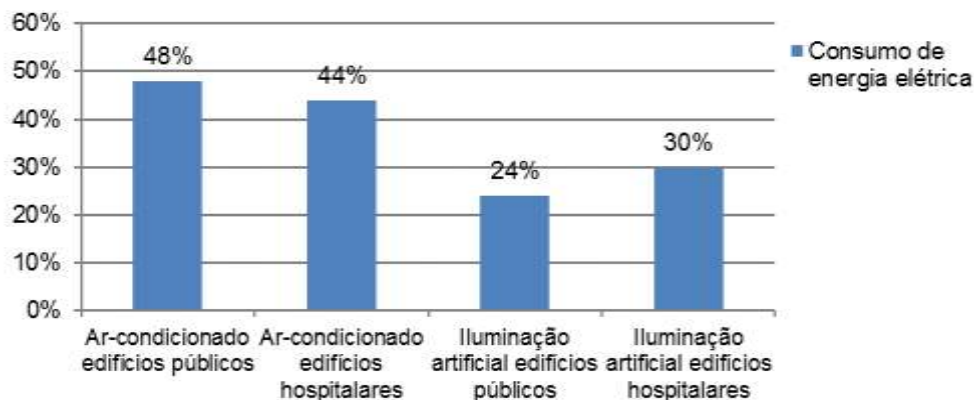
Saidur et al. (2010) desenvolveu uma auditoria energética em um hospital público na Malásia, que verificou que o maior consumo de energia foi do sistema de iluminação artificial (36,3%), seguido dos equipamentos médico-hospitalares (34,5%). Foi observado que a demanda do hospital avaliado, é semelhante à demanda de energia de edifícios comerciais deste país e de outros países como Estados Unidos e Shanghai.

De acordo com Vargas (2006), os edifícios hospitalares possuem características de consumo de energia elétrica similares aos de edificações de propriedade pública com outros tipos de uso, onde se verifica que o maior



consumo é proveniente do ar-condicionado e da iluminação artificial, conforme apresenta o gráfico da Figura 8.

Figura 8 - Perfil de consumo de energia elétrica em prédios públicos e hospitalares



Fonte: Adaptado de Vargas (2006).

Em pesquisa realizada com o objetivo de fazer um diagnóstico para identificar as principais características de consumo de energia elétrica de hospitais públicos de pequeno porte no Brasil, Vargas (2006) levantou resultados de que o consumo de energia elétrica nestes estabelecimentos é da ordem de 1.156 GWh/ano, sendo que esse valor representa 2,31% do consumo de eletricidade do setor comercial no ano de 2005. Esse valor representa ainda, 0,32% do uso de eletricidade no Brasil também para o ano de 2005. O autor faz uma comparação onde demonstra que o consumo equivale ao uso da energia elétrica por 2.300.000 habitantes no período de um ano. Também identificou que os sistemas de iluminação e climatização correspondem, em média, a 60% do uso final de energia, nestes hospitais.

Outro trabalho importante analisou os hospitais com uma divisão por porte, sem fazer distinção clara, em algumas categorias, entre públicos e privados. Szklo, Soares e Tolmasquim (2004) levantaram dados quantitativos sobre a energia utilizada em 20 diagnósticos energéticos completos, bem como entrevistas técnicas realizadas em hospitais brasileiros durante as primeiras fases do estudo. Por meio de uma análise dos diagnósticos, associado com a base da Pesquisa de Assistência Médico-Sanitária do IBGE, os estabelecimentos desta pesquisa foram classificados pelo consumo de energia, resultando em seis categorias: grandes hospitais; hospitais de médio porte,

com altos níveis de conforto; hospitais de médio porte, com níveis de conforto regular ou ruim; hospitais de pequeno porte; hospitais com menos de 50 leitos (<50); hospitais que prestam cuidados unicamente sob o Sistema Único de Saúde (SUS).

O diagnóstico apresenta que, em termos de consumo de energia por categoria, três delas representam, em conjunto, 74% do consumo de eletricidade: grandes hospitais, hospitais de médio porte, com elevados níveis de conforto e hospitais de pequeno porte. As duas primeiras categorias justificam estes resultados de consumo de energia mais elevada, pelo fato de sua oferta de leitos ser responsável por pouco mais de 15% do total da oferta brasileira. Os hospitais de pequeno porte apresentam o maior dado de consumo de energia elétrica, devido ao fato de representar 30% dos leitos disponíveis no Brasil. Embora respondendo por quase um terço da capacidade de leitos disponíveis no Brasil, os hospitais que prestam assistência exclusivamente pelo Sistema Único de Saúde (SUS) representam 8% do consumo total de energia.

Estes resultados indicam a tendência de crescimento do consumo de energia no setor hospitalar. Em termos de requisitos de capacidade de energia, a demanda média por estabelecimento de hospitais, conforme levantado pela pesquisa é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Consumo de energia nos hospitais brasileiros em MWh.



Fonte: Adaptado de Szklo, Soares e Tolamasquim, (2004).

Os hospitais brasileiros têm muitos pontos em comum, principalmente para os principais usos da energia elétrica (ar condicionado, iluminação e

aquecimento de água) que, juntos, podem ser responsáveis por mais de 70% da energia consumida por esses estabelecimentos.

A observação de fatores, tais como: materiais e cores das fachadas, interiores e coberturas; aproveitamento da iluminação natural; uso de ventilação natural podem indicar importantes potenciais de conservação de energia elétrica. Portanto devido a crescente demanda e consumo por energia nos hospitais, é fundamental a busca por projetos que utilizem na sua arquitetura estratégias como a ventilação natural, sombreamento e materiais adequados na envoltória, com vistas a minimizar a carga térmica nos ambientes. Não somente como forma de promover a eficiência energética, mas também para promover o conforto ambiental e benefícios terapêuticos através da humanização que estas soluções podem proporcionar.

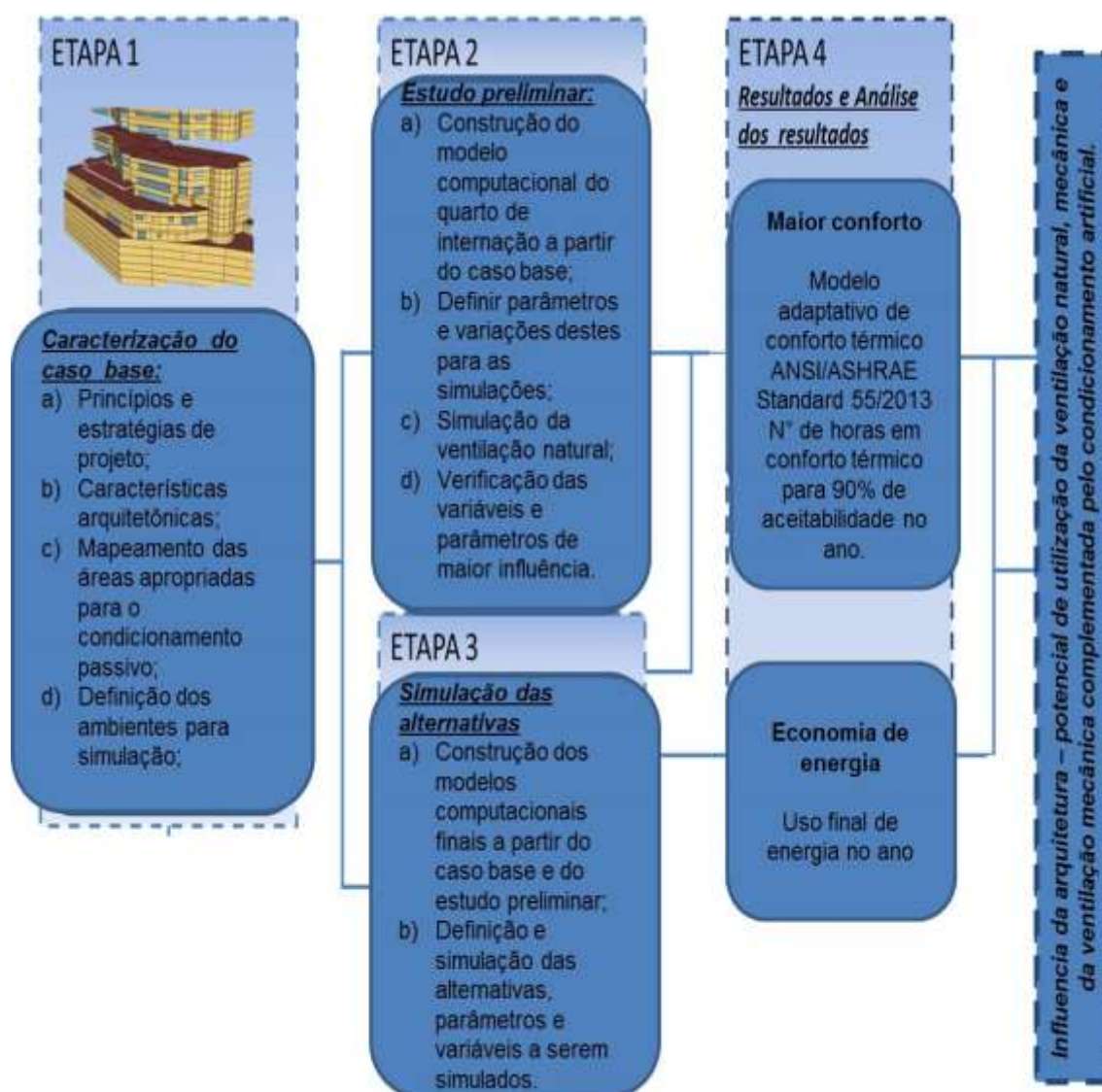
### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Esta pesquisa é de natureza exploratória com etapa quantitativa e baseada em resultados de simulações computacionais, por meio de um estudo que pretende avaliar o potencial de aproveitamento da ventilação natural e mecânica, em um edifício hospitalar no Brasil. Para tal esta pesquisa utilizou-se da simulação computacional por meio do *software EnergyPlus* v.8.1.0.009. Para as simulações foi utilizado o arquivo climático da cidade de São Paulo do tipo TRY, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE, 2013). Esta pesquisa tem como caso base o pavilhão Vicky e Joseph Safra, na Unidade Morumbi do Hospital Israelita Albert Einstein, localizado na cidade de São Paulo. Os procedimentos metodológicos estão divididos em quatro etapas. Conforme demonstrado na figura 10.

Na primeira etapa foi realizada a caracterização do caso base, onde foram levantadas todas as informações relevantes sobre o Pavilhão Vicky e Joseph Safra, como as documentações e informações relativas ao seu projeto arquitetônico, e sobre o funcionamento e operação de suas unidades hospitalares. Quanto ao projeto de arquitetura do pavilhão, foram coletadas informações sobre o uso de estratégias passivas que foram aplicadas ao projeto do hospital. Assim como sobre os materiais construtivos utilizados, principalmente na envoltória do edifício. Realizou-se um mapeamento das

áreas do hospital a fim de identificar quais as unidades hospitalares onde é permitido o uso do condicionamento passivo por meio da ventilação natural e mecânica. Este mapeamento foi realizado em conformidade com a norma RDC nº50 de 2004, obedecendo a critérios obrigatórios para o controle de infecção hospitalar e qualidade do ar interno em EAS. Também foram coletadas informações sobre o processo de certificação ambiental do pavilhão hospitalar, com o foco nos dados e resultados das simulações realizadas para obtenção dos créditos relacionados à eficiência energética e conforto ambiental.

Figura 10 - Etapas dos procedimentos metodológicos



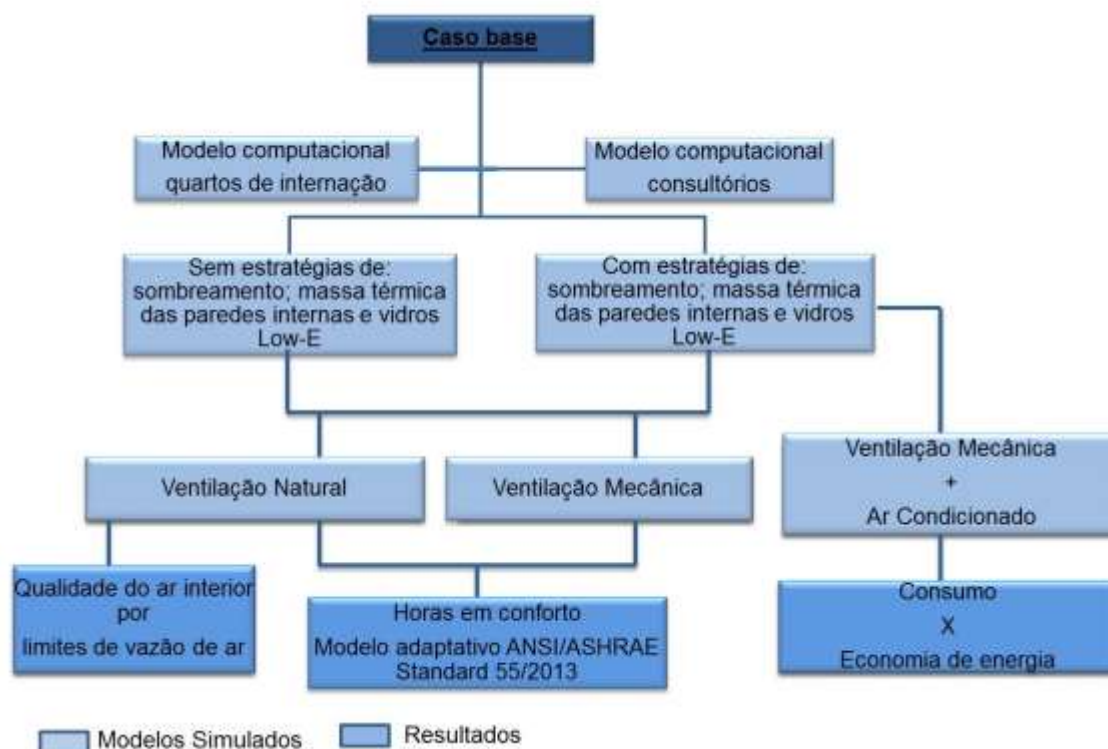
Fonte: Autor (2015).

Na segunda etapa foi desenvolvido um experimento preliminar, baseado na edificação selecionada como caso base. Foram desenvolvidos modelos de simulação dos quartos de internação hospitalar, com base no projeto dos quartos da unidade de internação (*DayClinic*) do Pavilhão Vicky e Joseph Safra. As primeiras simulações por meio do software *EnergyPlus* foram realizadas com o objetivo de gerar resultados que serviram como norteadores para a definição das diferentes alternativas de variações de parâmetros relativos às simulações que foram realizadas na terceira etapa da pesquisa. Nesta etapa, que serviu para a validação dos procedimentos metodológicos, considerou-se apenas testar a estratégia do condicionamento de ar por meio da ventilação natural, variando os parâmetros de modelagem da rede de ventilação no software *EnergyPlus*.

A terceira etapa foi a definição e simulação das diferentes alternativas geradas a partir das primeiras simulações realizadas na etapa anterior. A partir do mapeamento realizado na primeira etapa da pesquisa, foi definido que os ambientes com maior potencial e passível de aplicação do condicionamento de ar por meio da ventilação natural e mecânica foram os quartos de internação hospitalar e os consultórios médicos.

Para avaliar o potencial da utilização da ventilação natural e mecânica, e o potencial de economia de energia da utilização da ventilação mecânica complementada pela climatização artificial, foram desenvolvidos os modelos computacionais destes ambientes selecionados, provenientes do caso base. Foram desenvolvidas diferentes alternativas de simulação para os quartos de internação e consultórios, com a variação de alguns parâmetros de modelagem. Os procedimentos realizados nas etapas 3 e 4, foram realizados conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Procedimentos realizados nas etapas 3 e 4



Fonte: Autor (2015).

Por meio dos dados climáticos da cidade de São Paulo e do Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220 -3 (ABNT, 2005) foram definidas outras estratégias bioclimáticas conforme a carta bioclimática de Givoni (1992), além das estratégias de condicionamento de ar, como: o sombreamento das janelas, massa térmica das paredes internas, utilização de vidros *Low-E*. Estas estratégias foram simuladas em conjunto com a ventilação natural e a ventilação mecânica. Foram também simulados modelos dos quartos e consultórios com o condicionamento de ar, e sem o uso destas outras estratégias bioclimáticas adotadas, a fim de quantificar os seus benefícios.

Na quarta etapa foram realizados o processamento e a análise dos resultados dos diferentes modelos simulados na etapa anterior, onde foi avaliado o potencial de aproveitamento da ventilação natural, atendendo a limites de taxas de vazão de ar para manter os padrões de qualidade do ar interno. Foram também avaliados o potencial de aproveitamento da ventilação mecânica, e o consumo e a economia de energia da utilização da ventilação mecânica complementada pelo condicionamento artificial. Estes resultados

foram obtidos diretamente do *software EnergyPlus*, por meio de relatórios (*output*) gerados pelo programa.

Cada modelo foi analisado a fim de verificar a quantidade de horas no ano com o potencial de utilização do condicionamento de ar por meio da ventilação natural e mecânica. Para tal foi utilizado o modelo adaptativo de análise de conforto térmico da ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2013). A fim de manter a qualidade do ar interior foram utilizados os limites de taxa de vazão de ar do guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009), e a ANSI/ASHRAE *Standard 62.1* (ASHRAE, 2007).

Para avaliar o consumo e a economia de energia com a aplicação da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado foram calculados os dados de consumo de energia por uso final e total, durante o período de um ano. Também foram simulados modelos com uso apenas do ar condicionado. Os resultados de consumo das alternativas simuladas com esta estratégia de condicionamento do ar e somente com o uso do ar condicionado, foram comparadas a fim de se obter economia de energia cada estratégia.

### 3.1 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

A avaliação do conforto térmico proposto pelo modelo adaptativo, presente na ANSI/ASHRAE *Standard 55* (2013), pode ser aplicado para ambientes naturalmente ventilados em que os ocupantes podem controlar as aberturas e adaptar-se ao ambiente, por exemplo, mudando sua vestimenta. Pelos critérios de avaliação com o uso da ventilação natural, os ambientes não podem ter sistema de climatização artificial. Contudo, como colocado no Apêndice I da norma, em ambientes com ventilação mecânica sem o condicionamento do ar para resfriamento ou aquecimento, o modelo adaptativo também pode ser aplicado. Portanto, para avaliar o potencial de uso do condicionamento de ar pela ventilação natural e pela ventilação mecânica, optou-se nesta pesquisa por adotar este modelo.

A principal justificativa para adotar este modelo foi a falta de uma norma ou guia brasileiro que estabeleça critérios e parâmetros específicos para avaliar o conforto térmico em ambientes hospitalares. A ANSI/ASHRAE *Standard 55*

(2013) é adotada nos processos de certificação do selo LEED para a verificação dos critérios relacionados ao conforto térmico, o qual já certificou alguns hospitais brasileiros como o Pavilhão Vicky e Joseph Safra. Portanto, na falta de uma norma brasileira com critérios específicos de conforto térmico para nortear a utilização da ventilação natural e mecânica sem o condicionamento do ar, optou-se por aplicar esta norma, que possui critérios de conforto térmico para o uso da ventilação natural e mecânica.

Por se estar avaliando o desempenho térmico dos quartos de internação e dos consultórios, optou-se nesta pesquisa em focar no usuário paciente, que está mais debilitado fisicamente, requerendo níveis diferenciados de conforto térmico. Sendo assim, para avaliar os dados horários de temperaturas operativas foi utilizada a faixa de conforto de 90% de aceitabilidade de acordo com os limites do modelo adaptativo presente na ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2013). Segundo a norma, esta faixa de conforto é aplicável quando o ambiente requer níveis mais restritos de conforto para seus ocupantes, no que diz respeito ao desempenho térmico do ambiente.

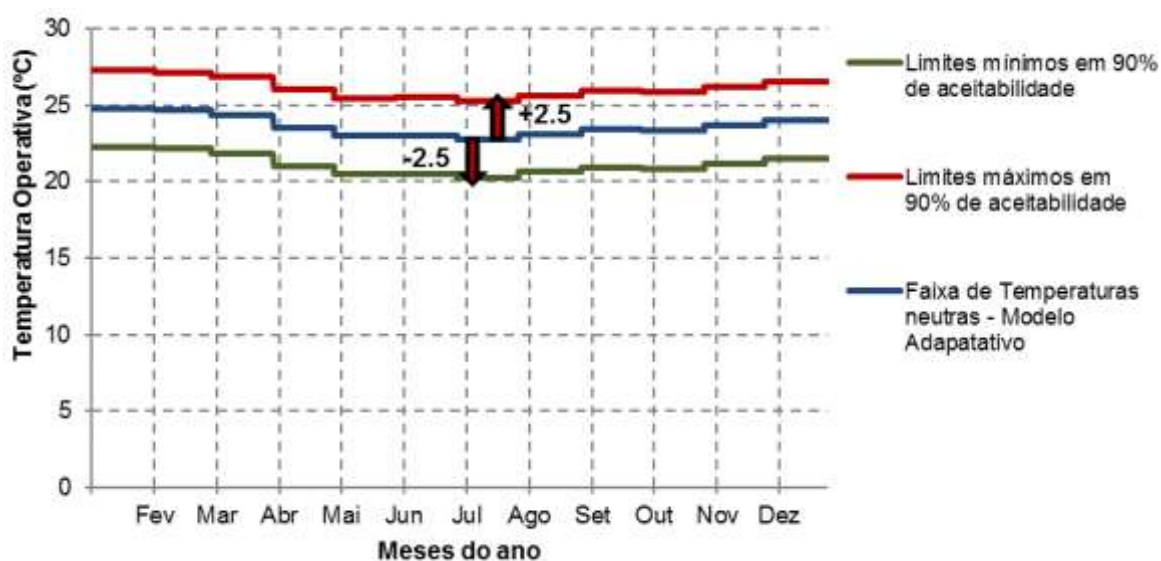
Os resultados para horas em conforto térmico foram analisados para um ano inteiro, de acordo com os padrões de ocupação dos quartos e consultórios. Assim sendo, considerou-se que quando os dados horários de temperatura operativa estão dentro dos limites máximos e mínimos da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade, o condicionamento por meio da ventilação natural ou mecânica está sendo utilizado. Nas horas em desconforto por calor ou por frio, quando os dados horários de temperatura operativa nas zonas ficam acima ou abaixo dos limites para a faixa de 90% de aceitabilidade, assumiu-se a utilização do condicionamento artificial para resfriamento ou aquecimento das zonas térmicas. Foram também considerados os valores horários das temperaturas de bulbo seco no ano, por meio dos dados fornecidos pelo arquivo climático. Estes resultados de temperaturas do ar externo foram relacionados com os limites máximos e mínimos da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade, e com os dados de temperaturas operativas nas zonas térmicas do modelo computacional.

Para cada um dos modelos simulados com a ventilação natural e mecânica, foram extraídos os dados horários de temperatura operativa neutra durante o ano inteiro por meio do relatório *Zone Thermal Comfort ASHRAE 55*



*Adaptive Model Temperature [C°]*, fornecido pelo *EnergyPlus*. Por meio destes resultados foi estabelecida a faixa dos limites máximos de temperatura operativa com o acréscimo de  $+2.5^{\circ}\text{C}$  aos dados de temperaturas operativas neutras, e a faixa dos limites mínimos com o decréscimo de  $2.5^{\circ}\text{C}$  (Figura 12). Neste caso, para o cálculo das temperaturas operativas neutras nas zonas térmicas, o *EnergyPlus* utiliza os dados de temperatura exterior média mensal, por meio do cálculo das temperaturas médias diárias dos 30 dias anteriores.

Figura 12 - Faixa de conforto para 90% de aceitabilidade para os modelos simulados



Fonte: Autor (2015).

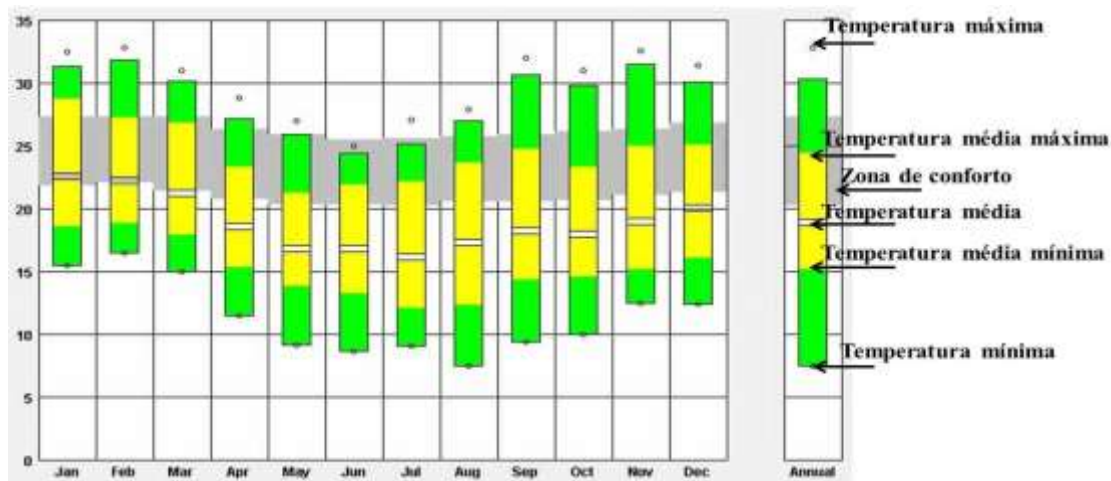
### 3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA CIDADE DE SÃO PAULO

Segundo a classificação de Köppen, o clima da cidade de São Paulo é considerado subtropical úmido, com estações bem definidas, com invernos brandos e com poucas chuvas, e verão com temperaturas moderadamente altas. De acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro da norma NBR 15220 (2005), a cidade de São Paulo está localizada na zona bioclimática 3.

Na análise do arquivo climático feita com uso do *software Climate Consultant v.5.4*, os meses de verão na cidade de São Paulo apresentam temperaturas médias em torno de  $22^{\circ}\text{C}$ , tendo as médias das máximas em torno de  $25^{\circ}\text{C}$ , chegando até  $28^{\circ}\text{C}$ , e as médias das mínimas em  $18^{\circ}\text{C}$ . Os meses de inverno têm temperaturas médias em torno dos  $16^{\circ}\text{C}$ , e médias das

máximas de até 25°C e médias das mínimas em torno de 13°C (Figura 13). A umidade relativa varia entre 60% e 80%.

Figura 13 - Temperaturas médias, máximas e mínimas da cidade de São Paulo.

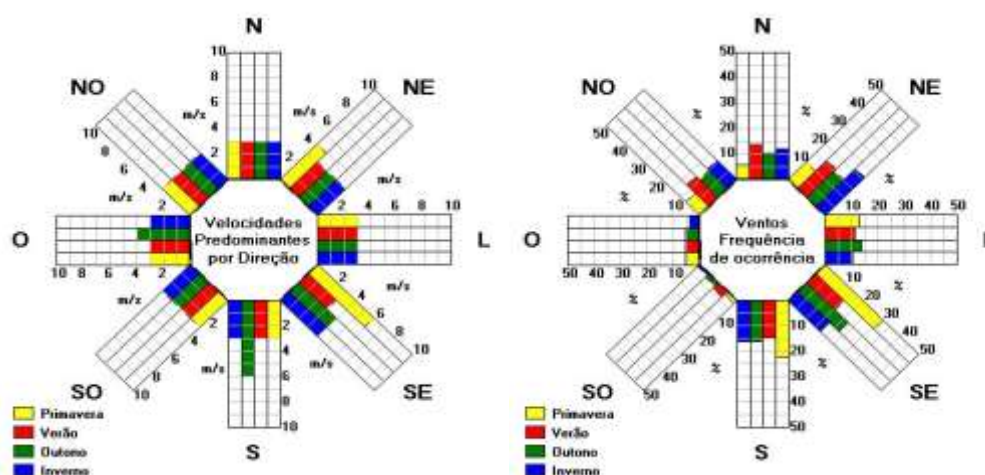


Fonte: *Climate Consultant v.5.4* (2015).

No final do outono, no inverno e início da primavera as temperaturas médias e médias das mínimas estão consideravelmente abaixo da zona de conforto, demonstrando a necessidade de se elevar a temperatura dos ambientes, por meio de ganho de calor. No verão, como as temperaturas máximas podem passar dos 30°C, existe a necessidade de reduzir o ganho de calor, e também permitir perdas de calor nos ambientes.

O vento de maior frequência de ocorrência e velocidades predominantes durante o ano é o Sudeste, e em segundo o vento nordeste, como mostra a figura 14. Levando em consideração os ventos nas estações do ano, no verão os ventos nordeste e sudeste têm comportamentos semelhantes. Entretanto, no inverno o vento sudeste apresenta maiores velocidades, enquanto que o vento nordeste apresenta maior frequência de ocorrência. Nos equinócios, o vento sudeste possui maior frequência de ocorrência e velocidades predominantes em relação às outras direções. No caso da cidade de São Paulo, a direção do vento com possibilidade de um melhor aproveitamento é o vento sudeste. Os ventos provenientes do quadrante sul apresentam maiores velocidades e frequência de ocorrência.

Figura 14 - Ventos de maior predominância e frequência de ocorrência na cidade de São Paulo



Fonte: Sol-AR (2015).

De acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro da ABNT/NBR 15220 -3 (ABNT, 2005), as diretrizes que devem ser atendidas para um melhor desempenho térmico de edificações residenciais, para o clima de São Paulo são: aberturas para ventilar no verão com áreas médias, sombreamento das aberturas no verão de modo a permitir sol no inverno, vedações externas leves e refletoras para reduzir o ganho de calor pela envoltória, e vedações internas com inércia térmica. A Figura 15 mostra as diretrizes para o projeto da Zona Bioclimática 3, segundo a classificação bioclimática dos municípios brasileiros, conforme a ABNT/NBR 15220-3.

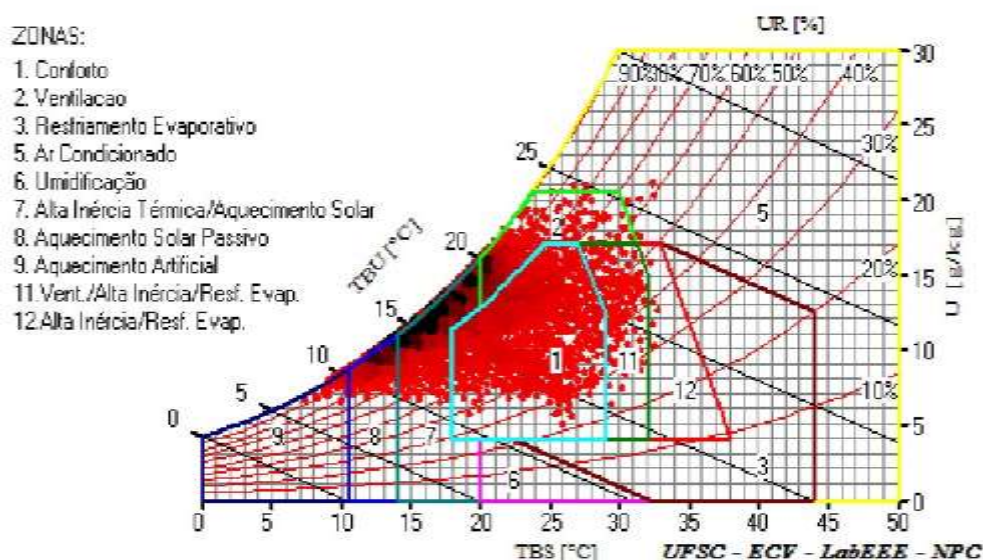
Figura 15 - Diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 3.



Fonte: ZBBR – Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros v 1.1 (2015).

De acordo com a carta bioclimática de Givoni (Figura 16), fornecida pelo software *Analyses Bio 2.2*, foi possível ver, de acordo com os dados climáticos para a cidade de São Paulo, fornecidos pelo arquivo TRY, quais as estratégias bioclimáticas a serem adotadas para esta cidade. De acordo com os dados fornecidos, as estratégias a serem utilizadas são a ventilação natural em 14,3% das horas no ano em períodos de temperaturas em desconforto pelo calor. No período frio a utilização da massa térmica para aquecimento em 48,3% das horas no ano e o aquecimento solar passivo em 10,4%, e o sombreamento em 36,6% das horas no ano.

Figura 16 - Carta Bioclimática para a cidade de São Paulo



Fonte: *Analyses Bio 2.2* (2015).

Considerando a análise bioclimática feita por meio dos dados fornecidos pelo *Climate Consultant v.5.4*, *Analyses Bio 2.2* e considerando as diretrizes bioclimáticas da ABNT NBR 15220 -3 (ABNT, 2005), adotou-se para esta pesquisa avaliar por meio da simulação computacional no software *EnergyPlus* o uso da ventilação natural, mecânica e da ventilação mecânica complementada pelo condicionamento artificial, em conjunto com outras estratégias bioclimáticas. Conforme o esquema do Quadro 3, também assumindo que os quartos de internação possuem características de uso e ocupação semelhantes aos quartos de uma residência, são apresentadas as estratégias bioclimáticas adotadas nesta pesquisa para às simulações.

Também são listados os parâmetros de simulação adotados na modelagem destas estratégias.

Quadro 3 - Estratégias bioclimáticas adotadas na pesquisa

<b>Estratégia de Controle</b>	<b>Estratégias de Projeto</b>	<b>Parâmetros de simulação</b>
Promover perdas de calor por convecção	Ventilação Natural	Fator de abertura da janela- 30% e 60% Setpoint da ventilação natural – 24°C Schedule ventilação natural – 24 horas Tipo de controle da ventilação natural – por temperatura (24°C)
Evitar o ganho – minimizar o ganho de calor pela radiação solar	Sombreamento das janelas Vidros com baixa emissividade Vedação externa com baixa transmitância térmica	Persiana horizontal com aletas flexíveis de alumínio com fechamento máximo em 45° Vidro Low-E – FS 38% Parede de alvenaria com revestimento de porcelanato encaixilhado (“Fachada ventilada”)
Evitar perdas – diminuir a amplitude térmica	Inércia térmica	Paredes internas – Bloco concreto

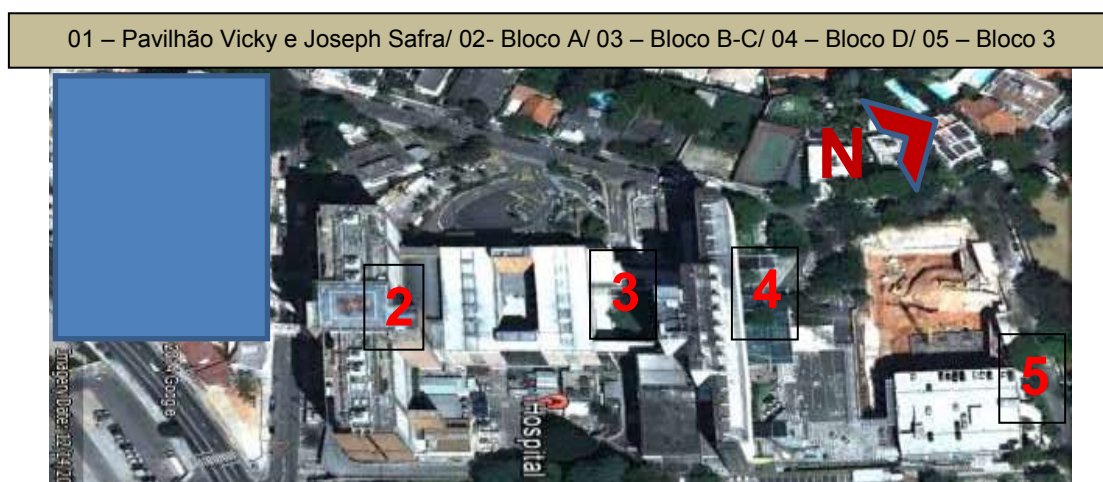
Fonte: Autor (2015).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO BASE

Para a pesquisa foram estabelecidos os critérios de selecionar um hospital de médio porte com até 50 leitos e tipologia verticalizada, por esta ser a tipologia predominante atualmente nos projetos hospitalares. A partir destes critérios gerais, foi selecionado o Pavilhão Vicky e Joseph Safra, do Hospital Israelita Albert Einstein, que além de preencher a todos estes critérios, também dispõe de todas as informações sobre o projeto. Um fator que também favoreceu a escolha deste edifício como caso base, é que se constatou por meio das informações de projeto, que foi priorizado o uso apenas do sistema artificial para o condicionamento do edifício, não considerando estratégias de condicionamento passivo, sombreamento ou massa térmica.

Localizado no Bairro do Morumbi, o Hospital Israelita Albert Einstein é um estabelecimento de saúde de alta complexidade, composto por 5 blocos conforme mostra a Figura 17. Atualmente a sua área total construída é de 86.000m<sup>2</sup>, possui 489 leitos hospitalares, 28 salas de cirurgia e 100 consultórios. O Pavilhão Vicky e Joseph Safra, também chamado de Centro de Medicina Ambulatorial, é o mais recente pavilhão do complexo com área total construída de 70.000m<sup>2</sup>, destinado a abrigar procedimentos ambulatoriais e a atender pacientes que necessitam de tratamentos menos complexos. O edifício conta com mais de 200 consultórios médicos, 20 salas de cirurgia, 41 apartamentos de internação e centro de diagnósticos.

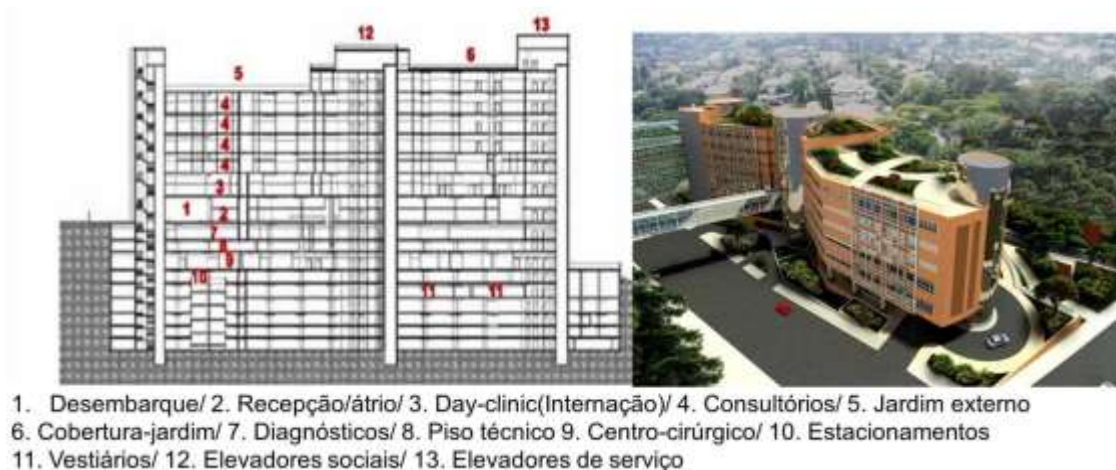
Figura 17 - Implantação do complexo do Hospital Israelita Albert Einstein



Fonte: Google Earth (2015, adaptado pelo autor).

O edifício é de tipologia verticalizada, com o total de 16 pavimentos. O acesso principal, no térreo, praticamente secciona o pavilhão em torre e embasamento semienterrado. Este possui 6 subsolos de estacionamento e é ocupado pelas unidades do centro cirúrgico e de diagnósticos, além de um pavimento técnico. A torre possui 7 pavimentos, sendo um com a unidade de internação/*day-clinic*, 5 pavimentos de consultórios e o térreo (Figura 18). A Figura 18 mostra uma imagem com uma perspectiva em 3D do Pavilhão hospitalar.

Figura 18 – Corte e perspectiva do Pavilhão Vicky e Joseph Safra



Fonte: Kahn do Brasil (2009).

O Pavilhão Vicky e Joseph Safra foi o primeiro hospital no mundo a obter a certificação LEED Ouro. Como forma de reduzir o consumo de ar condicionado sua fachada é composta por vidros de alto desempenho *Low-E*, fixados com silicone estrutural, com vidros duplos e insulados com micro persianas internas, e revestimento de porcelanato encaixilhado, formando uma fachada ventilada. Estas estratégias incorporadas no projeto original do edifício foram mantidas nesta pesquisa como formas de controle do ganho de calor nos modelos simulados dos ambientes de quartos de internação e consultórios. O conceito de sustentabilidade é aplicado no edifício por meio de outros elementos como tetos verdes, que assim como as fachadas contribuem para a redução de carga térmica no interior dos ambientes do último pavimento.

### 3.3.1 Modelo Computacional do Quarto de Internação Hospitalar

A geometria deste modelo foi criada a partir do pavimento da unidade de internação do hospital selecionado e do mapeamento realizado na primeira etapa do desenvolvimento do estudo. Para as simulações, a área mapeada corresponde a todos os quartos de internação que se encontram no perímetro do pavimento e que possuem aberturas para o exterior, contabilizando uma área total de 1209,65m<sup>2</sup> com a possibilidade do uso de condicionamento por meio da ventilação natural e mecânica. Para a elaboração dos modelos

computacionais, delimitou-se uma parcela do pavimento de internação, e por meio da área selecionada foi definida a geometria do modelo simulado (Figura 19 e 21).

Da área da unidade de internação delimitada selecionaram-se dois apartamentos de internação em duas orientações diferentes de fachada: um na orientação nordeste e outro na orientação sudoeste. Os apartamentos são suítes, mas para este estudo somente foi considerado o ambiente do quarto como zona térmica de interesse, mantendo a sua geometria e sua orientação como no projeto existente e desconsiderando o banheiro nas análises de conforto térmico (Figura 20 e 21). As dimensões de cada zona são:

- Zona 1 e 2 (quartos) = área 32,50m<sup>2</sup>
- Pé-direito = 2,60m

Para o modelo simulado considerou-se que cada quarto possui uma janela com dimensões de 3,45m de largura por 1,20m de altura e peitoril 1,10m. O sistema de abertura é do tipo Maxim-ar, além de uma porta contígua ao corredor de dimensões 1,10m de largura e 2,10m de altura.

Figura 19 - Pavimento da unidade de internação do Pavilhão Vicky e Joseph Safra



Fonte: Autor (2015).

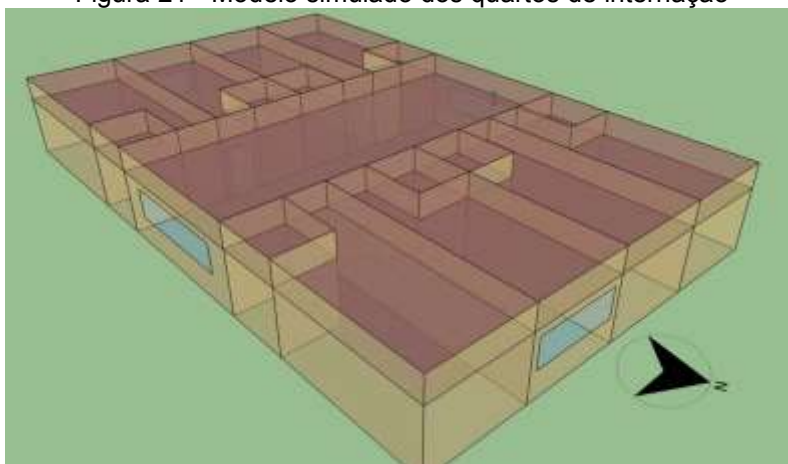


Figura 20 - Planta baixa das zonas dos quartos de internação



Fonte: Autor (2015).

Figura 21 - Modelo simulado dos quartos de internação



Fonte: Autor (2015).

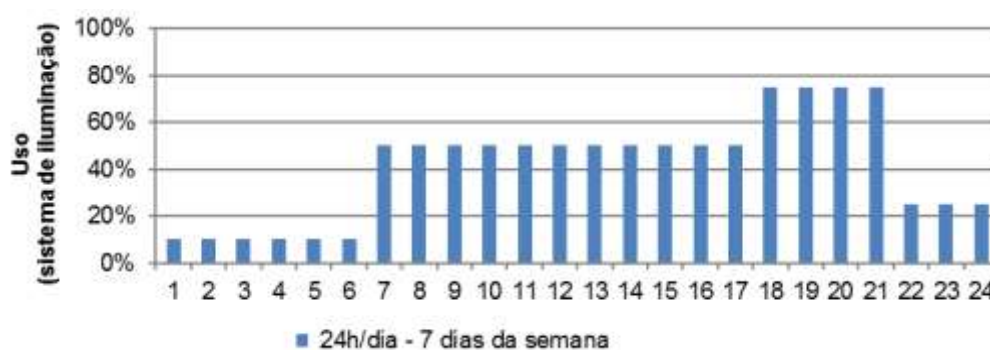
Os padrões de ocupação, e de uso da iluminação e dos equipamentos foram confeccionados com base nas características reais de como é o funcionamento do Pavilhão Vicky e Joseph Safra, assim como de outros hospitais-dia. Os apartamentos de internação têm ocupação 24 horas por dia e 7 dias na semana. Foi estabelecido para a modelagem que o hospital tem como padrão de ocupação 100% de seus apartamentos com pacientes internados. Foi considerado que durante o período de internação do paciente, o quarto seria ocupado por este e por um acompanhante (Tabela 4).

Na modelagem do sistema de iluminação, foi estabelecido que durante o dia, no período da manhã e da tarde até às 18h, ha a possibilidade de uso da iluminação natural, tendo em média um uso de 50% da iluminação artificial disponível nos quartos de internação. Até às 22 horas o uso do sistema diminui passando a funcionar 25%, sendo que depois das 24 horas até às 6 horas da manhã, apenas 10% da iluminação artificial está em funcionamento. O período

de maior utilização é das 18h até às 22h. O padrão de uso do sistema de iluminação é demonstrado no gráfico da Figura 22.

As simulações foram realizadas com 100% dos equipamentos funcionando durante as 24h horas do dia, nos 7 dias da semana.

Figura 5 - Padrão de uso: Iluminação



Fonte: Autor (2015).

As cargas internas foram definidas de acordo com a ANSI/ASHRAE *Standard* 90.1 (ASHRAE, 2013) estão apresentadas na tabela 4. Estas cargas foram adicionadas aos padrões de uso e ocupação do edifício. O valor da atividade metabólica, relacionado às cargas internas de pessoas em cada zona foi definido de acordo com o recomendado pela ANSI/ASHRAE *Standard* 55 (ASHRAE, 2013).

Tabela 4 - Cargas Internas

Quartos internação – zona 1 e 2	
Cargas Internas	Valor
Ocupação – Pessoas	N° de pessoas = 2
Sistema de iluminação (W/m <sup>2</sup> )	Densidade de potência: 8 W/m <sup>2</sup>
Equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	Densidade de potência: 5 W/m <sup>2</sup>

Fonte: Autor (2015).

### 3.3.2 Modelo Computacional do Consultório Ambulatorial

O modelo computacional das zonas de consultórios foi criado também a partir do mapeamento das áreas do hospital passíveis da aplicação das estratégias de condicionamento avaliadas nesta pesquisa. Os consultórios localizados no perímetro dos pavimentos tipo com aberturas voltadas ao exterior, são os ambientes passíveis do uso do condicionamento por meio das 3 estratégias avaliadas. Os ambientes de consultórios localizados no interior do pavimento, e que não possuem abertura para o exterior do edifício, somente é possível o condicionamento por meio da ventilação mecânica e mecânica complementada pelo condicionamento artificial (Figura 23). A área total mapeada, considerando o somatório de todos os pavimentos tipo de consultórios do Pavilhão Vicky Joseph Safra, é de 3.431,32m<sup>2</sup>.

Para a modelagem das zonas de consultórios, foram utilizadas as dimensões do projeto original do caso base. Foi selecionada uma parte da área do pavimento tipo dos consultórios, com a mesma porção de área compatível com a área selecionada para os modelos dos quartos de internação. Portanto além da geometria, a orientação das zonas de consultórios adotada nas simulações corresponde à orientação da implantação existente, estando uma zona à nordeste e a outra a sudoeste (Figura 24 e 25).

Figura 23 - Pavimento tipo dos consultórios do Pavilhão Vicky e Joseph Safra



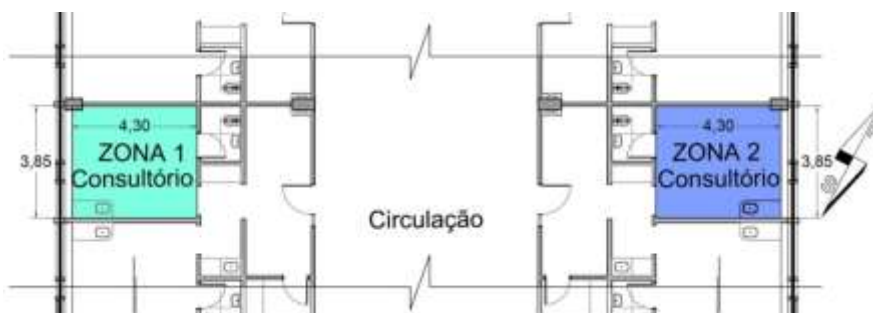
Fonte: Autor (2015).

Da área selecionada, foram modeladas duas zonas que correspondem as salas de atendimento dos consultórios. No projeto, os consultórios também possuem um banheiro, um ambiente de apoio e uma sala de espera. Entretanto, optou-se nesta pesquisa por desconsiderar estes ambientes e apenas considerar como zona térmica as salas de atendimento ambulatorial, como demonstrado nas Figura 24 e 25. As dimensões de cada zona são:

- Zona 1 e 2 (quartos) = área 19,77m<sup>2</sup>
- Pé-direito = 2,60m

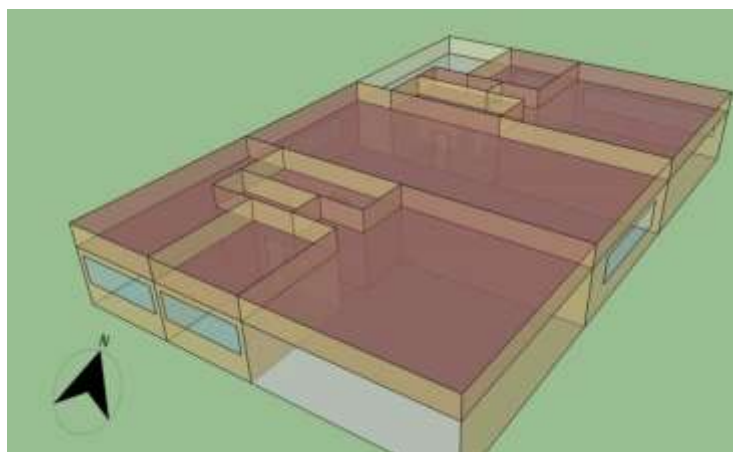
Os modelos de consultórios também possuem os mesmos tipos de esquadrias como modeladas nas zonas dos quartos de internação. A janela tem dimensões de 3,45m de largura por 1,20m de altura e peitoril 1,10m, e o sistema de abertura é do tipo Maxim-ar. E a porta que dá acesso às zonas tem dimensões 1,10m de largura e 2,10m de altura, e é contígua ao ambiente de apoio.

Figura 24 - Planta baixa das zonas dos consultórios



Fonte: Autor (2015).

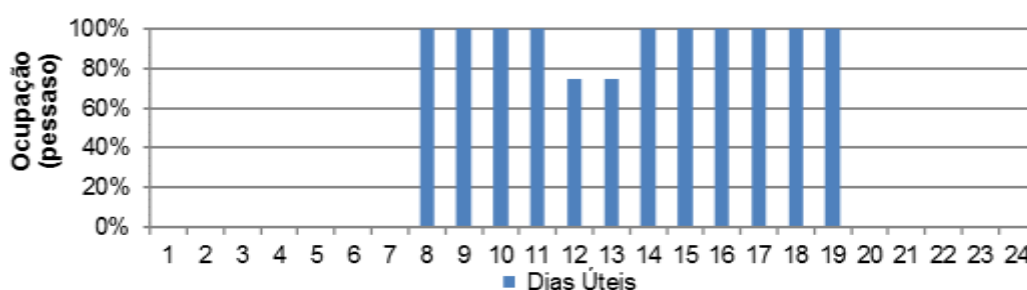
Figura 25 - Modelo simulado dos consultórios ambulatoriais



Fonte: Autor (2015).

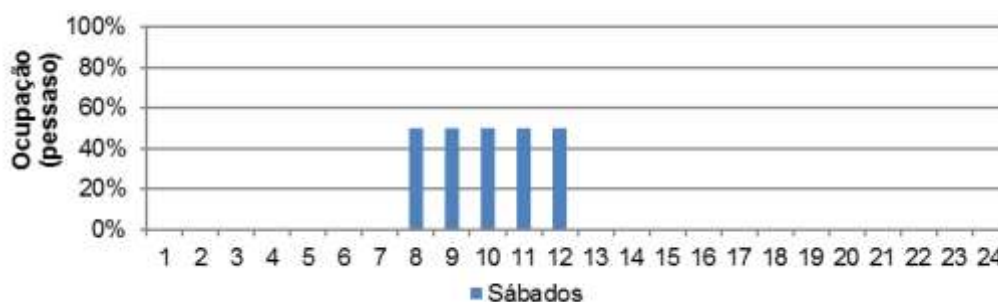
Os padrões de uso e ocupação das zonas de consultórios foram modelados de acordo com o funcionamento do Pavilhão Vicky e Joseph Safra. Os consultórios têm como característica atender nos dias úteis e nos sábados no período da manhã, sendo que no domingo não são ocupados. De segunda a sexta-feira, as zonas foram programadas para ter ocupação de 100% das 8h da manhã até o meio-dia, e das 14h até as 20h. No período entre o meio-dia até as 14h, a ocupação é de 75%, por se tratar do intervalo de almoço. Aos sábados, foi programado que as zonas serão ocupadas das 8h até as 12h (Figura 26 e 27).

Figura 26 - Padrão de uso: ocupação dos consultórios em dias úteis



Fonte: Autor (2015).

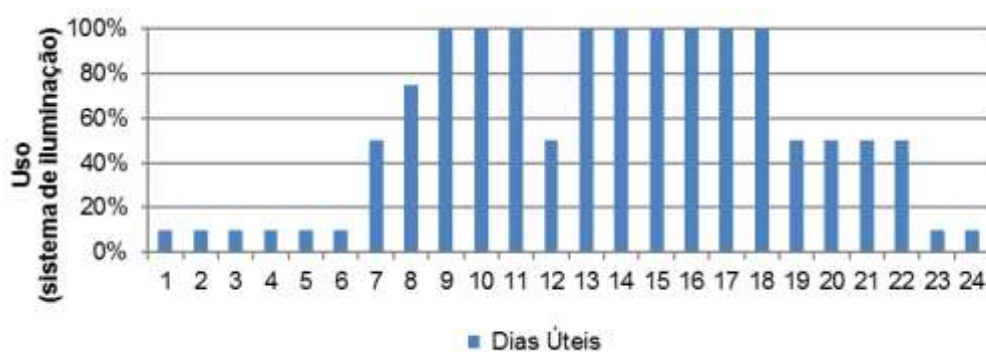
Figura 27 - Padrão de uso: ocupação dos consultórios aos sábados



Fonte: Autor (2015).

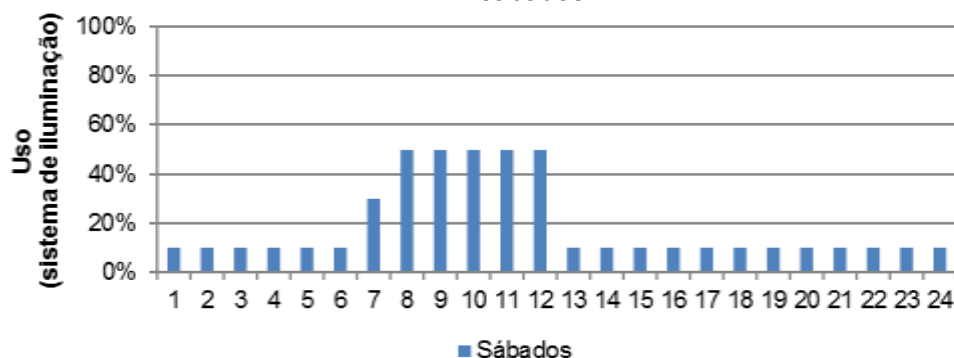
O sistema de iluminação foi programado paralelo ao padrão de ocupação dos consultórios. O padrão de uso do sistema de iluminação nos dias úteis e aos sábados é mostrado nos gráficos das Figuras 28 e 29.

Figura 28 - Padrão de uso: sistema de iluminação em dias úteis



Fonte: Autor (2015).

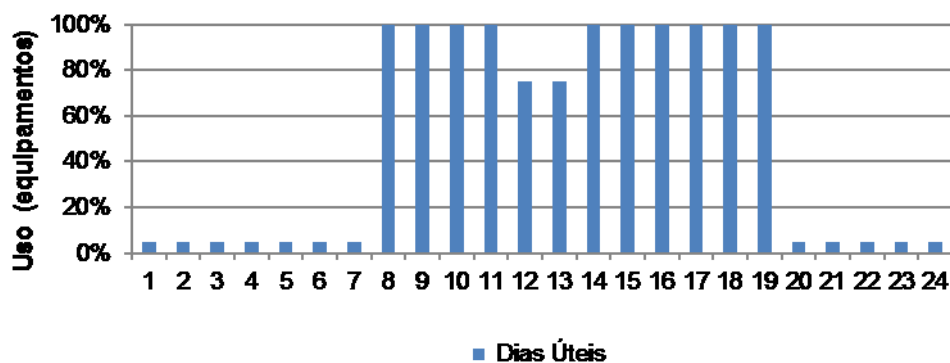
Figura 29 - Padrão de uso: sistema de iluminação aos sábados



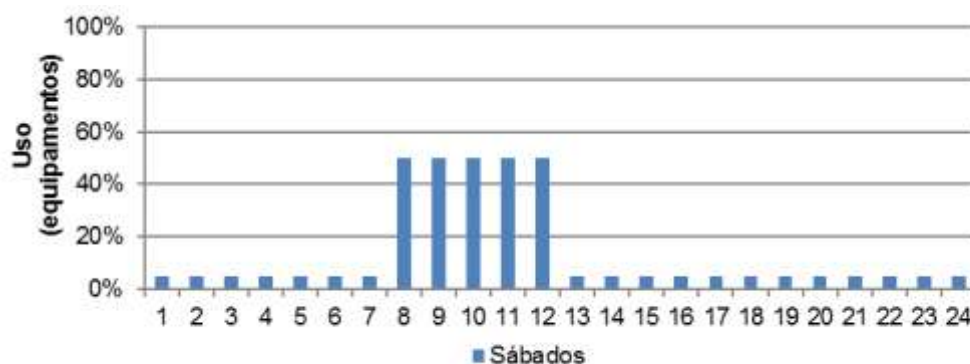
Fonte: Autor (2015).

Durante as horas ocupadas, 100% dos equipamentos estão em funcionamento nos dias úteis, das 8h ao meio-dia e das 14h até as 19h. No período entre 12h até 14h, 75% estão funcionando. No período da noite até as primeiras horas da manhã as zonas não são ocupadas, portanto considerou-se que apenas 5% dos equipamentos estão em funcionamento (Figuras 30 e 31).

Figura 30 - Padrão de uso: equipamentos em dias úteis



Fonte: Autor (2015).  
 Figura 31 - Padrão de uso: equipamentos aos sábados



Fonte: Autor (2015).

As cargas internas adicionadas aos padrões de uso e ocupação foram definidas de acordo com a ANSI/ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE, 2013), e estão demonstradas na Tabela 5. O valor da atividade metabólica por pessoa de acordo com a ocupação foi definido de acordo com o recomendado pela ANSI/ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2013).

Tabela 5 - Cargas Internas

Quartos internação – zona 1 e 2	
Cargas Internas	Valor
Ocupação – Pessoas	N° de pessoas = 2
Sistema de iluminação (W/m <sup>2</sup> )	Densidade de potência: 16 W/m <sup>2</sup>
Equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	Densidade de potência: 12 W/m <sup>2</sup>

Fonte: Autor (2015).

### 3.3.3 Componentes Construtivos dos modelos dos quartos de internação e consultórios

Os componentes construtivos foram adotados com base no projeto arquitetônico do hospital e com base nas estratégias estabelecidas para o controle de ganho e perda de calor nos ambientes simulados (Tabela 6). Neste experimento foram propostos alguns materiais diferentes do projeto original,

para as paredes internas. Os materiais que compõem as paredes internas foram obtidos na norma NBR 15220 (ABNT, 2005a; 2005b).

Tabela 6 - Componentes construtivos

Elemento Construtivo	Materiais	Espessura (cm)	Espessura total (cm)		
	Revestimento cerâmico (Porcelanato encaixilhado)	1,0			
	Câmara de ar	2,0			
	Argamassa de reboco	2,5			
	Bloco cerâmico 6 furos	14			
	Argamassa de reboco	2,5			
	Argamassa de reboco	2,5			
	Bloco de concreto	9,0			
	Argamassa de reboco	2,5			
	<b>Piso</b>	Revestimento cerâmico		1,0	1,0
		Reboco		2,5	
Concreto		20,0			
Reboco		2,5			
Placa de gesso		1,5	1,5		
<b>Forro Placa de gesso</b>					
<b>Porta</b>	Madeira	3	3,0		
	HP Neutral Gray 40 6+4	1,0			
	Câmara de ar	1,2			
	Vidro incolor 8mm	0,8			
	SL Silver 20	1,0			
	Câmara de ar	1,2			
	Vidro incolor 8mm	0,8			

Fonte: Autor (2015).

Outro item modelado foram as persianas existentes nas janelas. Elas foram inseridas no *EnergyPlus* como objeto do tipo “Blind”, sendo o material de aletas metálicas com média refletividade. Os dispositivos de sombreamento funcionam de acordo com a incidência da radiação solar direta, tendo sido estabelecido um valor de *setpoint* de 300W/m<sup>2</sup>.

As propriedades dos componentes construtivos e dos vidros, adotadas no modelo de simulação dos quartos de internação e consultórios são apresentadas nas tabelas 7 e 8.



Tabela 7 - Propriedades térmicas dos materiais

Propriedade do material	Reboco	Tijolo Cerâmico 6 furos	Laje de concreto	Gesso	Bloco concreto	Revest. cerâmico	Madeira
Rugosidade	Rugoso	Rugoso	Rugoso	Média	Rugoso	Rugoso	Rugoso
Condutividade (W/m.K)	1,15	0,9	1,75	0,35	1,75	0,9	0,15
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	2000	3732	2200	875	2300	1600	614
Calor específico (J/kg.K)	1000	920	1000	840	1000	920	2300
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,9
Absortância visível	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,9

Fonte: Autor (2015).

Tabela 8 - Propriedades dos vidros

Propriedade do material		Vidro HP Neutral Gray 40 6+4	SL Silver 20	Vidro simples 8mm
	Solar	0,29	0,14	0,76
	Visível	0,4	0,2	0,89
	Face frontal	0,21	0,26	0,06
		0,248	0,34	0,06
	Face posterior	0,18	0,30	0,07
		0,13	0,22	0,07
Emissividade (ambas as faces)		0,84	0,84	0,84
Condutividade		1	1	1

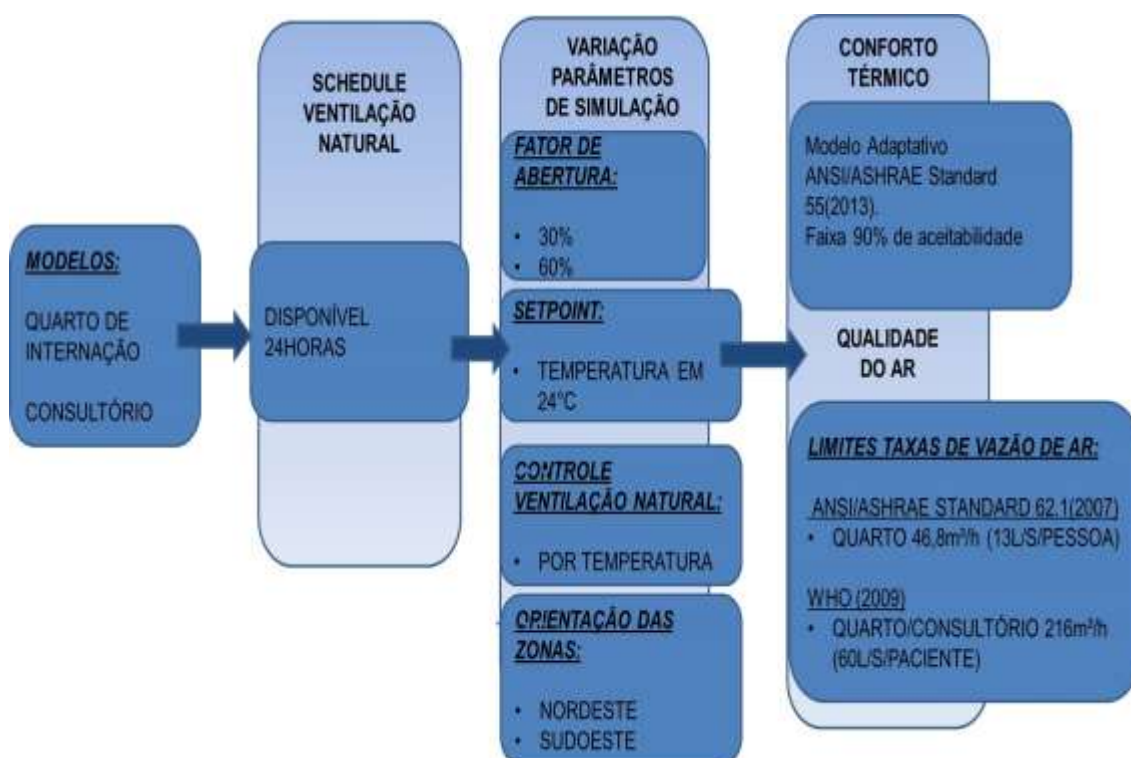
Fonte: Autor (2015).

### 3.4 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL

Inicialmente, somente foi avaliado o desempenho da ventilação natural, sem considerar os limites de taxas de vazão de ar necessários para atender aos requisitos de qualidade do ar interno para o controle da infecção hospitalar dos quartos de internação e dos consultórios. Foi avaliado o conforto térmico

das zonas, e após esta primeira etapa, foi verificado se o condicionamento dos ambientes por meio desta estratégia consegue manter os níveis de qualidade do ar interno. Para avaliar o potencial de utilização da ventilação natural, foi realizado um conjunto de simulações de diferentes alternativas com a variação de alguns parâmetros conforme o esquema da Figura 32. As simulações da ventilação natural foram feitas no modelo *Airflow Network*, multi-zona, no software *EnergyPlus*. A simulação da ventilação natural no *EnergyPlus*, ocorre por meio de um modelo de rede. Neste caso, os modelos simulados consideraram apenas a ventilação cruzada, através do fluxo de ar pelas frestas das portas que ligam as zonas dos quartos de internação às zonas de circulação.

Figura 32 – Alternativas de Simulação da Ventilação Natural



Fonte: Autor (2015).

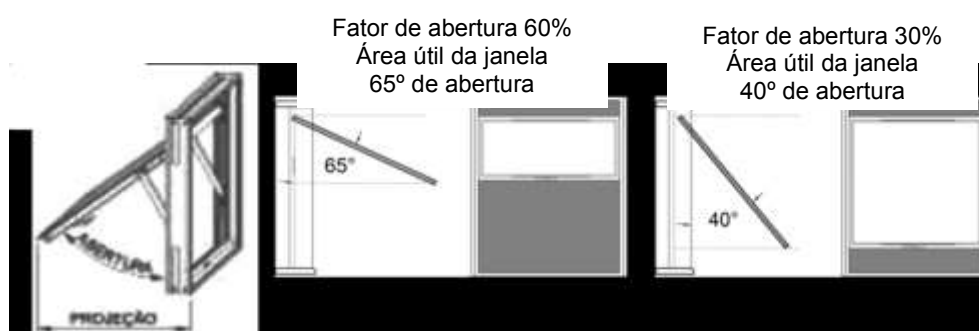
As simulações das zonas de quartos e consultórios foram realizadas em duas orientações solares diferentes, sendo uma nordeste e a outra sudoeste, considerando a implantação existente do Pavilhão Vicky e Joseph Safra. Na modelagem da rede de ventilação natural, foi considerado o parâmetro de controle a 24°C e a disponibilidade de uso desta estratégia durante 24 horas. O valor da temperatura de *setpoint* foi adotado com base nas

recomendações da ANSI/ASHRAE *Standard* 170 (2008), e com base nos estudos de Hwang et al. (2007) e Parsons (2002). O *software EnergyPlus* considera no controle por temperatura que as aberturas são acionadas para permitir a ventilação natural quando: a temperatura interna do ar na zona é igual ou superior a temperatura do ar externo ( $T_{\text{zona}} > T_{\text{ext}}$ ), e se a temperatura interna do ar na zona é igual ou superior a temperatura de setpoint ( $T_{\text{zona}} > T_{\text{set}}$ ).

Os períodos de ocupação simulados para os quartos de internação e consultórios foram modelados de acordo com as suas características. Para os quartos, o período ocupado foi de 8760 horas, e para os consultórios foi de 3490 horas no ano. Foram também simuladas alternativas com a variação do parâmetro de fator de abertura em 30% e 60%, ou seja, variou-se o percentual de área útil da janela por onde é possível ventilar o ambiente (Figura 33). Estes fatores de abertura foram adotados com base nos estudos de Hult et al. (2012) e Adamu, Price e Cook (2012).

Os coeficientes de pressão do vento foram calculados pelo próprio programa. O tipo de abertura das janelas foi modelado como eixo pivotante horizontal, pois nos de quartos e consultórios o sistema de abertura da janela adotado é o Maxim-ar (Figura 33). Os expoentes e coeficientes do fluxo de ar quando as portas e janelas estão fechadas são apresentados na tabela 9.

Figura 33 - Janela Maxim-ar: fatores de abertura adotados na simulação.



Fonte: Autor (2015).

Tabela 9 - Expoentes e coeficientes de fluxo de ar adotados no modelo de portas e janelas

Descrição	Exponente (n)	Coefficiente (kg/s.m)
Porta interna de madeira com eixo pivotante horizontal	0,001	0,65
Janela Maxim-ar com eixo pivotante horizontal	0,0024	0,65

Fonte: Autor (2015).

O número de frações de abertura é 2. Quando o fator de abertura é 0, as aberturas estão fechadas. Quando o fator é 1 as aberturas estão abertas na sua fração máxima permitida. O coeficiente de descarga para o fator de abertura representa a fração eficaz de ventilação natural das portas e janelas. O detalhamento dos parâmetros de modelagem das aberturas está demonstrado na tabela 10.

Tabela 10 - Detalhamento dos parâmetros das aberturas

<b>Campo</b>	<b>Janela 30% e 60%</b>	<b>Porta</b>
<b>Número de frações de abertura</b>	2	2
<b>Fator de abertura 1</b>	0	0
<b>Coeficiente de descarga para o fator de abertura 1</b>	0,001	0,001
<b>Fator de largura para o fator de abertura 1</b>	0	0
<b>Fator de altura para o fator de abertura 1</b>	0	0
<b>Fator de altura inicial para o fator de abertura 1</b>	0	0
<b>Fator de abertura 2</b>	1	1
<b>Coeficiente de descarga para o fator de abertura 1</b>	0,3	0,6
<b>Fator de largura para o fator de abertura 1</b>	0,33	1
<b>Fator de altura para o fator de abertura 1</b>	0,6	1
<b>Fator de altura inicial para o fator de abertura 1</b>	0	0

Fonte: Autor (2015).

Nos modelos simulados, foram obtidos no *EnergyPlus* os relatórios de algumas variáveis ambientais: dados horários de temperatura operativa nas zonas e de temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, direção dos ventos e taxas de vazão de ar nas zonas térmicas. Também foram obtidos os dados horários de incidência de radiação solar na envoltória das zonas térmicas.

Para avaliar o conforto térmico nas zonas com o uso da ventilação natural, foram obtidos os resultados das alternativas simuladas com o fator de abertura de 30% e de 60%. Os resultados dos dados horários de temperatura operativa e de bulbo seco para cada fator de abertura dos modelos simulados com a ventilação natural em conjunto com as outras estratégias bioclimáticas adotadas, foram relacionados aos limites de temperaturas operativas da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade.

Para avaliar o desempenho da ventilação natural, atendendo aos níveis de qualidade do ar interno para os quartos de internação, foram considerados diferentes valores de taxa de vazão de ar. Os limites estabelecidos pela ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007) correspondem a 13l/s/pessoa para os quartos de internação, e 8l/s/pessoa para os consultórios. E o limite

estabelecido pelo guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009), elaborado pela Organização Mundial da Saúde, para o controle de infecção hospitalar pelo uso da ventilação natural em estabelecimentos de saúde, com o valor de 60l/s/paciente para os quartos e consultórios. Estes valores foram convertidos para m<sup>3</sup>/h. Portanto, o valor de vazão para 13l/s foi transformado no valor de 46,8m<sup>3</sup>/h para os quartos, 8l/s no valor de 28,8m<sup>3</sup>/h para os consultórios, e o limite de 60l/s no valor de 216m<sup>3</sup>/h.

Nas simulações, considerou-se que nos quartos e consultórios o limite de taxa de vazão de ar atende a ocupação de 2 pessoas por zona. Tendo como base o funcionamento real do hospital selecionado e de outras unidades hospitalares, nos quartos considerou-se que o ambiente é ocupado pelo paciente e por um acompanhante. Nos consultórios considerou-se que este ambiente será ocupado pelo profissional da saúde e o paciente durante as consultas. Portanto, os limites de taxa de vazão de ar da ASNI/ASHRAE *Standard* 62.1 foram multiplicados pelo número de ocupantes estabelecidos nos modelos simulados, apresentando um valor limite final de 93,6m<sup>3</sup>/h nas zonas dos quartos de internação, e 57,6m<sup>3</sup>/h nas zonas de consultórios. Foi estabelecido que os quartos e consultórios são ocupados por um paciente, portanto o limite de taxa de vazão de ar do guia da Organização Mundial da Saúde permanece com o valor de 216m<sup>3</sup>/h, já que o guia recomenda que a taxa é por paciente.

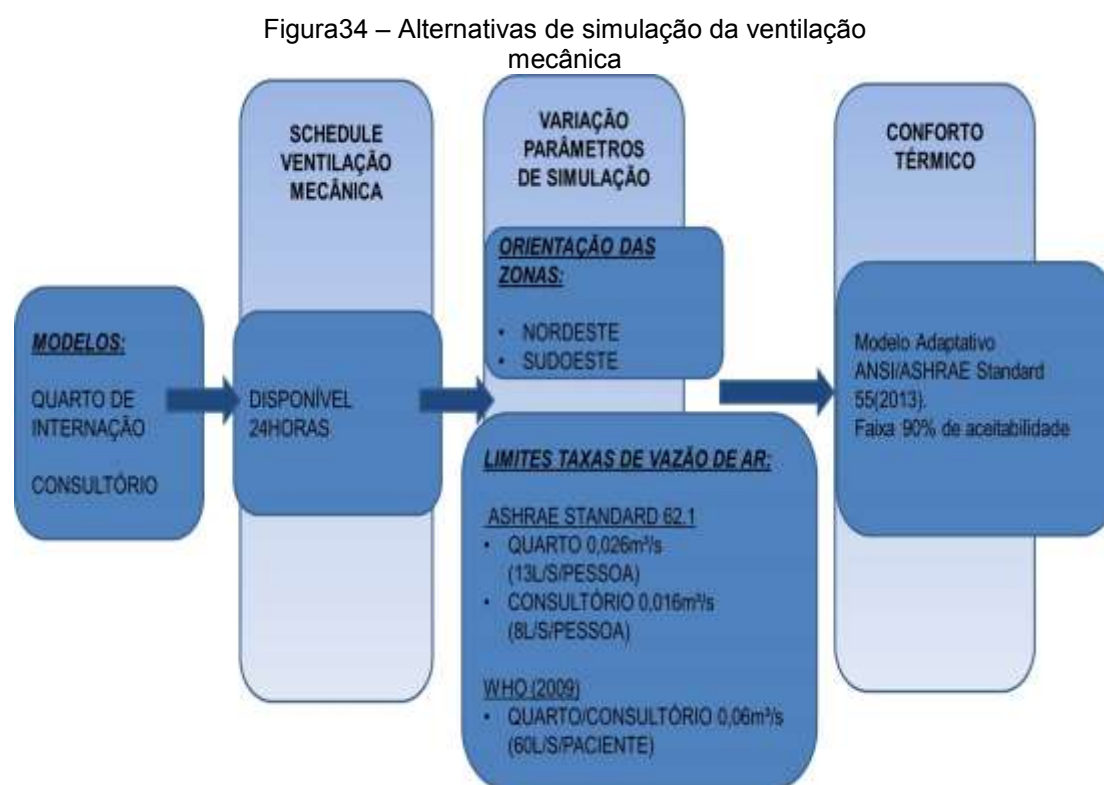
Para avaliar a qualidade do ar interno, cruzaram-se os dados horários de vazão no período de um ano de cada uma das zonas térmicas, com os dados horários de temperaturas operativas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade. De acordo com os resultados que apresentam os dados das temperaturas operativas com os limites máximos e mínimos para 90% de aceitabilidade, observou-se que nenhum dos dados horários de temperaturas operativas no ano ficou abaixo do limite mínimo. Portanto, apenas utilizou-se dos limites máximos.

Foram obtidos resultados para avaliar a qualidade do ar interno em cada uma das alternativas simuladas com a rede de ventilação natural para o controle da ventilação natural no *setpoint* de 24°C, e para a variação do parâmetro de fator de abertura em 30% e 60%. Para a análise, foram obtidos os resultados percentuais do número de horas em que não há vazão de ar com

valor 0. Em que há vazão de ar até os limites da ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1 (2007), e em que há vazão de ar atendendo aos limites desta norma. E com vazão de ar acima de 216m<sup>3</sup>/h atendendo tanto ao limite estabelecido pelo guia da Organização Mundial da Saúde, quanto aos limites da ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1.

### 3.5 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Para avaliar o potencial de uso da ventilação mecânica, foram simuladas alternativas com a variação da taxa de vazão de ar nas zonas dos quartos e consultórios, em duas orientações diferentes conforme mostra a Figura 34.



Fonte: Autor (2015).

As simulações foram feitas por meio do objeto *Zone Airflow: ZoneVentilation:DesingFlowRate*, que representa o fluxo de ar externo que é insuflado diretamente em uma zona térmica, a fim de proporcionar o condicionamento do ar sem resfriá-lo artificialmente. Este objeto destina-se a modelar um sistema de ventilação simples com uma taxa de vazão de ar de projeto, controlado por meio de uma Schedule de funcionamento e da

especificação das temperaturas internas máximas, mínimas e por diferenças de temperatura.

Os valores de fluxos de ar utilizados na modelagem da ventilação mecânica foram os limites de taxas de vazão de ar estabelecidos pelo guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009), e pela *ANSI/ASHRAE Standard 62.1* (ASHRAE,2007). Assumiu-se nesta pesquisa que a ventilação mecânica será utilizada com a filtragem do ar exterior que é insuflado para dentro das zonas térmicas.

A Schedule de controle da ventilação mecânica foi definida para que esta funcione 24 horas. Os valores de temperatura máxima, mínima, de delta de temperatura e dos coeficientes térmicos foram definidos como default, estabelecidos pelo programa *EnergyPlus*. As simulações ocorreram para o período de um ano inteiro de acordo com a ocupação de cada ambiente, totalizando 8760 horas para os quartos e 3490 horas para os consultórios. O detalhamento dos parâmetros de modelagem da ventilação mecânica é apresentado na tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros de simulação da ventilação mecânica

Parâmetros	Valores
Taxa de vazão de ar (m <sup>3</sup> /s)	0,026/ 0,016/ 0,06
Tipo de ventilação	Admissão ( <i>Intake</i> )
Aumento de pressão do ventilador – fan (Pa)	250
Eficiência total do ventilador - fan	0,6
Coeficiente térmico constante	1
Coeficiente térmico de temperatura	0
Coeficiente térmico de velocidade	0
Coeficiente térmico do quadrado da velocidade	0
Temperatura mínima interna	-100
Temperatura máxima	100
Delta de temperatura	-100

Fonte: Autor (2015).

A modelagem do fluxo de ar nas zonas é utilizado em m<sup>3</sup>/s pelo *EnergyPlus*. Para tal os valores dos limites de taxas de vazão estabelecidos foram transformados de l/s para m<sup>3</sup>/s. Portanto, para as zonas de quarto de internação o valor estabelecido pela *ANSI/ASHRAE Standard 62.1* foi de 0,026m<sup>3</sup>/s, e para os consultórios foi de 0,016m<sup>3</sup>/s. O valor para o limite

estabelecido pelo guia da *World Health Organization*, para ambos os ambientes, foi de  $0,06\text{m}^3/\text{s}$

Para avaliar o conforto térmico nas zonas, adotou-se o mesmo procedimento dos modelos com a ventilação natural, por meio da análise da temperatura operativa.

### 3.6 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA COMPLEMENTADA PELO CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL

As simulações dos modelos com esta estratégia de condicionamento do ar foram realizadas de forma que a ventilação mecânica funcionará quando os dados horários de temperaturas operativas nas zonas térmicas estão dentro da faixa para 90% de aceitabilidade pelo modelo adaptativo de conforto térmico. Quando a ventilação mecânica não proporciona conforto, com os dados horários de temperatura operativa abaixo ou acima dos limites da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade, o sistema de ar condicionado entra em funcionamento.

Para programar o funcionamento do condicionamento de ar das zonas térmicas, foram criadas por meio de planilhas uma schedule para o funcionamento da ventilação mecânica e outra para o funcionamento do sistema de ar condicionado, como apresenta a Figura 35. Quando há conforto e se permite o uso da ventilação mecânica o valor na planilha é igual a 1. Quando há desconforto e é permitido o funcionamento do ar condicionado para aquecimento ou resfriamento, o valor da planilha é 0. Estas schedules foram feitas em base horária para o período de um ano inteiro, num total de 8760h para os modelos dos quartos de internação e num total de 3490h para os modelos dos consultórios.

A ventilação mecânica foi modelada por meio do objeto *Zone Airflow: ZoneVentilation:DesingFlowRate*, com os mesos parâmetros de modelagem dos modelos simulados somente com o uso desta estratégia e já apresentados na Tabela 3 da seção anterior. Alterou-se a Schedule de funcionamento de 24h, para apenas as horas em que proporciona conforto. A modelagem do sistema de condicionamento artificial foi feito por meio do *Template HVAC*



*Template:Zone:PTHP*, que representa um aparelho de ar-condicionado do tipo *Split*.

Figura 35 – Alternativas de simulação da ventilação mecânica complementada pelo condicionamento artificial



Fonte: Autor (2015).

Foram simulados modelos com as diferentes taxas de vazão de ar estabelecidas pela ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1 (ASHRAE, 2007) e pelo guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009), para manter a qualidade interna do ar. Estas taxas foram utilizadas tanto na modelagem da ventilação mecânica, como também para o sistema de ar condicionado. Para o funcionamento do ar condicionado foi definido o *setpoint* de temperatura para aquecimento de 21°C, e para resfriamento o *setpoint* de temperatura de 24°C. Os valores de temperatura de *setpoint* foram adotados com base nas recomendações do manual da *HVAC Design Manual For Hospitals And Clinics* (ASHRAE, 2013), e da NBR 7256 – Tratamento de Ar na Saúde (ABNT, 2005).

Foram obtidos relatórios do *EnergyPlus* de consumo e uso final de energia para o período de um ano. Para avaliar o potencial de uso desta estratégia mista de condicionamento, também foram simulados modelos *baseline* apenas com o uso do ar condicionado e com os mesmos limites de

taxas de vazão de ar. Os resultados de consumo de energia total e por uso final dos modelos *baseline*, foram comparados com os resultados dos modelos com o uso da estratégia de condicionamento misto. Por meio da comparação dos resultados, foi possível obter os percentuais de economia de energia para um ano inteiro, dos modelos simulados com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado.

## **4. RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados relativos ao desempenho dos modelos simulados com o condicionamento por meio da ventilação natural, por meio da ventilação mecânica, e por meio do uso da ventilação mecânica complementada pelo condicionamento artificial. São apresentados os resultados de avaliação do conforto térmico e os referentes à qualidade do ar interno. Assim como os dados de uso final e consumo de energia elétrica.

### **4.1 DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL**

São apresentados os resultados de avaliação do desempenho térmico e de qualidade do ar interno dos modelos computacionais do quarto de internação hospitalar e do consultório ambulatorial, quando aplicada apenas a ventilação natural.

#### **4.1.1 Quartos de Internação**

A seguir é apresentada a avaliação do desempenho da ventilação natural nas zonas térmicas dos quartos de internação hospitalar.

##### **4.1.1.1 Conforto Térmico**

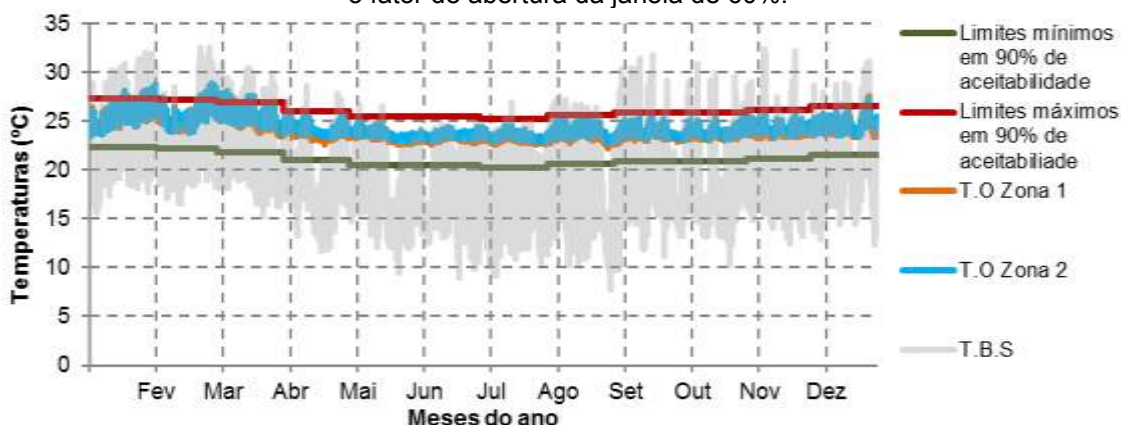
As figuras 36 e 37 apresentam os dados horários de temperatura operativa dos quartos de internação e de temperatura do ar externo no período

de um ano, num total de 8760 horas, para a faixa de 90% de aceitabilidade do modelo adaptativo da ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013). Para os modelos simulados com a ventilação natural em conjunto com as estratégias de sombreamento das janelas, massa térmica das paredes internas, utilização de vidros Low-E, e fator de abertura de 30% ou 60%, sendo uma zona térmica voltada para a orientação nordeste e a outra para sudoeste.

Verificam-se, por meio destes resultados, que os meses de verão são os que possuem maior número de dados horários de temperatura de bulbo seco acima dos limites máximos de temperatura operativa para 90% de aceitabilidade, com necessidade da participação do condicionamento artificial para manter o conforto térmico. No período mais frio as temperaturas mantiveram-se dentro da faixa de 90% de aceitabilidade para ambos os fatores de abertura, de 30% e 60%.

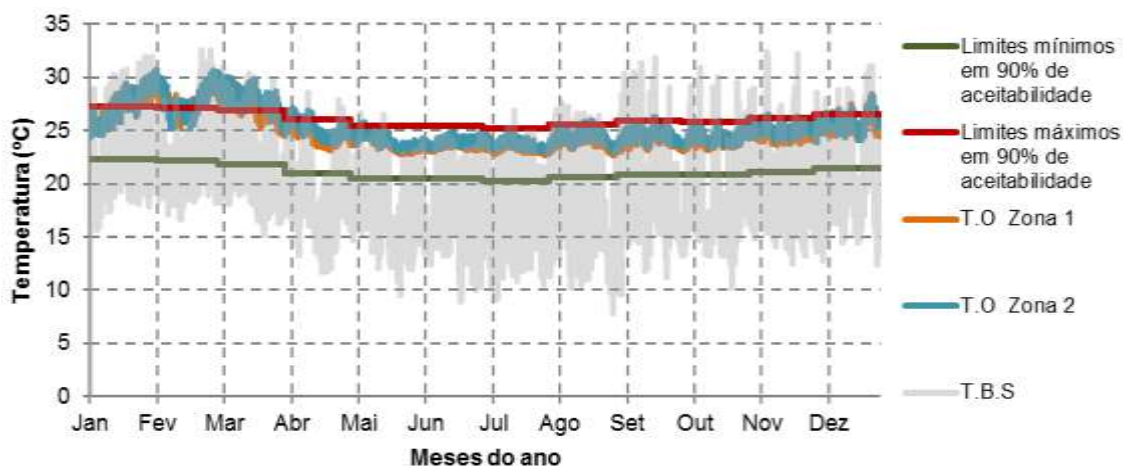
Quando comparados os resultados para os diferentes fatores de abertura, a mais horas de temperatura operativa dentro da faixa de conforto de 90% de aceitabilidade para o fator de abertura de 60%, mesmo nos meses mais quentes que apresentam temperaturas mínimas em torno dos 24°C e as máximas em 29°C (Figura 36). Confirmou-se a expectativa de que quanto maior é a área de abertura que permite a ventilação natural, maior é o potencial de uso da ventilação natural e o conforto térmico.

Figura 36 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) dos quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 60%.



Fonte: Autor (2015).

Figura 37 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) dos quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 30%.



Fonte: Autor (2015).

Os resultados demonstram que mais de 80% do percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas, estão dentro dos limites de 90% de aceitabilidade com área efetiva de abertura de 60% (Figura 36). Verificou-se que diminuindo a área de abertura efetiva para ventilação, se reduz a possibilidade de retirar o calor da zona térmica por meio da ventilação natural, reduzindo o seu potencial de aproveitamento e aumentando o desconforto por calor. De acordo com os resultados apresentados nas figuras 36 e 37, os casos simulados com fator de abertura de 30% apresentam mais horas com desconforto por calor em relação aos resultados com fator de abertura de 60%, com 19% a mais de horas na zona 2 e 16% a mais de horas na zona 1.

Constatou-se que o tipo de abertura a ser utilizado no quarto de internação é um fator importante para um melhor aproveitamento da ventilação natural e para o conforto térmico, contribuindo para reduzir o uso do ar condicionado. No caso dos edifícios hospitalares, principalmente nas tipologias verticalizadas, é comum o uso de aberturas somente em uma das faces do edifício, proporcionando a ventilação unilateral nos ambientes, além de uma maior utilização de tipos de janelas com pouca possibilidade de abertura ou até mesmo as janelas lacradas, devido ao amplo uso do condicionamento artificial e também por questões de segurança, poluição e ruído.

Para um melhor aproveitamento da ventilação natural é necessária a utilização de tipos de abertura que permitam uma área efetiva da janela com um fator de abertura que permita ventilar de forma mais eficiente, mas que ao mesmo tempo proporcione segurança, assepsia e controle de ruídos.

Além do tipo de abertura, projetos com outras estratégias de aproveitamento da ventilação natural podem contribuir para incrementar o condicionamento dos ambientes e aumentar as taxas de vazão de ar, auxiliando a reduzir o consumo de energia pelo uso de sistemas artificiais. Alguns exemplos de aplicação de estratégias de aproveitamento da

ventilação natural são encontrados nos projetos dos hospitais da Rede Sara Kubicheck, no Brasil, onde foi empregada a ventilação cruzada, e a ventilação por efeito chaminé por meio do uso combinado de sheds e galerias de ventilação (PÉREN, 2006). Assim como as estratégias apresentadas na pesquisa de Lomas e Ji (2009) com o uso de torres de ventilação.

Priorizar projetos com tipologia horizontalizada ou em blocos, com a utilização de átrios e jardins internos e externos, como demonstra a pesquisa de Miquelin (1999) e Toledo (2002), podem contribuir para um melhor aproveitamento da ventilação natural, pois permitem uma maior possibilidade do contato exterior/interior. Mesmo nas tipologias monobloco vertical, priorizar o uso de átrios, terraços, balcões, varandas, sacadas e jardins internos quando possível, a fim de gerar a possibilidade da criação de espaços permeáveis, também melhoram o aproveitamento da ventilação natural.

Os dados percentuais apresentados na figura 3 demonstram que há um bom potencial de aproveitamento da ventilação natural em todos os casos simulados, sem considerar os requisitos de qualidade do ar interno. Mais de 78% dos dados horários de temperaturas operativas no ano estão dentro dos limites para 90% de aceitabilidade, considerando as alternativas com os resultados percentuais mais baixos com o fator de abertura em 30%. Nas alternativas com os melhores resultados, 97% dos dados horários com temperaturas operativas ficaram dentro dos limites da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade.

Contudo, as estratégias bioclimáticas adotadas com a utilização de sombreamento, massa térmica das paredes internas, vidros *low-E* e materiais da envoltória, contribuíram para aumentar o número de horas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade em relação aos resultados das alternativas simuladas sem estas estratégias. Isto ocorre principalmente nos meses de verão, reduzindo o ganho de calor nos ambientes, e conseqüentemente a demanda de resfriamento por meio do condicionamento artificial. Considerando um fator de abertura de 60%, os resultados percentuais demonstram uma diferença de 12 pontos percentuais na zona 2 e 6 pontos percentuais na zona 1, com mais horas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade (Figuras 38 e 39). Para um fator de abertura de 30% estas diferenças são ainda maiores, com 43 pontos percentuais na zona 2 e 25 pontos percentuais na zona 1.

Sem a utilização das estratégias de controle do ganho de calor nas zonas, o desconforto por calor seria maior, aumentando em 50% das horas no ano a participação do condicionamento artificial em uma edificação onde seria possível a utilização de 30% de área efetiva de janela para a ventilação natural (Figura 39).

Figura 38 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, com estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e.

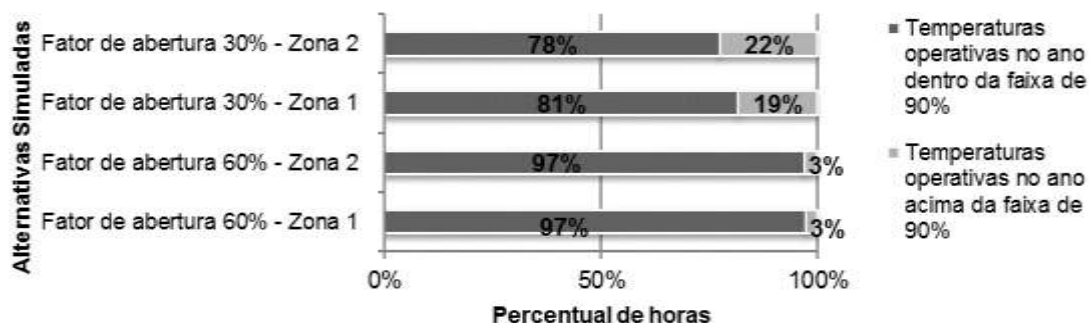
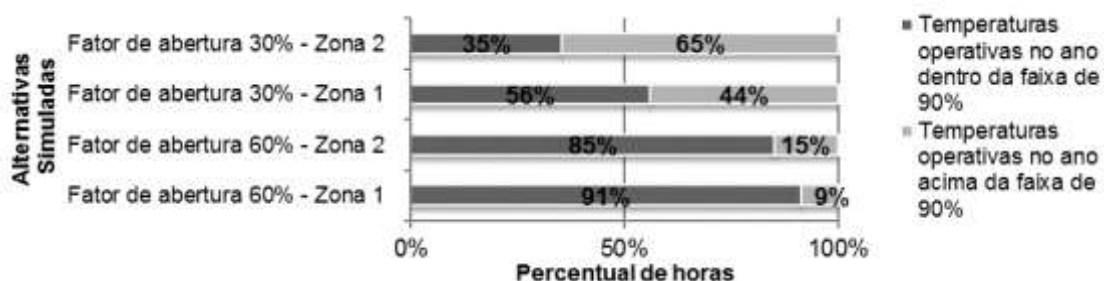


Figura 39- Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, sem estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e.



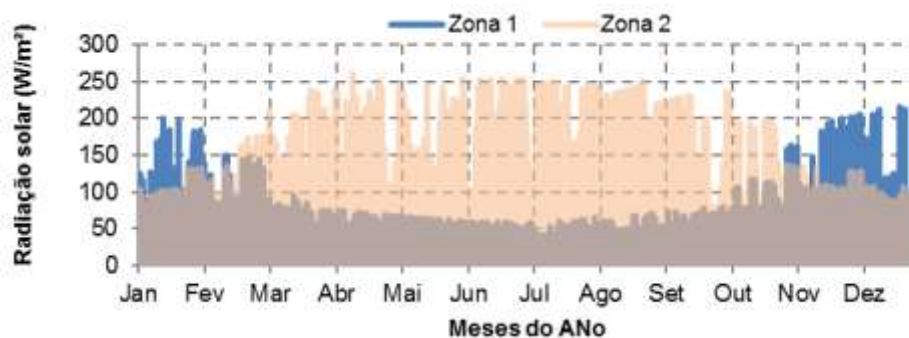
Fonte: Autor (2015).

A orientação das zonas também teve de influência no desempenho da ventilação natural. O gráfico da figura 40 mostra diferenças nos resultados percentuais entre a Zona 1 e 2, sem a utilização das estratégias adotadas. A zona 1, que está voltada para a orientação sudoeste, apresentou um melhor desempenho térmico do que a zona 2, que está voltada para nordeste. De acordo com os resultados da figura 4, a zona 1 possui 6% a mais de horas dentro da faixa para 90% de aceitabilidade do que a zona 2, com um fator de abertura de 60%. Com o fator de abertura em 30%, essa diferença é de 9 pontos percentuais. Isso demonstra que na alternativa simulada sem as estratégias passivas, a orientação das zonas teve maior influência do que para a alternativa com as estratégias. O sombreamento das zonas foi eficaz para auxiliar em um menor ganho de calor nos períodos com temperatura do ar externo acima da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade, ganhando até 43 pontos percentuais de horas em conforto para a zona 2 na alternativa com as estratégias passivas adotadas (Figura 38).

A zona 2 apresentou maior percentual de dados horários de temperaturas operativas acima dos limites máximos da faixa de 90% de aceitabilidade, o que significa que existe um maior ganho de calor nesta zona, e uma maior demanda para resfriamento do que na zona 1. De acordo com os resultados do gráfico da figura 38, a zona 2 possui ao longo do ano maior ganho de calor por radiação solar do que a zona 1, apesar desta

apresentar dados de radiação mais altas no verão. Os resultados indicam uma maior necessidade de controle de ganho de calor pela radiação solar na zona 2.

Figura 40 - Dados horários de radiação solar na fachada em  $W/m^2$  na fachada, por zona, durante o período de um ano.



Fonte: Autor (2015).

#### 4.1.1.2 Qualidade do ar interno

Os gráficos apresentados na Figura 41 mostram os resultados percentuais do número de horas em conforto nas zonas dos quartos de internação, que atendem ou não, aos limites de taxa de vazão de ar estabelecidos nesta pesquisa. O intervalo com vazão  $0m^3/h$  apresenta o percentual destas horas em que não há vazão de ar nas zonas térmicas. O intervalo de até  $93,6m^3/h$  mostra os percentuais de horas em que as taxas do fluxo de ar ficaram abaixo dos limites mínimos recomendados. Os percentuais que se encontram no intervalo de  $93,6$  a  $216m^3/h$ , atendem ao limite de taxa de vazão de ar da ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1 (ASHRAE, 2007). O intervalo acima de  $216m^3/h$  atende tanto a *Standard* 62.1 quanto o limite mínimo de taxa de vazão do guia da Organização Mundial da Saúde.

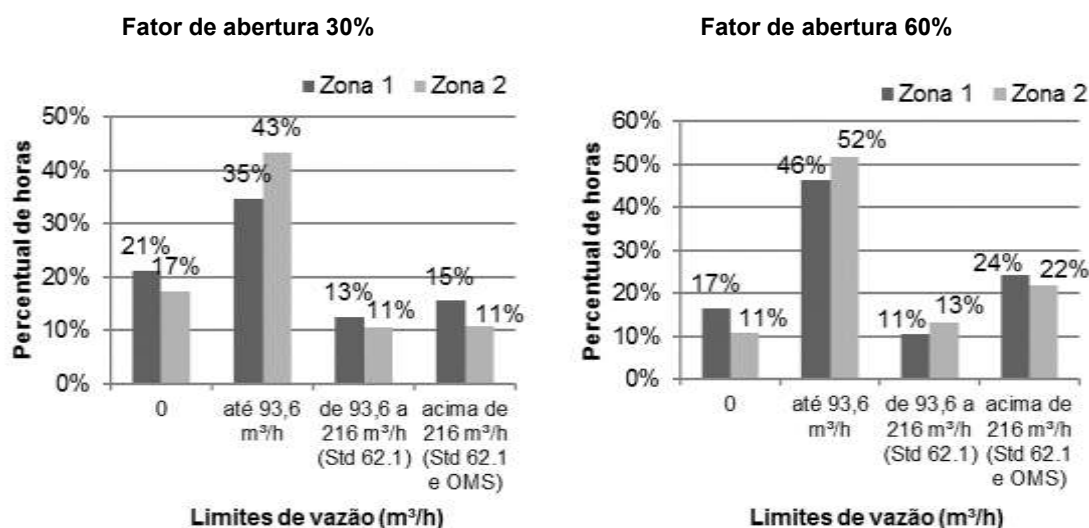
Apesar dos resultados das simulações terem apresentado um bom aproveitamento da ventilação natural para conforto térmico as taxas mínimas de vazão de ar para os horários com temperatura dentro da faixa de 90% de aceitabilidade, não foram atendidos satisfatoriamente em nenhuma das alternativas simuladas.

Na maior parte das horas no ano em que ocorrem trocas de ar por ventilação natural, as vazões ficaram abaixo dos limites mínimos estabelecidos pelo guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009) e pela ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1 (ASHRAE, 2007). Mesmo considerando a alternativa que atende em mais horas os limites mínimos de taxas de vazão de ar, o gráfico da direita apresentado na figura 6 mostra que menos de 13% das horas no ano que estão na faixa de conforto, atendem a taxa mínima de vazão estabelecida pela ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1 (ASHRAE, 2007). Menos de 24% das horas que estão dentro da faixa de conforto para

90% de aceitabilidade atendem a taxa mínima do guia da WHO para manter a qualidade do ar interno em um quarto de internação hospitalar.

Em todos os casos simulados os resultados mostram que mesmo com uma área efetiva de abertura de 60% não foi possível atender as taxas mínimas de vazão de ar necessárias para manter a qualidade do ar interno segundo as recomendações da ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007) e do guia da WHO. Verificou-se que mesmo que haja o uso da ventilação natural por meio de janelas operáveis, esta não consegue atender as taxas mínimas de vazão de ar necessárias para renovação do ar interno na maior parte das horas que há conforto térmico. Enquanto que pelos resultados da análise de conforto térmico o aproveitamento da ventilação natural para este fator de abertura chegou em 97% das horas (Figura 3), considerando o limite da taxa de vazão de ar que atende a ANSI/AHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007) este percentual caiu para 35% na zona 2 e na zona 1 (Figura 6). Para poder atender ao limite mínimo da taxa de vazão de ar do guia da WHO, os resultados percentuais caíram para 24% na zona 1 e 22% na zona 2 (Figura 41).

Figura 41 - Percentual do número de horas no ano dentro dos limites de 90% de aceitabilidade, para os intervalos de vazão de ar com 93,6m<sup>3</sup>/h (Standard 62.1) e 216m<sup>3</sup>/h (OMS).



Fonte: Autor (2015).

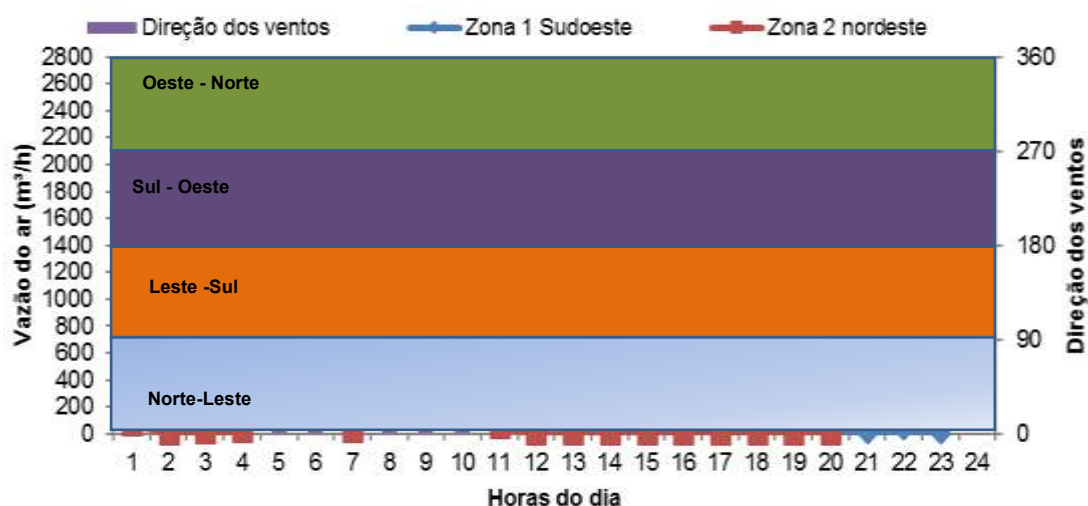
Portanto, se avaliado somente pela perspectiva do conforto térmico com base no modelo adaptativo, a utilização da ventilação natural em conjunto com as outras estratégias bioclimáticas adotadas proporciona conforto dentro do limite de 90% de aceitabilidade na maior parte das horas no ano. Contudo, a partir dos resultados apresentados. Somente a utilização da ventilação natural não é o suficiente para garantir a qualidade do ar interno, adotando-se o critério de obedecer a um limite mínimo de taxa de vazão do ar.



A orientação das zonas influenciou nas taxas de renovação de ar. A zona 1, possui janelas a sudoeste apresenta maiores taxas de vazão de ar que a zona 2, que está a nordeste. Os resultados do gráfico da figura 42, que apresenta dados de comportamento dos ventos, mostram que durante o período de 24 horas selecionado de um dia típico de verão, no dia 12 de janeiro, na maior parte das horas as vazões de ar nas zonas não conseguiram gerar renovação de ar suficiente para atender aos limites mínimos de taxas de vazão de ar estabelecidos como parâmetros.

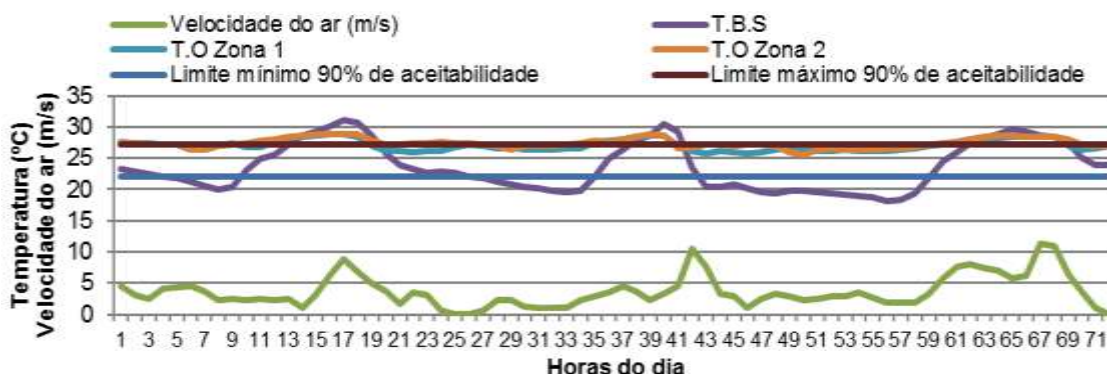
O gráfico da figura 43 apresenta o comportamento das variáveis de temperatura, velocidade do ar e temperatura operativa para 3 dias típicos de verão, de 12 a 14 de janeiro, incluindo o dia considerado no gráfico da figura 40. Pelos resultados dos gráficos, verificou-se que na maior parte das horas os ventos, mesmo os de maior predominância representados pelas barras do gráfico, não conseguem gerar vazão de ar suficiente para atender aos limites mínimos das taxas de vazão de ar nas zonas, representadas pelas linhas do gráfico. Isto acontece devido às baixas velocidades que na maior parte das horas não ultrapassa os 4m/s. Esse fator reduz ainda mais o potencial do uso da ventilação natural para atender a níveis satisfatórios de renovação de ar, a fim de garantir a assepsia do quarto de internação hospitalar.

Figura 42 - Direção dos ventos e Taxas de vazão do ar ( $m^3/h$ ) durante as horas ocupadas (24 horas) no dia 12 de janeiro, com o fator de abertura de 60%, para os quartos de internação.



Fonte: Autor (2015).

Figura 43- Velocidade do ar (m/s), temperatura do ar externo (T.B.S) e temperatura operativa (T.O) durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (24 horas), com o fator de abertura de 60%, para os quartos de internação.



Fonte: Autor (2015).

Constatou-se que, por mais que o projeto do edifício hospitalar utilize a ventilação natural como estratégia de condicionamento passivo, é necessário que também exista um sistema mecânico para promover vazão de ar suficiente garantindo a qualidade do ar interno e reduzindo o risco de infecção hospitalar. A fim de reduzir a demanda de uso do ar condicionado para resfriamento por meio da utilização da ventilação natural, e para também manter a qualidade do ar interno, em um quarto de internação hospitalar pode ser feita a instalação e utilização de um sistema misto (*mix-mode*). Neste caso, a ventilação natural é utilizada em conjunto com a ventilação mecânica, ou exaustão mecânica, ou com o uso de condicionamento artificial com sistema de renovação de ar.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 43, verifica-se que no período noturno as temperaturas do ar externo ficam mais baixas, geralmente abaixo dos 20°C, e no período da tarde as temperaturas ficam elevadas ultrapassando os 25°C, com máximas acima dos 30°C. Porém, à noite, as velocidades dos ventos são mais baixas.

Portanto, uma estratégia seria o acionamento da ventilação natural no período noturno auxiliando no resfriamento do ambiente, para manter as temperaturas na faixa de conforto para 90% de aceitabilidade, em conjunto com um sistema de exaustão mecânica que garanta as taxas mínimas de renovação de ar. Nas horas em que a temperatura do ar externo é mais alta, principalmente no período da tarde, o sistema de ar condicionado com renovação de ar seria acionado para manter o conforto e garantir a qualidade do ar interno.

Sistemas automatizados com sensores de temperatura podem ser usados para que as janelas e os sistemas de ar condicionado e de ventilação e exaustão mecânica sejam acionados, até mesmo pelo próprio usuário, de acordo com a estratégia estabelecida. Entretanto, de acordo com a pesquisa realizada por Hwang et al (2007), pacientes podem preferir ambientes mais quentes que indivíduos mais saudáveis. A diferença da temperatura neutra de verão para um indivíduo fisicamente debilitado pode ser até 0,8 C° mais alta do que para um indivíduo saudável, pelos parâmetros estabelecidos pela ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013). Portanto, para utilização de estratégias com acionamento por meio do controle da temperatura entre o ambiente externo e o interno, como a utilização de sistema híbrido ou com controle de acionamento das aberturas, ainda se faz necessário conhecer com maior profundidade parâmetros e faixas de temperatura que podem ser mais aceitáveis no verão em um clima quente e úmido, para usuários debilitados.

#### **4.1.2 Consultórios**

A seguir são apresentados os resultados do desempenho da ventilação natural nas zonas dos consultórios ambulatoriais.

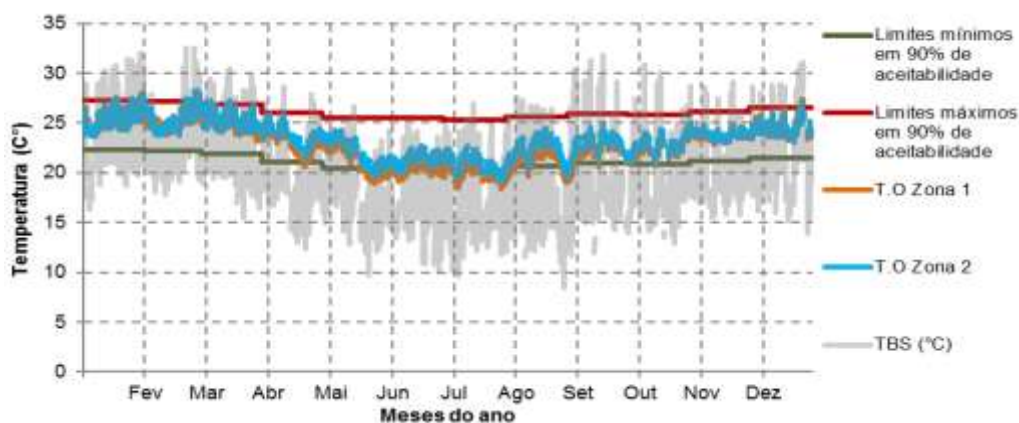
##### *4.1.2.1 Conforto Térmico*

As figuras 44 e 45 apresentam os dados horários de temperatura operativa das duas zonas de consultórios simuladas com fator de abertura 60% e 30%, e de temperatura do ar externo no período de um ano, apenas nas horas ocupadas (3340 horas,) e os limites para a faixa de conforto de 90% de aceitabilidade. De acordo com os resultados, diferente das zonas de quarto de internação verificam-se nas zonas de consultórios menos dados horários de temperaturas operativas acima da faixa de conforto, apresentando um maior potencial de aproveitamento da ventilação natural nos meses de verão e uma menor necessidade de resfriamento, para ambos os fatores de abertura da janela. Nos meses mais frios, de junho a agosto, os resultados demonstram

dados horários de temperaturas operativas abaixo da faixa para 90% de aceitabilidade, com necessidade de aquecimento das zonas.

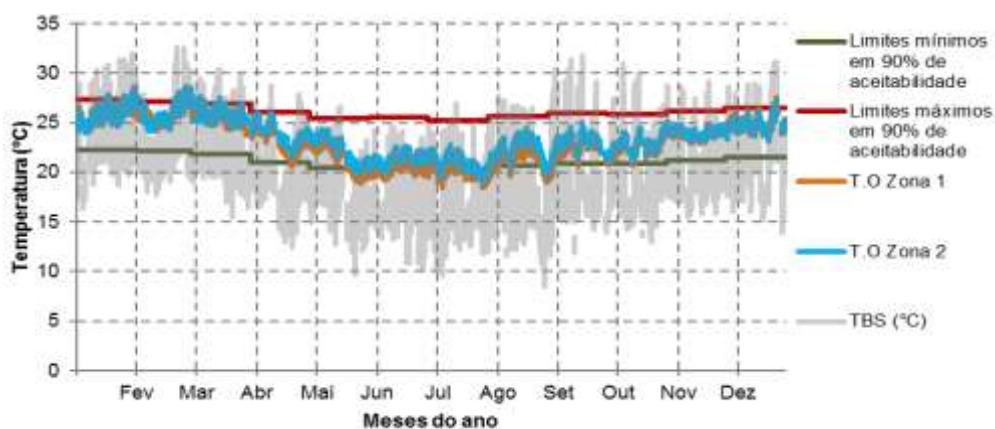
Devido aos seus padrões de ocupação, de um período de 12 horas por dia, o ganho de calor pelas cargas internas nas zonas dos consultórios é menor do que nos quartos de internação, que têm ocupação de 24 horas. Com um menor ganho de calor pelas cargas internas, no período de inverno, as temperaturas operativas nas zonas ficaram abaixo da zona de conforto em grande parte das horas ocupadas, apresentando desconforto por frio, reduzindo o potencial de uso da ventilação natural neste período, o que não acontece com as zonas dos quartos de internação.

Figura 44 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os consultórios no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 60%.



Fonte: Autor (2015).

Figura 45 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os consultórios no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o fator de abertura da janela de 30%

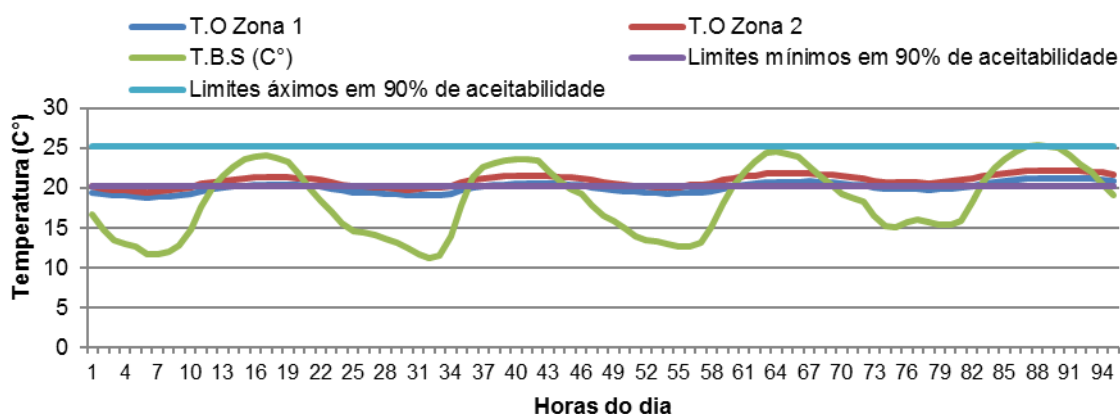


Fonte: Autor (2015).

A figura 46 demonstra que durante o dia, as temperaturas do ar externo ficam mais baixas e a noite, quando não há ocupação nas zonas de consultórios. No período da tarde, quando os consultórios estão ocupados, as temperaturas do ar externo ficam mais altas contribuindo para que os dados horários de temperaturas operativas tendam a ficar dentro da faixa de conforto.

Portanto, nos meses de inverno, o potencial de uso da ventilação natural no caso dos consultórios é maior nas horas em que as temperaturas do ar externo estão mais altas, no período da tarde. Neste caso, o emprego da ventilação noturna como estratégia mesmo nas horas que as zonas não estão sendo ocupadas, não é recomendado, ou quando os dados horários de temperatura do ar externo estão abaixo dos 15°C nos meses de maio a agosto.

Figura 46 - Temperatura do ar externo (T.B.S) e Temperatura operativa (T.O), durante 4 dias no período de inverno nas horas ocupadas (12 horas), com o fator de abertura de 60%, para os consultórios.



Fonte: Autor (2015).

O desempenho térmico nas zonas dos consultórios com a ventilação natural em conjunto com as outras estratégias passivas adotadas, apresentou diferenças de até 47 pontos percentuais na zona 2 com fator de abertura de 30%, e 29 pontos percentuais com fator de abertura de 60%, no número de horas em conforto em relação aos resultados das alternativas com o uso da ventilação natural sem estas estratégias (Figuras 45 e 46).

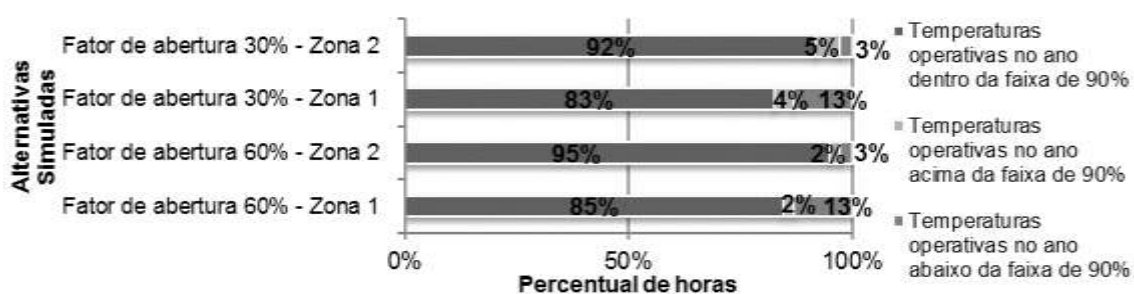
Contudo, os resultados percentuais destas alternativas simuladas também apresentam um maior número de horas de desconforto por frio, sendo necessária a participação do condicionamento artificial para aquecimento principalmente na zona 1 com 13% das horas ocupadas abaixo da faixa de 90% de aceitabilidade, e na zona 2 em 3% das horas ocupadas. Em ambas as

zonas os resultados demonstram que no caso dos consultórios, há uma necessidade de um maior ganho de calor por meio passivo, que contribua para manter os dados horários de temperaturas operativas nas zonas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade nos meses de inverno. Este maior ganho de calor pode ser por meio da radiação solar.

Os resultados do gráfico da figura 46 demonstram que sem a estratégia de controle de ganho de calor pela radiação solar por meio de sombreamento, vidros Low-E e materiais da envoltória, permitindo um maior ganho de calor nas zonas por esta variável externa, a necessidade de aquecimento nas zonas seria de no máximo 1%. Contudo, o número de horas de desconforto por calor chegando a 55% das horas ocupadas na zona 2 e 21% para a zona 1, nas alternativa com fator de abertura da janela de 30%

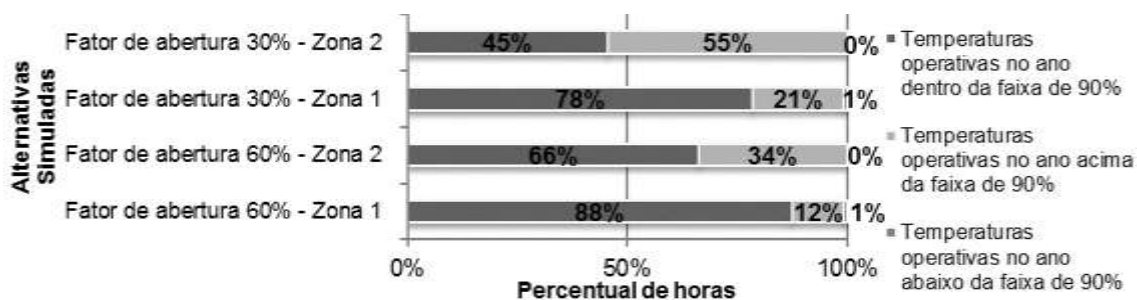
Isso comprova a necessidade de sombreamento nos meses mais quentes e nos períodos com temperaturas do ar externo acima da faixa de conforto (Figuras 47 e 48). Entretanto, nos meses de maio a agosto um maior ganho de calor pela radiação solar, através das janelas, deve estar disponível durante o dia em ambas as zonas para que durante a noite, em conjunto com a massa térmica das paredes internas, a temperatura operativa das zonas seja mais alta.

Figura 47 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos consultórios, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, com estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e.



Fonte: Autor (2015).

Figura 48 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos consultórios, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, para o fator de abertura da janela de 60% e 30%, sem estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-e.



Fonte: Autor (2015).

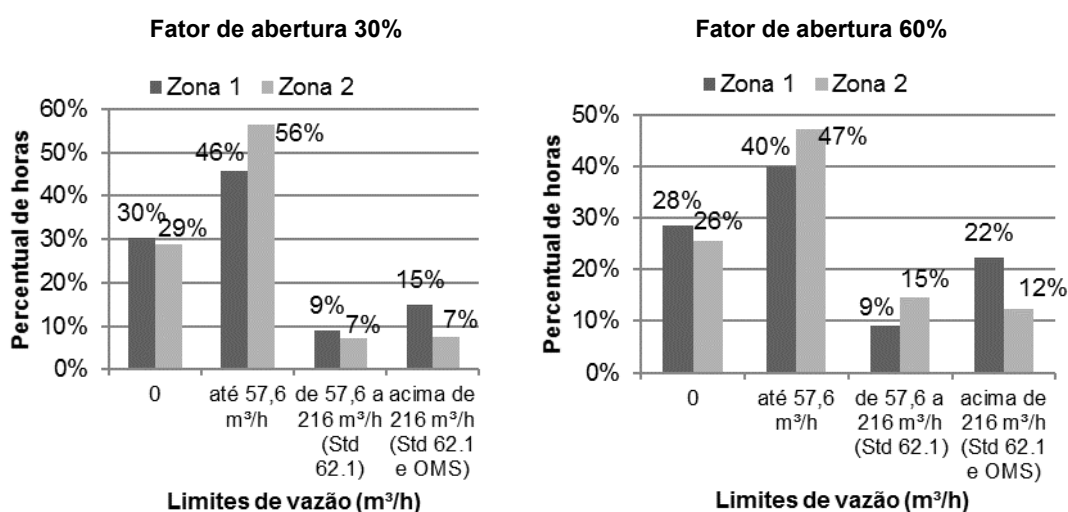
A zona 2 apresenta um melhor desempenho da ventilação natural, com mais de 90% das horas ocupadas dentro da faixa de conforto (figura 47). A zona 1, que está orientada para sudoeste, possui maior demanda de aquecimento, com 13% das horas ocupadas abaixo da faixa de conforto, devido a um menor ganho de calor pela radiação solar e por também possuir maiores taxas de vazão de ar que auxiliam a retirar calor da zona. Na zona 2, orientada para nordeste, este percentual é de apenas 3% (Figura 47). Como já demonstrado na análise das zonas de quarto de internação, a zona 2, que está orientada para nordeste, tem maior ganho de calor pela radiação solar ao longo do ano (Figura 40), o que contribui para reduzir a demanda por aquecimento nos meses de inverno e manter as temperaturas operativas da zona dentro da faixa de conforto em mais horas do que a zona 1. Nos períodos de temperaturas do ar externo mais baixas, há uma menor necessidade de sombreamento para a zona 1, de forma a permitir uma maior insolação.

#### 4.1.2.2 Qualidade do ar interno

Assim como ocorreu nas duas zonas dos quartos de internação, quando avaliadas as trocas de ar nos consultórios, os resultados mostram que em todas as alternativas simuladas os percentuais de horas em conforto que conseguem atender aos limites de vazão de ar externo, foram baixos e insatisfatórios. Enquanto que pela análise do conforto térmico mais de 80% das horas ocupadas estão dentro da faixa para 90% de aceitabilidade, em menos de 22% destas horas são atendidos os limites de vazão de ar estabelecidos (Figura 49).

Considerando os resultados das taxas de vazão de ar na alternativa com fator de abertura da janela de 60%, o percentual de horas ocupadas que atendem a ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007), que estão dentro da faixa de conforto, caiu de 85% para 31% na zona 1 e para 27% na zona 2. Considerando a necessidade de atendimento à vazão de ar recomendada pelo guia da OMS, o percentual de horas em conforto ao longo do ano caiu de 85% para 22% na zona 1, e de 95% para 22% na zona 2 (Figuras 47 e 49).

Figura 49- Percentual do número de horas no ano dentro dos limites de 90% de aceitabilidade, para os intervalos de vazão de ar com 57,6m<sup>3</sup>/h e 216m<sup>3</sup>/h.



Fonte: Autor (2015).

O fator de abertura da janela também foi um parâmetro que influenciou as taxas de vazão de ar nas zonas. Reduzindo de 22% com fator de abertura 60% para 15% com fator de abertura de 30% nas horas em conforto na zona 1, com taxas de vazão de ar que atendem os limites da OMS (2009) (Figura 49).

Assim como na análise do conforto térmico pelo modelo adaptativo e também como ocorre nas zonas dos quartos de internação, a orientação das zonas foi um parâmetro de significativa influência nas taxas de renovação de ar. A zona 1, que está na orientação sudoeste, apresenta maiores taxas de vazão de ar do que a zona 2, que está a nordeste. Isto também pode ser verificado pelos dados do gráfico da figura 50, que mostra a direção dos ventos e as taxas de vazão de ar nas zonas, para o período de um dia, nas horas ocupadas.

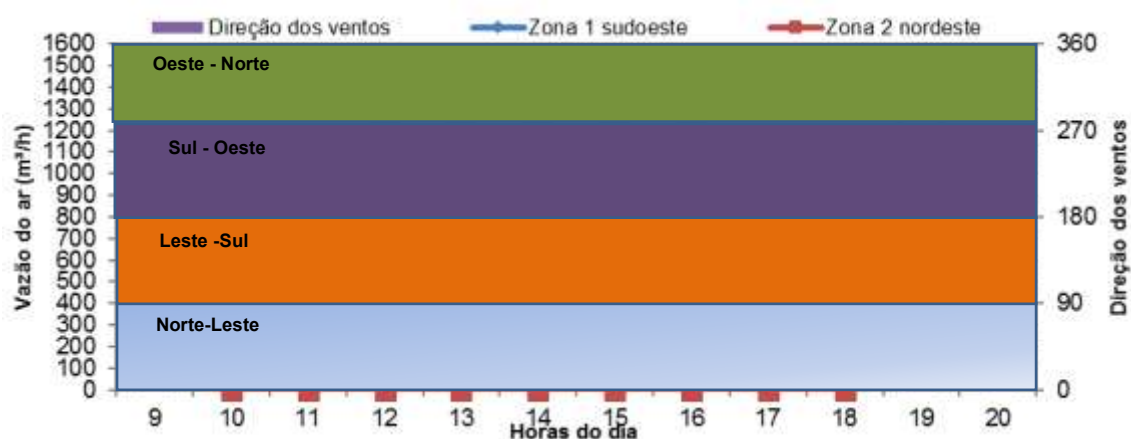
O gráfico da figura 51 mostra os resultados do comportamento das variáveis de temperatura operativa nas zonas, temperatura do ar externo e



velocidade do ar durante 24 horas e não somente nas horas ocupadas, no período de 3 dias consecutivos de verão selecionados. De acordo com os resultados, no verão, durante período noturno, as temperaturas do ar externo ficam mais baixas, próximas dos 20°C, e no período da tarde as temperaturas ficam mais elevadas ultrapassando, os 25°C, com máximas acima dos 30 C°. No período da manhã e da noite ocorrem as maiores taxas de renovação do ar. A velocidade do ar é mais baixa à noite e pela manhã.

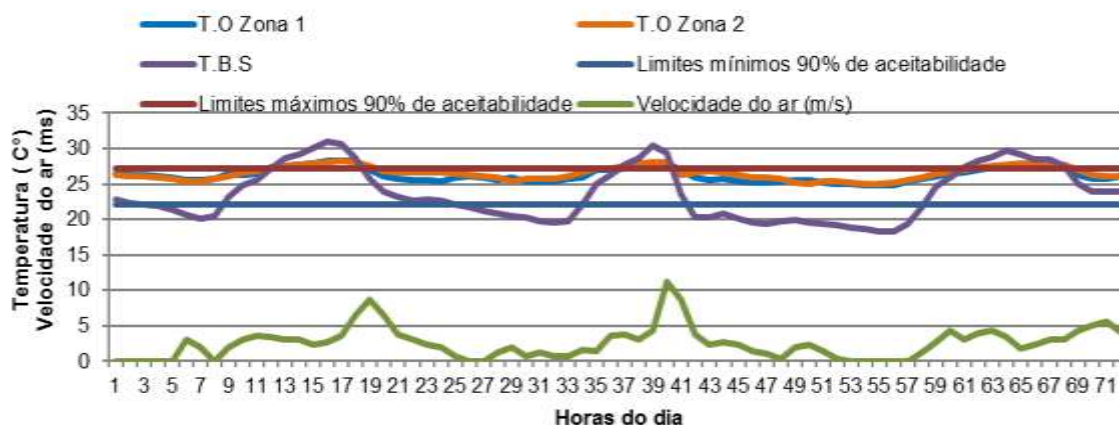
Para as zonas dos consultórios, nem mesmo os ventos de maior predominância representados pelas barras do gráfico, que são o nordeste e sudeste, conseguem gerar vazão de ar suficiente para atender aos limites mínimos de vazão de ar, devido às baixas velocidades, que na maior parte das horas não ultrapassa os 4m/s, assim como ocorreu com os quartos de internação (Figuras 50 e 51). Nas zonas dos consultórios também se verificou que a ventilação natural não pode ser a única estratégia de condicionamento a ser utilizada. Portanto, assim como nos quartos de internação, nas zonas de consultórios a ventilação natural terá de ser utilizada em conjunto com a ventilação mecânica, ou exaustão mecânica, ou com o uso de condicionamento artificial com sistema de renovação de ar.

Figura 50- Direção dos ventos e taxas de vazão do ar (m<sup>3</sup>/h), durante as horas ocupadas (12 horas) no dia 10 de janeiro, com o fator de abertura de 60%, para os consultórios.



Fonte: Autor (2015).

Figura 51 - Velocidade do ar (m/s), Temperatura do ar externo (T.B.S) e Temperatura operativa (T.O), durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (12 horas), com o fator de abertura de 60%, para os consultórios.



Fonte: Autor (2015).

No período de verão e de inverno o sistema híbrido ou misto pode ser utilizado como estratégia, por meio do uso da ventilação seletiva com o uso do ar condicionado. Por meio da análise feita anteriormente pelos resultados apresentados no gráfico da figura 46, no período de inverno a ventilação natural seria acionada apenas durante as horas do dia com temperaturas do ar externas mais elevadas e dentro da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade. No período vespertino, onde as temperaturas das zonas ficam dentro da faixa de 90% de aceitabilidade, e em conjunto com a ventilação natural, um sistema mecânico deverá funcionar para garantir as taxas de renovação de ar mínimas para a assepsia do ambiente.

No período de verão, de acordo com os resultados do gráfico da figura 51, o sistema misto pode ser utilizado com a utilização da ventilação natural durante a noite e nas primeiras horas da manhã, onde as temperaturas do ar externo estão mais baixas, de forma a resfriar o ambiente mesmo nas horas em que não está sendo ocupado. Como durante a noite e nas primeiras horas da manhã não há ocupação, também não há ganho de calor pelas cargas internas, o que aumenta ainda mais o potencial de uso da ventilação natural para resfriar o ambiente. Para manter as janelas abertas e permitir a ventilação natural nas horas não ocupadas, um sistema automatizado poderia operá-las.

Resfriando as zonas durante a noite por meio da ventilação natural, durante o dia, quando as temperaturas do ar externo estão mais elevadas, a massa térmica das paredes internas auxilia no resfriamento e na manutenção das

temperaturas mais constantes e dentro da faixa de 90% de aceitabilidade, como demonstra os resultados do gráfico da figura 49. Nas horas em que não há ocupação nas zonas dos consultórios não é necessário utilizar um sistema que auxilie a incrementar as taxas de vazão de ar em conjunto com a ventilação natural para atender aos limites estabelecidos.

Nessas horas, apenas o acionamento de abertura das janelas poderia acontecer para permitir a ventilação natural, de forma a contribuir para o condicionamento da zona, para que nas horas ocupadas a temperatura operativa se eleve o menos possível e de forma mais lenta. Durante as últimas horas da manhã, e no período vespertino, com as temperaturas do ar externo elevadas, a ventilação natural não seria utilizada. Portanto, para manter as zonas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade e também manter a qualidade do ar interno, o condicionamento artificial ou a ventilação mecânica seriam necessários para o resfriamento das zonas.

Como se verificou que a ventilação natural não consegue garantir os níveis mínimos de taxas de vazão do ar para manter a qualidade do ar interno optou-se, nesta pesquisa, por não considerar esta estratégia na avaliação do consumo de energia elétrica, partindo para avaliar o desempenho da ventilação mecânica e o desempenho da ventilação mecânica complementada pelo uso do ar condicionado.

## 4.2 DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA

A seguir, são apresentados os resultados do desempenho térmico dos modelos computacionais do quarto de internação hospitalar e do consultório ambulatorial, por meio do uso da ventilação mecânica.

### 4.2.1 Quartos de Internação

Frente a insuficiência da ventilação natural, partiu-se para a análise do desempenho da ventilação mecânica como estratégia de condicionamento mais eficiente, atendendo aos limites das taxas de vazão de ar estabelecidas pela ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007) e pelo guia da OMS (2009). Os resultados do gráfico da figura 48 apresentam os dados horários de temperaturas operativas e de temperaturas do ar externo no período de um ano

(8760 horas), para a alternativa simulada atendendo ao limite da taxa de vazão estabelecida pela Ashrae Standard 62.1 (2007). A figura 49 apresenta os mesmos resultados para a alternativa simulada atendendo ao limite de taxa de vazão estabelecida pela OMS.

Verifica-se, por meio dos resultados das figuras 50 e 51, que ambas as alternativas simuladas apresentaram desconforto por calor nos meses de verão e desconforto por frio no final do outono, inverno e início da primavera. Ao contrário do que foi identificado para os modelos com ventilação natural, os resultados do desempenho com ventilação mecânica demonstram que há mais meses no ano com dados horários de temperatura operativa abaixo da faixa de 90% de aceitabilidade do que acima da faixa.

Apesar de caracterizar-se por uma menor fluutuabilidade, pois permite um maior controle do que a ventilação natural, a ventilação mecânica proporcionou um maior insuflamento do ar exterior com baixas temperaturas para o interior das zonas térmicas, principalmente nos meses de abril a agosto. Com a ventilação natural, onde as janelas não ficam abertas todo o tempo, mas apenas quando a temperatura da zona é igual ou maior que a temperatura de setpoint de 24°C.

Observou-se que a temperatura do ar externo fica abaixo dos 15°C, a temperatura operativa na zona fica abaixo do limite mínimo da zona de conforto. Contudo, nos meses de verão, nos períodos onde a temperatura do ar externo está acima dos 30°C, as alternativas simuladas apresentaram a necessidade da participação do condicionamento artificial para resfriamento (Figuras 50 e 51).

Figura 6 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 13l/s/pessoa(ASHRAE Standard 62.1).

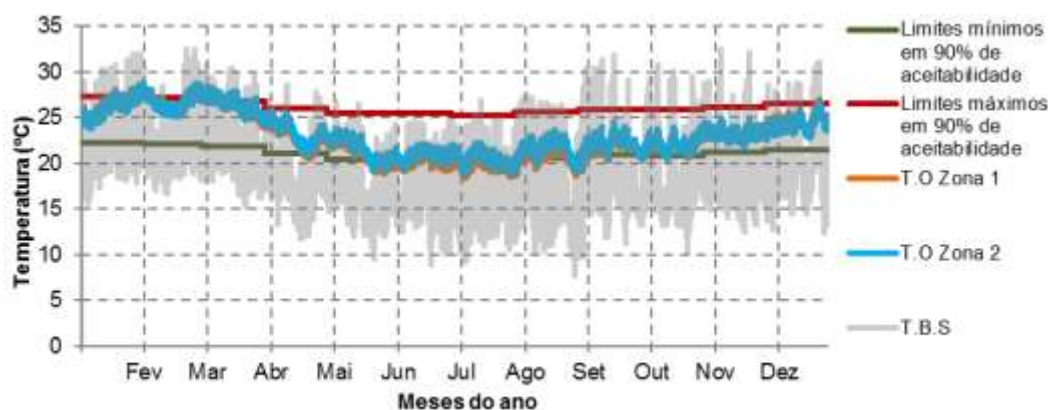
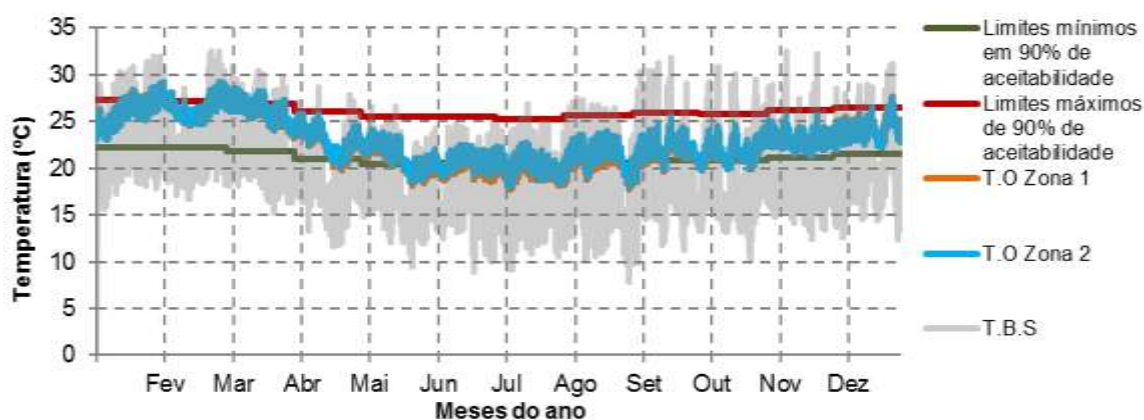


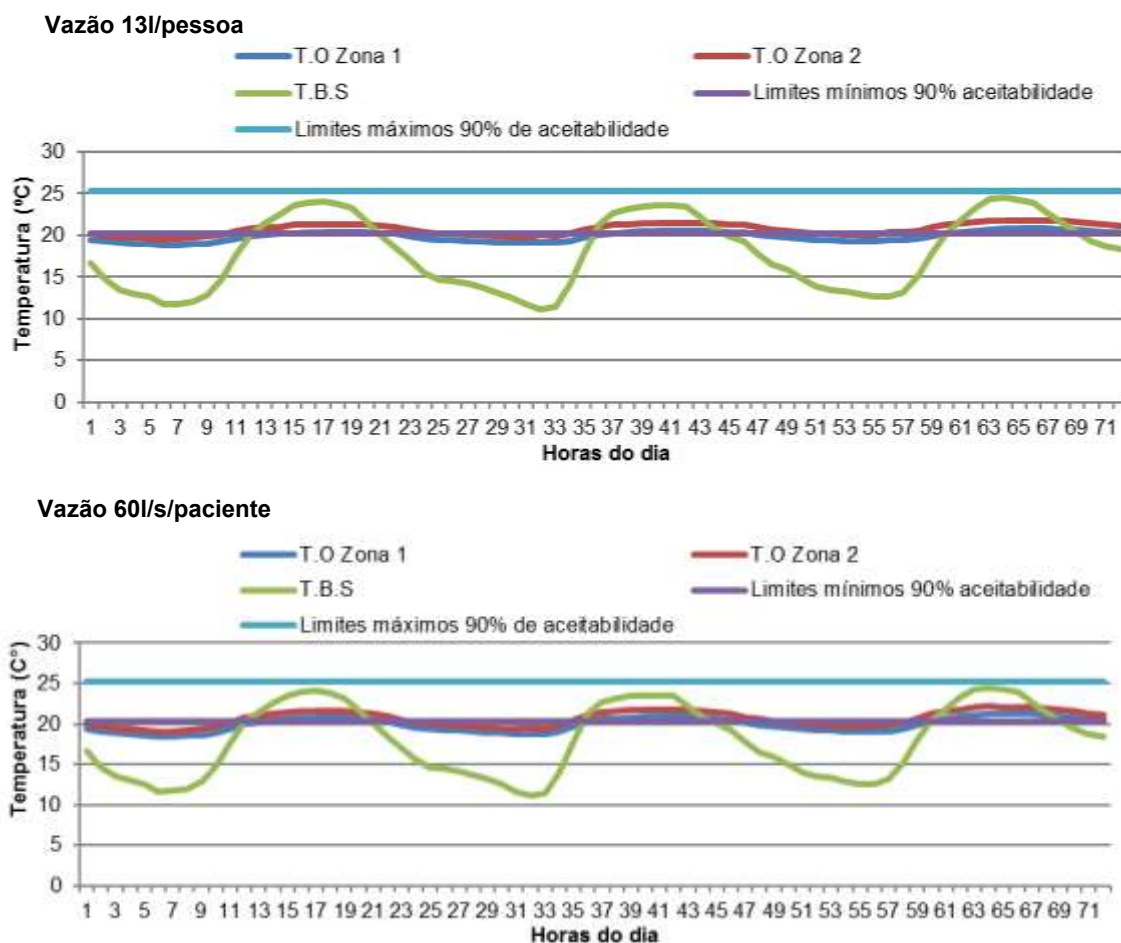
Figura 7 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os quartos de internação no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 60l/s/paciente (WHO, 2009).



O uso da ventilação mecânica no inverno, com os dois limites de taxas de vazão de ar estabelecidos, apenas conseguiu manter as temperaturas operativas das zonas térmicas dentro da faixa de conforto durante o período da tarde, quando as temperaturas do ar externo estão mais altas acima dos 21°C e há o ganho de calor pela radiação solar (Figura 52). De acordo com os resultados apresentados nos gráficos da figura 52, que mostra comportamento das variáveis de temperatura operativa e temperatura do ar externo em 3 dias típicos de inverno (16 a 18 de julho), no período noturno a temperatura do ar externo cai, chegando a ficar abaixo dos 15°C.

Verificou-se, pelos resultados do gráfico da figura 52, que no período noturno, com a ventilação mecânica, as temperaturas operativas nas zonas ficaram abaixo dos limites mínimos para 90% de aceitabilidade tanto para a taxa de vazão de 13l/s/pessoa quanto para 60l/s/paciente, apresentando horas de desconforto por frio. A título de comparação, verificou-se que a temperatura operativa com as diferentes taxas de vazão do ar comporta-se de maneira muito semelhante. Isso demonstra que o potencial de uso desta estratégia para o condicionamento das zonas, utilizando os diferentes limites de taxas de vazão do ar, não foi favorável no inverno durante a noite. Portanto, seria necessário o uso de um sistema para aquecimento das zonas no período noturno para manter as temperaturas dentro da faixa de conforto, com sistema de renovação de ar atendendo aos limites mínimos de taxas de vazão para manter a qualidade do ar interior.

Figura 8 - Temperatura do ar externo (T.B.S) e Temperatura operativa (T.O), durante 3 dias no período de inverno nas horas ocupadas (24horas), com vazão 13l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os quartos de internação.



Fonte: Autor (2015).

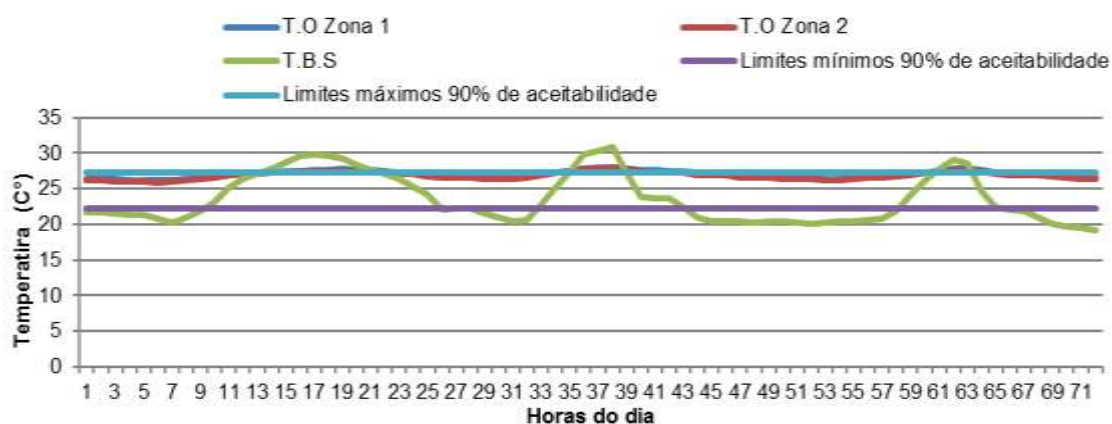
Os resultados dos gráficos da figura 53 mostram o comportamento da temperatura operativa e da temperatura do ar externo de 3 dias típicos de verão, nos dias de 16 a 18 de janeiro. Verificou-se que para os dois limites de vazão, nos meses mais quentes as temperaturas operativas nas zonas mantiveram-se dentro da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade, quando as temperaturas do ar externo estão abaixo dos 25°C durante o período noturno e nas primeiras horas da manhã. Depois das 9 horas da manhã, a temperatura do ar externo subiram, e com o ar mais quente em conjunto com a radiação solar a temperaturas operativa nas zonas também sobem. Durante o período vespertino, quando a temperatura do ar externo ficou mais alta, chegando aos 30°C ou mais, as temperaturas operativas nas zonas ficam acima da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade.

Durante o período da tarde, com o aumento da temperatura do ar externo, ocorre o insuflamento do ar mais quente nas zonas por meio da ventilação mecânica combinada com o ganho de calor pelas cargas internas e pela envoltória devido a radiação solar (Figura 53). A combinação destes fatores aumentou a temperatura operativa nas zonas térmicas, reduzindo o potencial de utilização da ventilação mecânica como estratégia de condicionamento no período vespertino. Isso demonstra que nestas horas do dia, seria necessário o uso do condicionamento artificial para resfriamento.

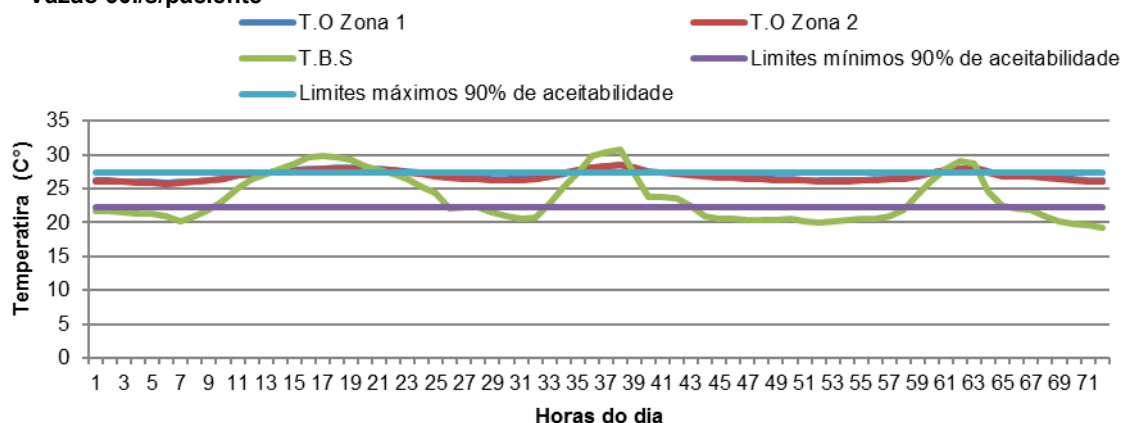
Verificou-se, por estes resultados, que nos períodos do ano que apresentaram horas de desconforto por frio ou por calor pelo uso da ventilação mecânica, o sistema de condicionamento artificial deverá ser utilizado a fim de manter a temperatura operativa nas zonas dentro da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade.

Figura 9 - Temperatura do ar externo (T.B.S) e temperatura operativa (T.O), durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (24horas), com vazão 13l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os quartos de internação.

#### Vazão 13l/s/pessoa



#### Vazão 60l/s/paciente



Fonte: Autor (2015).

No caso dos períodos que apresentaram desconforto por calor, nos meses de dezembro a março, a ventilação mecânica poderá funcionar no período noturno e nas primeiras horas da manhã, ou em períodos onde a temperatura do ar externo não ultrapasse os 27°C. De acordo com Batista (2011) a ventilação mecânica noturna como estratégia de resfriamento apresenta vantagens em relação à ventilação natural, pela sua menor variabilidade e por permitir que as esquadrias permaneçam fechadas resguardando o ambiente de interferências externas. No caso do quarto de internação, que se trata de um ambiente hospitalar que exige maior controle contra agentes externos, esta estratégia, além de apresentar vantagens para o resfriamento, como colocado por Batista (2011), também mantém a qualidade do ar interno, auxiliando no controle da infecção hospitalar.

De acordo com os dias avaliados durante as horas com as temperaturas do ar externo acima dos 27°C e no período que compreende das 10h da manhã até 20h, o condicionamento artificial pode ser utilizado para resfriamento (Figura 53). Durante o período da manhã até às 13 horas, a ventilação natural também poderia ser utilizada pela manhã em conjunto com a ventilação mecânica, se as temperaturas do ar externo não ultrapassarem os 27°C.

Nos meses em que há desconforto por frio nas zonas térmicas, no inverno ou em períodos com a temperatura do ar externo abaixo dos 15°C, de acordo com os dias analisados, o período favorável para a utilização da ventilação mecânica seria durante à tarde, do meio-dia até às 20 h. Portanto, esta estratégia pode ser utilizada nestas horas, o que traria as mesmas vantagens mencionadas anteriormente, pois as aberturas podem permanecer fechadas, proporcionando privacidade ao usuário e o controle de agentes externos como o ruído e a poluição, além do controle dos agentes patológicos. No período noturno seria necessária a utilização do condicionamento artificial para aquecimento das zonas térmicas, com renovação de ar.

Entretanto, um fator importante a ser controlado, principalmente no caso do uso de aquecimento nos quartos de internação, são os níveis de umidade relativa. Como abordado pelas pesquisas de Skoog et al. (2006) e Khodakarami (2012), ambientes aquecidos artificialmente podem apresentar



baixos níveis de umidade, causando desconforto, problemas respiratórios e a proliferação de agentes infecciosos, como o influenza vírus. Portanto, em conjunto com o uso de sistemas de aquecimento, deve haver meios de se controlar os níveis de umidade a fim de proporcionar conforto e a qualidade do ar interno. Este parâmetro também se aplica para o uso de sistema ativo para resfriamento. O controle de umidade no caso do uso da ventilação mecânica também deve ser considerado.

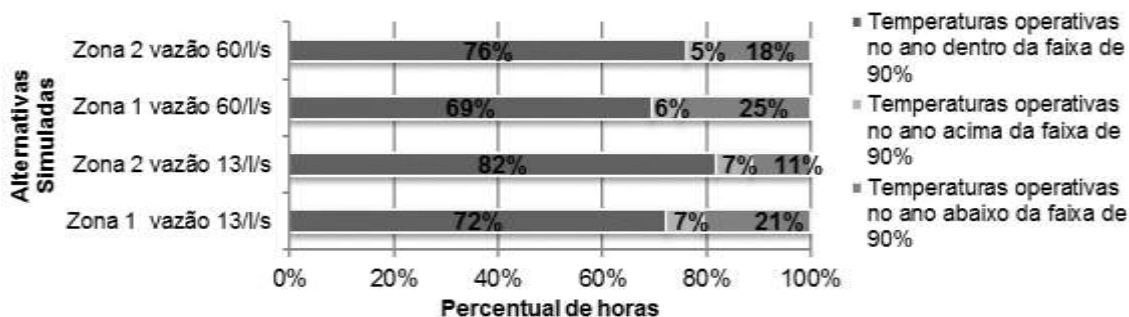
Os resultados da simulação com o limite de taxa de vazão do ar recomendado pelo guia da OMS, de 60l/s/paciente, apresentaram mais horas de desconforto por frio, do que com a vazão de 13l/s/paciente. As alternativas simuladas com vazão de 60l/s/paciente apresentaram 35% de horas de desconforto por frio na zona 1, e 29% na zona 2, sem as estratégias bioclimáticas adotadas (Figuras 55). Nas alternativas com as estratégias este percentual diminuiu para 25% na zona 1 e 18% na zona 2, com uma diferença de até 10 pontos percentuais no número de horas abaixo da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade (Figura 54).

Verificou-se que utilizando maiores taxas de renovação de ar, maior será o desconforto por frio nas zonas térmicas devido ao insulflamento de um maior fluxo de ar externo, principalmente em períodos frios. Verificou-se que utilizando o limite da taxa de vazão do ar vazão estabelecido pelo guia da OMS, sem considerar estratégias passivas para o controle da perda de calor nas zonas térmicas, a demanda pelo uso do ar condicionado para aquecimento pode ser maior do que em um projeto que às utilize. Entretanto, como mostram os resultados com e sem as estratégias bioclimáticas (Figuras 54 e 55), com a vazão de 60l/s/paciente menor são os percentuais de horas acima da faixa de conforto. Isso demonstra que as perdas de calor geradas por uma maior taxa de vazão de ar são favoráveis em períodos com temperaturas do ar externo acima dos 27°C.

Os resultados com o limite de vazão estabelecido pela ASNSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007) apresentaram um maior percentual de horas acima da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade, do que os resultados com vazão de 60l/s/paciente, não proporcionando resfriamento suficiente em períodos mais quentes, como o verão. Nas alternativas sem as estratégias bioclimáticas adotadas com a vazão de 13l/s/pessoa o percentual de horas de

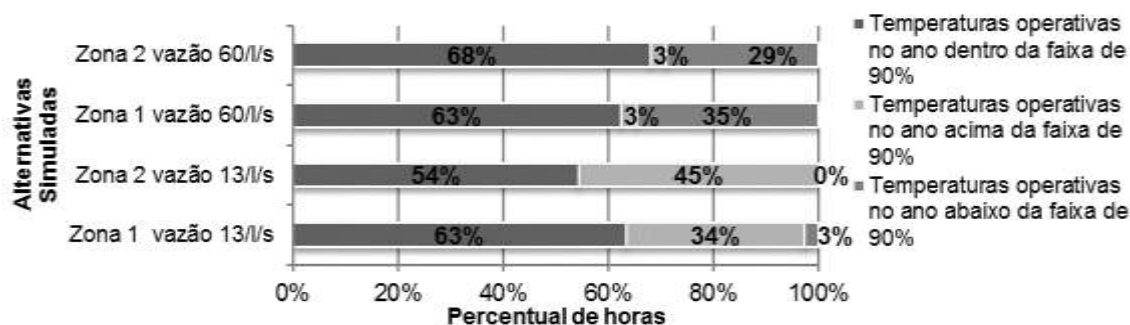
desconforto por calor foi de 79%, uma diferença de 16 pontos percentuais a mais de horas que com a vazão de 60l/s/paciente (Figura 55).

Figura 10 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 13l/s/pessoa e 60l/s/paciente, com as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E.



Fonte: Autor (2015).

Figura 11 - Percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas dos quartos de internação, nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 13l/s/pessoa e 60l/s/paciente, sem as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E.



Fonte: Autor (2015).

Observou-se que uma alternativa para a utilização da ventilação mecânica de modo a promover um melhor conforto térmico nas zonas, é a possibilidade de uso de um sistema que obedeça a um limite mínimo de taxa de vazão de ar para o controle da infecção hospitalar, e que possa incrementar as taxas de vazão de ar ou diminuir de acordo com a variação da temperatura externa.

Como colocado por Adamu, Price e Cook (2012) uma taxa máxima de ventilação, acima dos quais não há mais nenhuma redução do risco de infecção não é conhecida. A escolha da taxa de fluxo de ar pode ser influenciada pela necessidade de reduzir o consumo de energia, além de que este limite também irá depender diretamente de parâmetros estabelecidos por

meio de análises de conforto térmico. Limites máximos de taxas de vazão de ar que podem prejudicar o conforto não foram abordados nesta pesquisa.

As alternativas simuladas mostram que quando utilizadas estratégias passivas o percentual de horas em conforto, que não passou de 68% das horas no ano nas alternativas sem estratégias, aumenta para mais de 72%, chegando a uma diferença de até 28 pontos percentuais (Figuras 54 e 55). Isso demonstra que um projeto que utilize estratégias de controle de perda e ganho de calor por meio da arquitetura pode aumentar o potencial de utilização da ventilação mecânica e o conforto térmico.

A utilização da ventilação mecânica apresentou um bom resultado de aproveitamento com até 82% de horas ocupadas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade. Contudo, apresentou um maior número de horas de desconforto ao longo do ano, do que o uso da ventilação natural. Os resultados do desempenho da ventilação natural com as estratégias bioclimáticas apresentaram no máximo 22% de horas de desconforto no ano, e com o uso da ventilação mecânica este percentual foi de no mínimo 18% chegando a até 31% das horas no ano em desconforto (Figura 54). Isso demonstra que levando em consideração apenas a análise do conforto térmico nas zonas de quartos de internação, o potencial de uso da ventilação mecânica foi menor do que o da ventilação natural e a sua contribuição para uma maior demanda de uso do condicionamento artificial foi maior. Contudo a ventilação mecânica garante as taxas de renovação de ar necessárias para a qualidade do ar interno, o que a ventilação natural não atingiu.

#### **4.2.2 Consultórios Ambulatoriais**

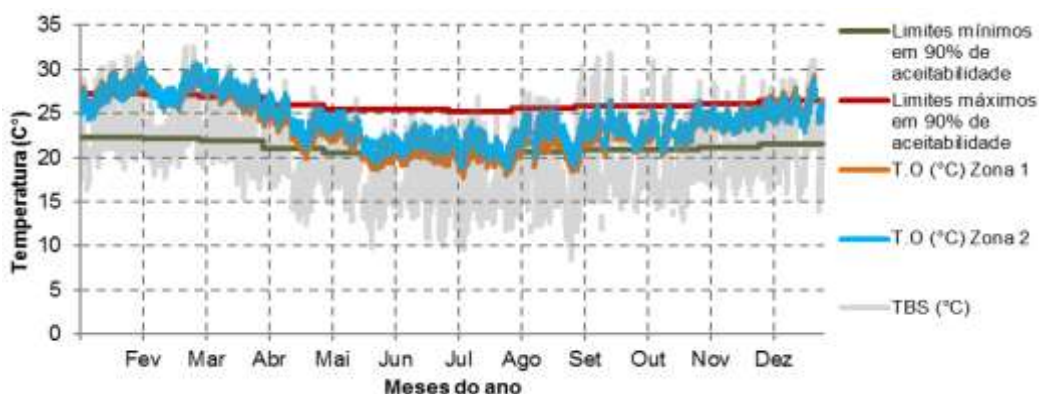
As figuras 56 e 57 apresentam os dados horários de temperatura operativa das zonas de consultórios e de temperatura do ar externo no período de um ano, apenas nas horas ocupadas num total de 3340 horas, para as alternativas simuladas atendendo aos limites de taxas de vazão de ar da Standard 62.1 (2007) e da OMS (2009).

Assim como ocorreu com os quartos de internação observou-se, principalmente nos meses mais frios, uma demanda por aquecimento das

zonas nas horas ocupadas quando as temperaturas do ar externo ficam abaixo dos 15°C. Esta demanda é maior para o limite de taxa de vazão de ar de 60l/s/paciente da OMS (2009), como mostra a figura 57. Observou-se que com a taxa de vazão da OMS (2009) há maior desconforto por frio.

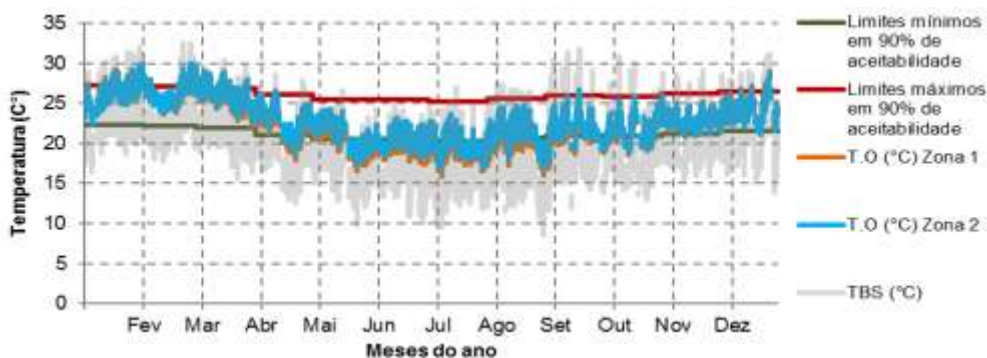
Nos meses de verão, quando a temperatura do ar externo fica acima dos 28°C, as alternativas simuladas tendem a apresentar a necessidade da participação do condicionamento artificial ou outras formas de incrementar o movimento do ar interno para proporcionar resfriamento, a fim de manter a temperatura operativa nas zonas dentro da faixa de conforto (Figuras 56 e 57). Com a aplicação da taxa de vazão da Standard 62.1 (2007) de 8l/s/pessoa, que há maior ocorrência de temperatura operativa acima da faixa para 90% de aceitabilidade (Figura 56).

Figura 12 - Dados horários de temperatura operativa (T.O) para os consultórios no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 13l/s/pessoa(ASHRAE Standard 62.1).



Fonte: Autor (2015).

Figura 13 - Dados horários de temperaturas operativas (T.O) no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, temperatura do ar externo (T.B.S), para o limite de vazão de 60l/s/paciente (WHO, 2009).



Fonte: Autor (2015).

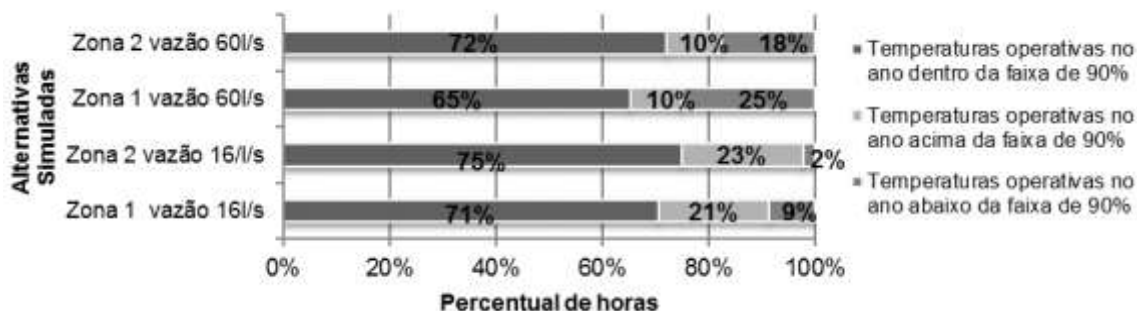
Assim como identificado na análise das zonas dos quartos de internação, nos consultórios também se verificou que utilizando uma maior taxa de vazão de ar, maior foi o desconforto por frio nas zonas devido às perdas de calor geradas por um maior insulflamento do ar externo. Verificou-se que utilizando uma taxa de vazão de ar mais baixa menor foram as perdas de calor geradas nas zonas térmicas, e maior foi o desconforto por calor nas zonas térmicas devido à diminuição do insulflamento do ar externo.

Nas alternativas sem as estratégias passivas adotadas como demonstra a figura 59 a maior parte das alternativas simuladas apresentou mais da metade das horas ocupadas em desconforto pelo calor, e menos horas dentro da faixa de conforto. Os resultados percentuais da taxa de vazão de ar da Standard 62.1 apresentaram menos de 54% de horas em conforto, enquanto que para o limite da OMS (2009) as horas em conforto chegaram a apenas 34% das horas. Para a zona 2, que possui um maior ganho de calor pela radiação solar, o percentual de horas em conforto não ultrapassou os 4% das horas ocupadas, apresentando uma diferença de 71 pontos percentuais do que com a aplicação das estratégias passivas (Figura 58).

Isso demonstra que a utilização da ventilação mecânica nos consultórios, sem as estratégias arquitetônicas para evitar o ganho de calor nas zonas, foi mais crítico do que com o uso da ventilação natural e do que para os quartos de internação. A alternativa sem o uso das estratégias adotadas e com a taxa de vazão de ar da Standard 62.1 apresentou os resultados mais críticos em relação ao conforto, chegando a atingir 96% de horas de desconforto pelo calor (Figura 59).

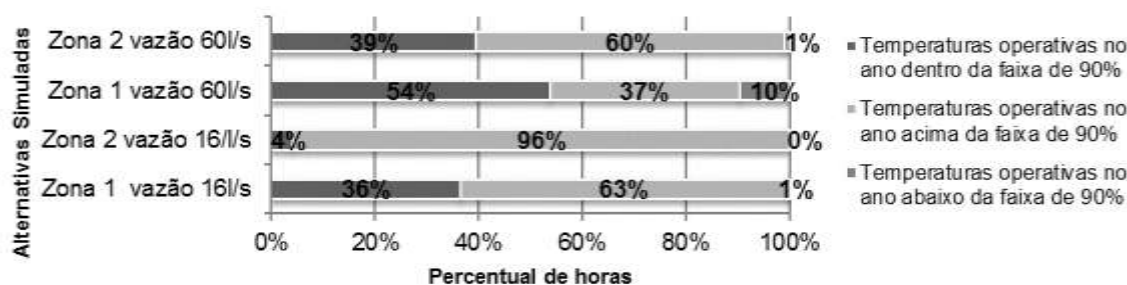
Verificou-se, pelas diferenças percentuais entre as alternativas com estratégias e sem as estratégias, que o sombreamento e o uso da massa térmica para resfriamento com o funcionamento da ventilação mecânica, auxiliaram a reduzir em até 73 pontos percentuais o desconforto pelo calor nas zonas dos consultórios (Figuras 58 e 59).

Figura 14 - Percentual dos dados horários de temperaturas operativas nas zonas ,nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 8l/s/pessoa e 60l/s/paciente, com as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E, para os consultórios.



Fonte: Autor (2015).

Figura 15 - Percentual dos dados horários de temperaturas operativas nas zonas nos limites de 90% de aceitabilidade, para as vazões de 8l/s/pessoa e 60l/s/paciente, sem as estratégias de sombreamento, massa térmica e vidros Low-E, para os consultórios.



Fonte: Autor (2015).

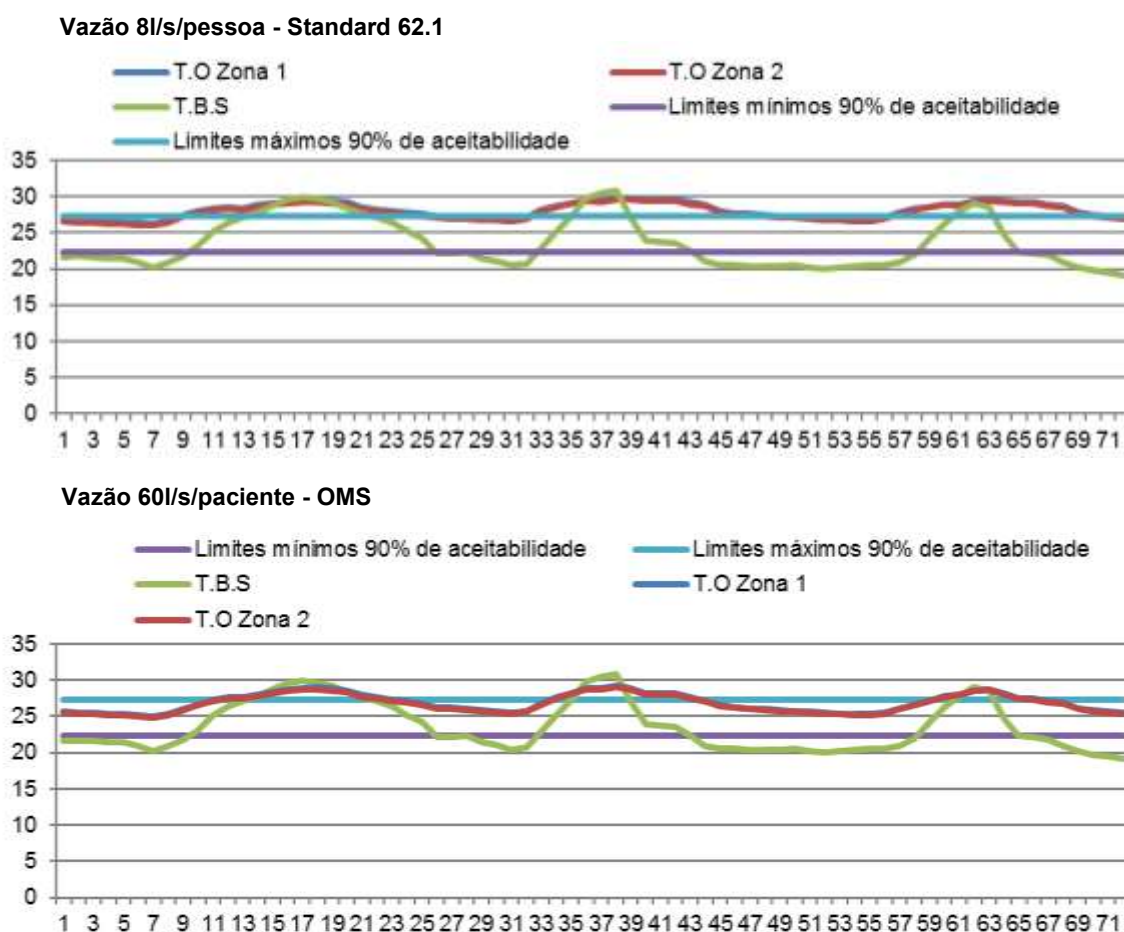
Verificou-se que o uso da ventilação mecânica nas zonas de consultórios teve o menor aproveitamento em relação ao conforto térmico e a maior demanda pelo condicionamento artificial entre todas as outras alternativas analisadas.

Os resultados dos gráficos da figura 60 mostram o comportamento das variáveis de temperatura operativa e temperatura do ar externo durante 3 dias de verão com as estratégias passivas adotadas, nos dias de 16 a 18 de janeiro. Por meio destes resultados observou-se que devido a sua característica de ocupação, durante os períodos matutino e vespertino, o conforto térmico nas zonas de consultórios é influenciado pela temperatura do ar externo mais alta nestes períodos do dia, assim como pela influencia da radiação solar. Fatores que contribuíram para que as zonas de consultórios tenham mais horas de desconforto por calor, devido a um maior ganho de calor no verão nas horas ocupadas do que nos quartos de internação que tem ocupação 24 horas. Durante os períodos de temperatura do ar externo mais alta, com a utilização

da ventilação mecânica há o insulfamento do ar mais quente nas zonas que, com o ganho de calor pela envoltória, acaba por aumentar a temperatura operativa nas zonas. Isto não ocorre com o uso da ventilação natural que devido ao setpoint de 24°C estabelecido, não há o uso da ventilação natural quando a temperatura do ar externo está mais altas que a temperatura das zonas.

Durante a noite os consultórios não são ocupados, portanto neste período há uma redução das cargas internas e não há o ganho de calor pela radiação solar. Um menor ganho de calor durante a noite, com o uso da ventilação mecânica mesmo durante o período em que não há ocupação, mais a massa térmica das paredes internas foi favorável para que durante o dia um maior número de dados horários de temperatura operativa ficasse dentro da zona de conforto.

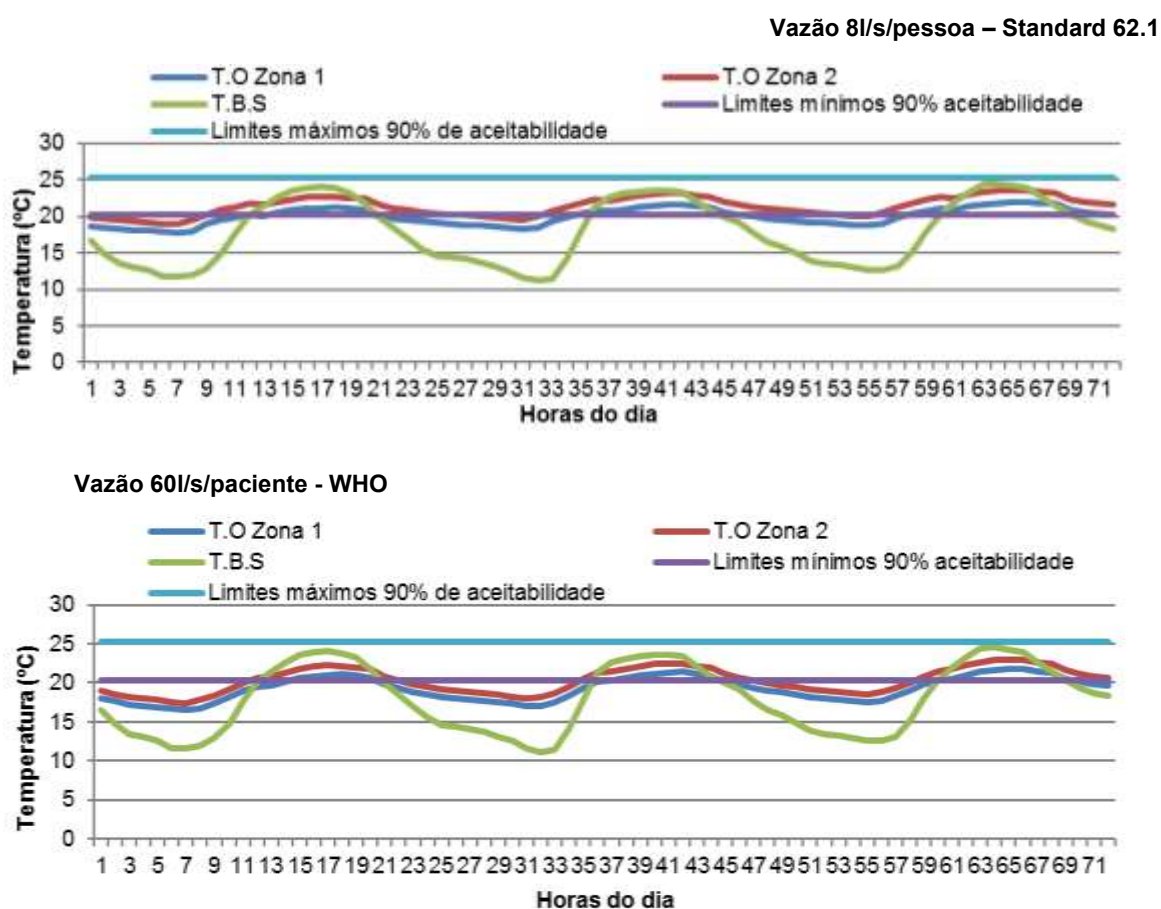
Figura 16 - Temperatura do ar externo (C°) e Temperatura operativa (C°), durante 3 dias no período de verão nas horas ocupadas (12horas), com vazão 8l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os quartos de internação.



Fonte: Autor (2015).

Os resultados dos gráficos da figura 61 apresentam o comportamento das variáveis de temperatura operativa e temperatura do ar externo no inverno, durante 3 dias típicos, dos dias 8 a 10 de julho. Assim como verificado na análise dos quartos de internação, também para as zonas de consultórios o uso da ventilação mecânica no inverno não se mostrou favorável nas primeiras horas da manhã e no período noturno, em que há ocupação nestes ambientes. De acordo com os dias típicos de inverno avaliados, nos meses em que há desconforto por frio nas zonas térmicas dos consultórios o período favorável para a utilização da ventilação mecânica seria o período vespertino. Portanto esta estratégia pode ser utilizada nas horas entre o meio-dia até às 16 horas, No período noturno, nas horas em que ainda há ocupação das 18h às 20h, seria necessária a utilização do condicionamento artificial para aquecimento.

Figura 17 - Temperatura do ar externo (C°) e Temperatura operativa (C°), durante 3 dias no período de inverno nas horas ocupadas (12horas), com vazão 8l/s/pessoa e vazão 60l/s/paciente, para os consultórios.



Fonte: Autor (2015).



Apenas considerando-se a análise do conforto térmico nas zonas dos consultórios ambulatoriais, o potencial de uso da ventilação mecânica apresentou a maior demanda de uso do condicionamento artificial entre as alternativas simuladas. Isso demonstra que para se utilizar de estratégias de resfriamento como a ventilação natural quanto como a ventilação mecânica, devem-se considerar as características de ocupação e utilização de cada unidade e ambiente hospitalar de forma diferenciada.

A ventilação mecânica garante as taxas de renovação de ar necessárias para a qualidade do ar interno, o que a ventilação natural não pôde garantir. Portanto por mais que a ventilação natural tenha atendido melhor ao conforto térmico, mas não atendeu as taxas de vazão satisfatoriamente, definiu-se nesta pesquisa analisar o desempenho da ventilação mecânica de forma a utilizar um sistema que possa atender as taxas de vazão e de conforto térmico nas zonas. Porém, como a ventilação mecânica apresentou mais horas de desconforto por frio e calor, verificou-se que em conjunto com esta estratégia outro sistema, como o condicionamento artificial, terá de ser utilizado a fim de poder manter as temperaturas operativas dentro da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade. De acordo com o colocado por Adamu, Price e Cook (2012), a escolha da taxa de fluxo de ar pode ser influenciada pela necessidade de reduzir o consumo de energia. Portanto, partiu-se para avaliar o desempenho energético da ventilação mecânica complementada pelo uso do ar condicionado nas horas em que aquela não consegue atender os níveis de conforto para 90% de aceitabilidade.

#### 4.3 DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA COMPLEMENTADA PELO AR-CONDICIONADO

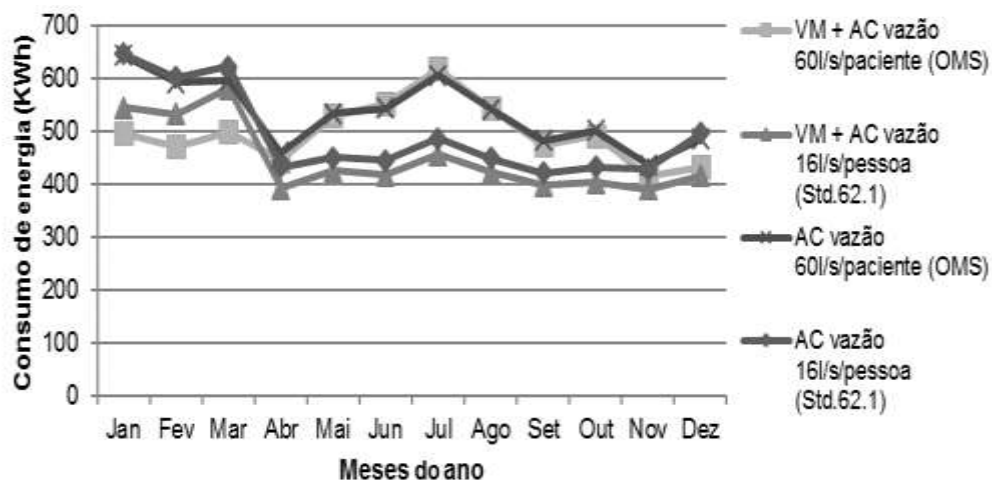
Nesta parte da análise são apresentados os resultados do desempenho energético dos modelos computacionais do quarto de internação hospitalar e do consultório ambulatorial, por meio do uso das alternativas com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado, em conjunto com as estratégias passivas de sombreamento das janelas, massa térmica das paredes internas e uso de vidros Low-E, aplicadas aos modelos simulados nesta pesquisa.

### 4.3.1 Quartos de Internação

Observou-se, pelo gráfico da figura 62, que os modelos simulados com o limite de taxa de vazão de ar do guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009), apresentaram maior consumo de energia e uma maior variação deste consumo entre os meses do ano. Isso ocorreu pelo fato de que na análise do desempenho térmico dos modelos simulados somente com a ventilação mecânica, verificou-se que com o uso deste limite de taxa de vazão do ar, os mesmos apresentaram um maior número de horas em desconforto no ano. Isto ocasionou resultados de maior consumo de energia tanto no verão como no inverno, devido a uma maior demanda de funcionamento do ar condicionado. Os meses que apresentaram maior consumo de energia e demanda pelo uso do ar condicionado para estas alternativas são janeiro, pois é o mês que apresenta um maior número de dados horários de temperatura mais elevada, e julho, que apresenta as temperaturas mais baixas, com mais de 300kWh/mês (Figura 62).

As alternativas simuladas com o limite da taxa de vazão de ar da ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1 (ASHRAE, 2007) apresentaram uma menor variação no consumo de energia elétrica durante os meses do ano, exceto nos meses mais quentes, de janeiro a março. Entretanto, apesar de terem apresentado menor consumo, nos meses de verão as alternativas com este limite da taxa de vazão de ar apresentaram um maior número de horas acima da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade. O que ocasionou um maior consumo de energia para o resfriamento (Figura 62).

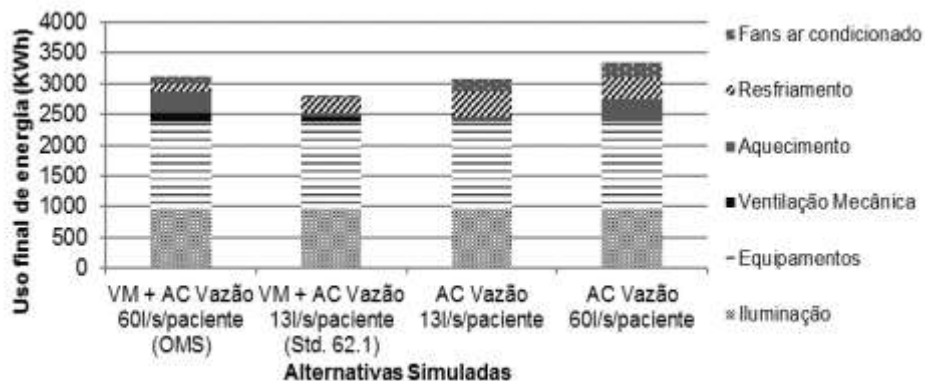
Figura 18 - Consumo mensal de energia elétrica nas zonas, para os modelos com a ventilação mecânica complementada pelo uso do ar condicionado e para os modelos com ar condicionado.



Fonte: Autor (2015).

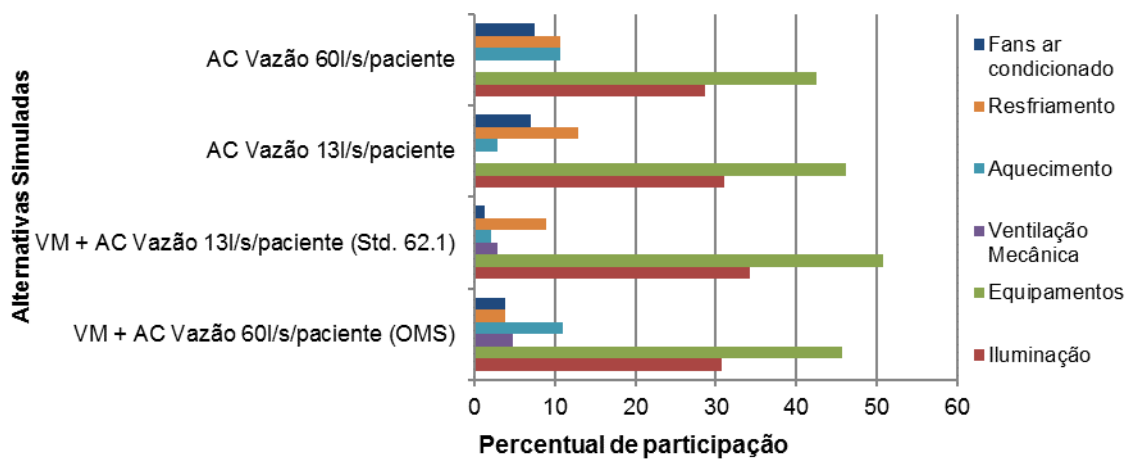
Os resultados de uso final de energia elétrica do gráfico da figura 63 e tabela 12 mostram maior consumo para aquecimento com as alternativas simuladas com o limite de taxa de vazão do ar de 60l/s/paciente do guia da OMS, com uma diferença de 281 KWh a mais de consumo do que para a outra taxa de vazão. As alternativas com a taxa de vazão da ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007) apresentaram maior consumo para o resfriamento das zonas, porém com uma menor diferença de consumo entre os diferentes limites de taxas de vazão de ar, com 128 KWh. Isso demonstra a relação do consumo de energia elétrica das alternativas simuladas com os resultados das análises de conforto térmico da ventilação mecânica, para os diferentes limites de taxas de vazão de ar utilizados nesta pesquisa.

Figura 19- Uso final de energia elétrica nas zonas em KWh, para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado e somente por meio do ar condicionado.



Fonte: Autor (2015).

Figura 20 – Percentuais de participação do uso final de energia elétrica nas zonas, para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar-condicionado e somente por meio do ar condicionado.



Fonte: Autor (2015).

Tabela 12 - Estimativas do consumo de energia elétrica por uso final nos quartos de internação em KWH, para o período de um ano (8760h)

Área	Modelos simulados	Iluminação	Equipamentos	Ventilação Mecânica	Fans Ar Cond.	Resfriamento	Aquecimento	Consumo Total	Economia de energia VM + AC vazão Standard 62.1	Economia de energia VM + AC vazão OMS
	Baseline AC vazão	958	1.423	0	217	396	86	3.082	9.0%	0%
	Standard 62.1								278 KWh	0 KWh
	Baseline AC vazão OMS	958	1.423	0	248	358	359	3.348	16.2%	7.1%
	VM + AC vazão Standard 62.1	958	1.423	80	35	249	59	2.804	-----	-----
	VM + AC vazão OMS	958	1.423	149	119	121	340	3.110	-----	-----
	Baseline AC vazão	35.675	52.895	0	8.058	14.730	3.212	114.511	9.0%	0%
	Standard 62.1								10.304 KWh	0 KWh
	Baseline AC Vazão OMS	5.675	52.895	0	9.233	13.321	13.333	124.398	16.2%	7.1%
	VM + AC vazão Standard 62.1	35.675	52.895	2.956	1.286	9.245	1.286	104.207	-----	-----
	VM + AC vazão OMS	35.675	52.895	5.530	4.412	4.483	12.634	115.568	-----	-----

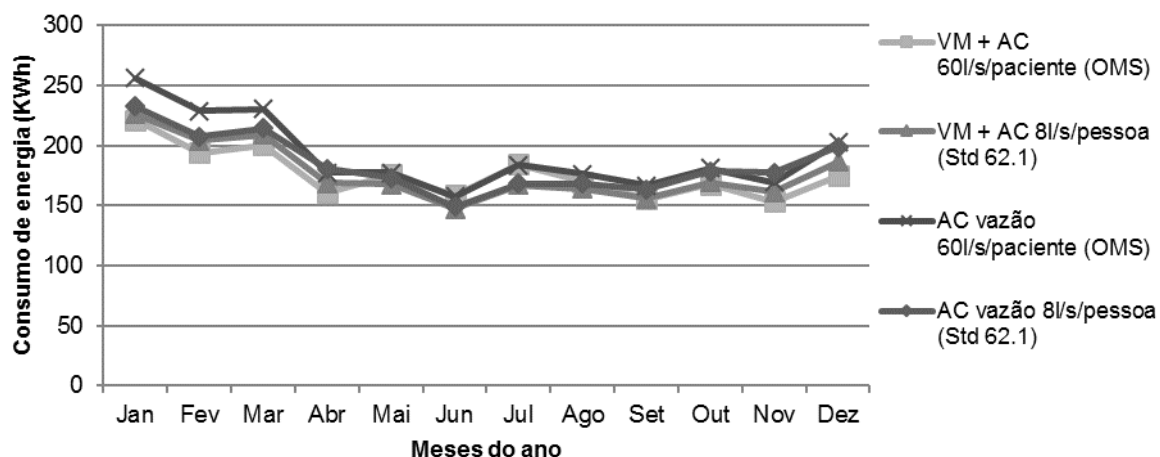
### 4.3.2 Consultório Ambulatorial

O gráfico da figura 65 apresenta os resultados do consumo de energia elétrica mensal nas zonas, para as alternativas simuladas. Verifica-se que as zonas de consultórios apresentaram, durante a maior parte dos meses do ano, pouca variação no consumo de energia elétrica entre os casos simulados. Somente nos meses mais quentes, de dezembro a março, onde o consumo de energia elétrica foi maior, nota-se que houve variação no consumo de energia elétrica.

Entretanto, apesar de terem apresentado menos horas de desconforto por calor, as alternativas simuladas apresentaram um maior consumo de energia para o resfriamento das zonas, como mostram os resultados dos gráficos das figuras 65 e 66. Isto ocorreu, pois, no caso dos consultórios, o consumo de energia para resfriamento é maior devido à influência da sua característica de ocupação. Pela análise das variáveis ambientais com o uso da ventilação mecânica, verificou-se que durante a maior parte das horas em que as zonas estão com ocupação, corresponde ao período do dia que houve um maior número de horas de desconforto por calor nos meses mais quentes. Portanto, nas horas de ocupação das zonas, houve uma maior demanda para o resfriamento do que para o aquecimento, pois o número de horas acima do limite de temperatura de 24°C utilizado para o funcionamento do ar condicionado para proporcionar 100% de conforto, foi maior.

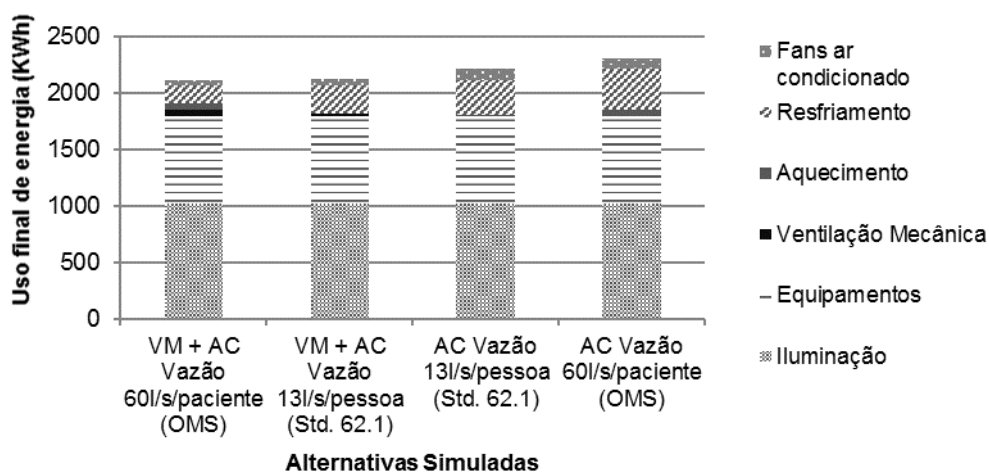
Os resultados de uso final de energia elétrica apresentado nos gráficos das figuras 65 e 66 mostram que houve pouca diferença de consumo de energia elétrica entre as diferentes alternativas simuladas com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado. A diferença entre a alternativa com o limite de taxa de vazão de ar da ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007) para a com o limite do guia da OMS foi de apenas 11 KWh/ano a mais de consumo. Ao contrário do que ocorreu com as zonas dos quartos de internação, onde houve diferenças mais significativas de consumo entre os diferentes limites de taxas de vazão de ar, nos consultórios este parâmetro teve menor influência nos resultados.

Figura 21 - Consumo mensal de energia elétrica nas zonas com as taxas de vazões de 8l/s/pessoa (Standard 62.1) e 60l/s/paciente (OMS), para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo uso do ar condicionado.



Fonte: Autor (2015).

Figura 22 - Uso final de energia elétrica nas zonas em KWh para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado e somente por meio do ar condicionado, com as taxas de vazão de 8l/s/pessoa (Standard 62.1) e 60l/s/paciente (OMS)

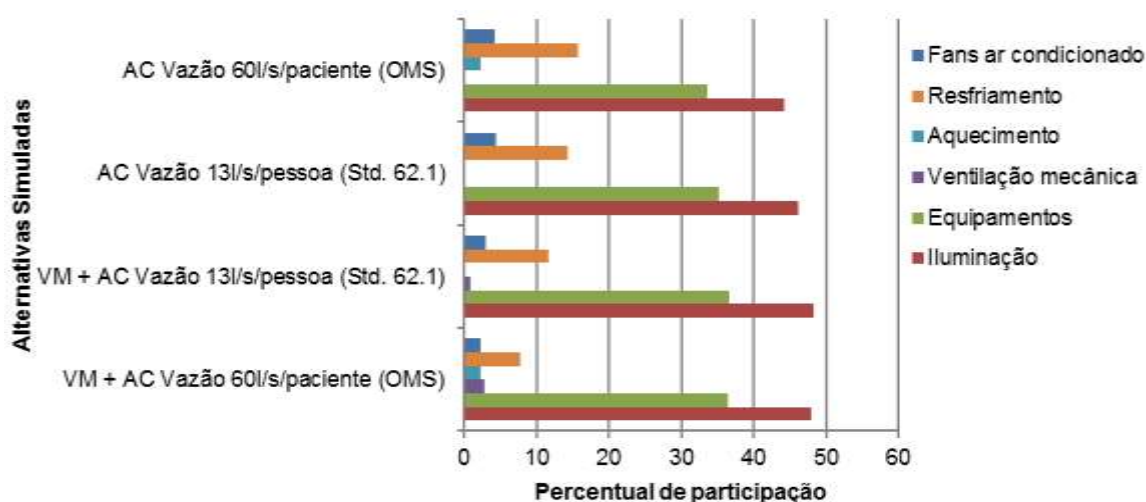


Fonte: Autor (2015).

Nas zonas de consultórios a iluminação apresentou mais de 40% no consumo de energia elétrica dentre os usos finais de energia, com a maior participação, seguida pelos equipamentos e o condicionamento artificial (Figura 67). Assim como nos quartos de internação, o uso da ventilação mecânica teve maior participação nas horas do ano do que o condicionamento artificial, mantendo as temperaturas dentro da faixa de conforto para 90% de aceitabilidade. Entretanto, apresentou o menor resultado de consumo de energia elétrica. Isso demonstra que nas zonas de consultórios esta estratégia, em conjunto com as demais estratégias passivas adotadas para evitar o ganho de calor nas zonas térmicas, possui um bom

potencial para contribuir com a redução do consumo de energia elétrica nestes ambientes (Tabela 13).

Figura 23 - Percentuais de participação do uso final de energia elétrica nas zonas, para o condicionamento por meio da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado e somente por meio do ar condicionado.



Fonte: Autor (2015).

Assim como foi identificado na análise do conforto térmico, as características de ocupação entre as zonas de quartos e consultórios também influenciou nos resultados de consumo de energia elétrica. Os consultórios apresentaram menor consumo de energia que os quartos de internação, pois possuem ocupação em metade das horas do dia do que os quartos.

Isso demonstra que também para avaliar o potencial de economia de energia, o ideal é que cada ambiente e unidade hospitalar seja avaliado separadamente de acordo com suas características físico-funcionais. Isto também demonstra que cada unidade hospitalar possui parâmetros de avaliação de conforto térmico e de consumo de energia elétrica diferenciados, que resultam em diretrizes projetuais de aplicação de estratégias de condicionamento de acordo com as características físico-funcionais de cada unidade ou ambiente hospitalar.

Os resultados da Tabela 13 demonstram que todos os casos simulados com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado obtiveram economia de energia elétrica em relação ao *baseline* com o limite de taxa de vazão do ar do guia da OMS e da ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007). As zonas de consultórios apresentaram maior potencial de economia de energia na alternativa da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado com o limite de taxa de vazão do ar de 60l/s/paciente enquanto que as zonas dos quartos



de internação apresentaram maior potencial de economia de energia pela mesma alternativa com o limite de taxa de vazão de ar recomendado pela ASNI/ASHRAE Standard 62.1 (2007).

Na análise do desempenho do uso da ventilação mecânica com o limite de taxa de vazão de ar do guia da OMS, as zonas de consultórios tiveram menos horas de desconforto por calor, do que com o limite da ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007), apresentando uma menor demanda para resfriamento. Portanto, com o limite de taxa de vazão de ar recomendado pelo guia *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings* (WHO, 2009) aumentou-se o potencial de economia de energia. O caso simulado com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado com este limite de taxa de vazão de ar apresentou o maior potencial de economia de energia dentre as alternativas simuladas para os consultórios, com 8,2% ou 34.099 KWh em relação ao *baseline* com a mesma taxa de vazão de ar, considerando a área total de consultórios selecionada para este estudo, com 3.431,32m<sup>2</sup> (Tabela 13).

O caso simulado com o limite de taxa de vazão de ar do guia da OMS apresentou o maior potencial de economia de energia, dentre as alternativas simuladas para o modelo computacional do consultório, com 8,2% ou 34.099KWh em relação ao *baseline* com a mesma taxa de vazão de ar (Tabela 13).

Tabela 13- Estimativas do consumo de energia elétrica por uso final e economia de energia em relação ao Baseline do consultório, em KWh para o período de um ano (3340hr).

Área	Modelos simulados	Iluminação	Equipamentos	Ventilação Mecânica	Fans Ar Cond.	Resfriamento	Aquecimento	Consumo Total	Economia de energia VM + AC vazão Standard 62.1	Economia de energia VM + AC vazão OMS
	Baseline AC vazão	1.022	777	0	95	315	3	2.211	3.8%	4.3%
	Standard 62.1								83 KWh	94 KWh
	Baseline AC vazão OMS	1.022	777	0	95	362	51	2.307	7.8%	8.2%
	VM + AC vazão Standard 62.1	1.022	777	16	61	248	4	2.128	-----	-----
	VM + AC vazão OMS	1.022	777	57	46	166	47	2.117	-----	-----
	Baseline AC vazão	182.975	139.062	0	2.507	56.320	485	395.840	3.8%	4.3%
	Standard 62.1								3.736 KWh	4.250KWh
	Baseline AC Vazão OMS	182.975	139.062	0	2.507	64.723	9151	412.940	7.8%	8.2%
	VM + AC vazão Standard 62.1	182.975	139.062	2.897	10.867	29.725	709	380.900	-----	-----
	VM + AC vazão OMS	182.975	139.062	1.513	1.226	44.417	8470	378.841	-----	-----

A metragem quadrada total das áreas selecionadas dos quartos de internação, e dos consultórios, mapeadas neste estudo, com 4.641m<sup>2</sup> do Pavilhão Vicky e Joseph Safra, apresentaram um consumo total de 510.351 KWh/ano para o baseline com o limite de taxa de vazão da ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007), e 537.388 KWh/ano para o baseline com o limite de taxa de vazão do guia da OMS (Tabela 14). Esta área quadrada total selecionada corresponde a apenas 6,6% da metragem quadrada total do Pavilhão, que possui uma metragem quadrada total de 70.000m<sup>2</sup>.

Para a área do Pavilhão selecionada com quartos de internação mais consultórios, as alternativas simuladas apresentaram um bom potencial de economia de energia para ambos os limites de taxas de vazão do ar, com resultados bem aproximados de economia de energia entre estes limites. Em menos de 10% da porção da área total do Pavilhão, os resultados da Tabela 14 demonstram que houve economia de energia de 9,7%, no caso simulado com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado com o limite de taxa de vazão de ar da ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2007). Esse percentual de economia de energia elétrica, equivale a redução de 52.231KWh/ano em relação ao consumo total de energia do *baseline* com o limite de taxa de vazão da OMS. No caso do modelo simulado com a taxa de vazão da OMS, a economia de energia elétrica obtida foi de 8%, ou 42.949KWh/ano, em relação ao consumo de energia elétrica desse mesmo *baseline*.

Tabela 14 - Estimativas de economia do consumo de energia elétrica para toda a área selecionada, em relação aos modelos *baseline* com ar condicionado, para o período de um ano inteiro.

Área	Modelos simulados	Consumo Total	Economia de energia	Economia de energia
			VM + AC vazão Standard 62.1	VM + AC vazão OMS
	Baseline AC vazão Standard 62.1	510.351	4.9% 25.244 KWh	3.1% 15.942 KWh
	Baseline AC Vazão OMS	537.338	9.7% 52.231 KWh	8.0% 42.949 KWh

Fonte: Autor (2015).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou uma análise do potencial do uso da ventilação natural e da ventilação mecânica em quartos de internação hospitalar e consultórios, por meio da abordagem adaptativa de conforto térmico e de requisitos de qualidade do ar interno. Também foi avaliado o potencial de economia de energia por meio do uso da ventilação mecânica complementada pelo ar-condicionado para os diferentes limites de taxas de vazão de ar da ASHRAE Standard 62.1 (2007) e da OMS (2009).

Foram simuladas diferentes alternativas de aproveitamento da ventilação natural e da ventilação mecânica em conjunto com outras estratégias como o sombreamento das janelas por meio de persianas, maior inércia térmica das paredes internas, utilização de vidros *Low-E* e materiais de baixa transmitância térmica na envoltória. As simulações foram conduzidas no software Energyplus, com o arquivo climático da cidade de São Paulo.

Os resultados dos casos simulados para os quartos e consultórios para análise do uso da ventilação natural mostraram que, se avaliado somente pela perspectiva do conforto térmico com base no modelo adaptativo, a utilização desta estratégia em conjunto com as outras estratégias bioclimáticas adotadas atendeu em mais de 80% das horas no ano ao limite de 90% de aceitabilidade, havendo um bom potencial de aproveitamento tanto para as zonas dos quartos de internação como para as zonas de consultórios.

Contudo, verificou-se que mesmo que haja o uso da ventilação natural por meio de janelas operáveis, esta não consegue atender as taxas mínimas de vazão de ar estabelecidas pela ASHRAE Standard 62.1 (2007) e OMS (2009), necessárias para renovação do ar. Somente a utilização da ventilação natural não é o suficiente para garantir a qualidade do ar interno em nenhum dos casos simulados. Como uma variável de condições de conforto térmico, o movimento do ar interior pode controlar ou espalhar a infecção em hospitais. Portanto, em tais edifícios o sistema de tratamento de ar deve fornecer padrões de movimento de ar que minimizam a propagação da contaminação. A falta de ventilação, ou as taxas baixas de vazão de ar, estão associadas com o aumento da infecção e com surtos de doenças transmitidas pelo ar. Uma maior taxa de ventilação é capaz de fornecer uma maior capacidade de diluição de

agentes contaminadores, conseqüentemente, reduzindo o risco de infecções transportadas pelo ar.

Portanto constata-se que por mais que o projeto do edifício hospitalar utilize a ventilação natural como estratégia de condicionamento passivo, é necessário que também exista um sistema mecânico para promover vazão de ar suficiente garantindo a qualidade do ar interno e reduzindo o risco de infecção hospitalar. Neste caso, a ventilação natural teria de ser utilizada em conjunto com a ventilação mecânica, exaustão mecânica, ou com o uso de condicionamento artificial com sistema de renovação de ar. O uso de sistemas de condicionamento híbrido, com o uso da ventilação natural em conjunto com a ventilação mecânica ou o ar condicionado, é uma solução que pode ser utilizada tanto para atender ao conforto térmico quanto aos limites mínimos de taxas de vazão de ar. Porém, a utilização de tais sistemas em ambientes hospitalares ainda carece de mais pesquisas que avaliam o potencial de aplicação em relação ao conforto térmico.

Na simulação da ventilação natural, verificou-se que a utilização dos diferentes fatores de abertura utilizados foi o parâmetro de maior influência nos resultados do aproveitamento desta estratégia. Por meio dos resultados com os fatores de abertura foi possível observar que o tipo de abertura é um componente importante para um melhor aproveitamento da ventilação natural e para o conforto térmico, contribuindo para reduzir o uso do ar condicionado. Entretanto, o tipo de janela a ser utilizado também necessita proporcionar segurança, controle da poluição do ar e controle de ruídos.

As simulações com a utilização da ventilação mecânica, em conjunto com as estratégias arquitetônicas passivas adotadas, apresentaram menor potencial de aproveitamento que a ventilação natural, com mais horas em desconforto por calor e pelo frio. Entretanto, esta estratégia garante as taxas mínimas de vazão de ar estabelecidas pela ASHRAE Standard 62.1 (2007) e OMS (2009). Observou-se que com o limite de taxa de vazão de ar da OMS (2009) as alternativas simuladas apresentaram um maior número de horas de desconforto no ano, principalmente nos meses com temperaturas do ar externas mais baixas. Portanto, foi possível verificar que os diferentes limites de vazão de ar utilizados nesta pesquisa, influenciaram no conforto e na demanda pelo uso do ar condicionado. No caso do uso da ventilação

mecânica, também seria necessário o uso do ar condicionado a fim de manter o conforto térmico nas horas em que esta estratégia não consegue atender ao conforto para 90% de aceitabilidade.

A taxa de vazão de ar da Standard 62.1 (2007) apresentou uma maior demanda por resfriamento das zonas e um maior número de horas em conforto nos períodos mais frios. A taxa de vazão da OMS (2009) apresentou uma maior demanda para o aquecimento e um maior número de horas em conforto nos períodos mais quentes. Isso demonstrou que as escolhas por diferentes taxas de vazão de ar podem ser definidas também com a intenção de reduzir o consumo de energia, sem prejudicar o conforto térmico das zonas. Para reduzir a demanda do ar condicionado nas zonas de quartos e consultórios, uma taxa mínima de vazão de ar deve ser atendida para manter a qualidade do ar interno.

Porém, a fim de aumentar o potencial de uso da ventilação mecânica e diminuir a demanda de uso do ar condicionado, esta taxa mínima de vazão de ar pode ser incrementada durante os períodos em que há desconforto por calor nas zonas, aumentando o número de horas em conforto nestes períodos somente com o uso desta estratégia. Nos períodos mais frios a ventilação mecânica mantém a taxa mínima de vazão de ar, pois nestes períodos houve menor desconforto por frio com uma menor taxa de vazão.

Os diferentes parâmetros de usos e ocupação entre as zonas de quartos e consultórios influenciaram nos resultados da ventilação natural, da ventilação mecânica e da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado, em conjunto com as outras estratégias bioclimáticas adotadas. Por meio das análises verificou-se que cada unidade hospitalar deve ser avaliada de acordo com suas características físicas e funcionais próprias, pois a demanda e a necessidade de aplicação das estratégias arquitetônicas para resfriamento ou aquecimento vão variar e deverão ser aplicadas de acordo com as características de padrões de uso próprias de cada unidade hospitalar. Portanto para a aplicação de estratégias arquitetônicas que promovem um melhor desempenho térmico e energético do edifício hospitalar, é necessário analisar de forma setorizada as unidades e os ambientes que as compõe.

A utilização das estratégias arquitetônicas passivas propostas nesta pesquisa contribuiu para melhorar o conforto térmico e reduzir o consumo de

energia pelo uso do ar condicionado nas zonas dos quartos de internação e dos consultórios, em relação aos casos simulados sem estas estratégias. As análises de conforto térmico nos casos simulados com a ventilação natural demonstraram que mais de 80% dos dados horários de temperaturas operativas estão dentro da faixa de 90% de aceitabilidade para os dois ambientes avaliados. Nos casos com a utilização da ventilação mecânica o percentual de horas em conforto para 90% de aceitabilidade chegou a 83% das horas no ano.

Os resultados do desempenho da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado com os limites de taxa de vazão de ar da Standard 62.1 (2007) e OMS (2009) demonstraram potencial de economia de energia nos casos simulados. A economia de energia obtida considerando a área total dos quartos mais a área dos consultórios selecionada para este estudo, com o uso da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado em conjunto com as demais estratégias passivas, foi de até 9,7% ou 52.231 KWh/ano do consumo total de energia do *baseline* com o condicionamento somente com o ar condicionado e o limite da taxa de vazão de ar da OMS (2009). Este *baseline* apresentou o maior resultado de consumo de energia elétrica dentre as alternativas simuladas, correspondendo ao consumo de 268 moradias brasileiras no ano de 2014 (EPE). Esta economia obtida em apenas 6,6% da área total do Pavilhão Vicky e Joseph Safra que possui 70.000m<sup>2</sup> poderia ter suprido o consumo de energia de 26 moradias neste mesmo ano.

Pelo consumo de energia elétrica por uso final verificou-se que os diferentes limites de vazão de ar influenciaram nos resultados do desempenho da ventilação mecânica complementada pelo ar condicionado. Para a área total dos consultórios e quartos de internação selecionados neste estudo, o maior potencial de economia de energia foi obtido com o limite de taxa de vazão de ar da Standard 62.1 (2007).

Em um projeto de um hospital a interação entre as pessoas, sistemas e projeto arquitetônico ainda é um campo em que são necessários mais trabalhos para melhorar o conhecimento de como projetar edifícios e sistemas que consigam conciliar vários fatores conflitantes para as pessoas que ocupam esses edifícios. Algumas pesquisas têm discutido sobre as condições térmicas desejadas e a eficiência energética nos edifícios hospitalares, mas estes

estudos em sua grande maioria ainda não refletem na forma de normas, principalmente no Brasil. Ainda é necessário estabelecer critérios e diretrizes projetuais que considerem taxas mínimas de vazão de ar para ventilação natural para todos os setores do hospital. Também são necessárias diretrizes de projeto que proporcionem a eficiência energética como a utilização de diferentes taxas de vazão de ar e estratégias que possam contribuir para atender ao máximo as necessidades do conforto térmico dos ocupantes, principalmente dos pacientes.

Mais pesquisas são necessárias para se verificar com mais profundidade os efeitos da utilização de estratégias de condicionamento passivo nas edificações de saúde, principalmente no que diz respeito aos requisitos mínimos necessários para garantir bons níveis de conforto térmico e qualidade do ar interno, a fim de contribuir para as boas práticas de projeto, normas e legislações.

## 5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho apresenta algumas limitações, que são apresentadas a seguir:

- a) Não foi possível simular a influência da proteção solar na ventilação natural, pois a ferramenta de simulação utilizada apresenta limitações em relação a este cálculo;
- b) Não foi abordada neste trabalho a influência da velocidade do ar e da umidade nas condições de conforto nos ambientes estudados;
- c) As simulações foram realizadas para avaliar apenas uma porção do edifício;

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na intenção de complementar esta pesquisa, sugere-se alguns estudos que podem ser desenvolvidos futuramente:

- a) Explorar tipos de aberturas para que promovam a ventilação natural de forma a atender as taxas mínimas de vazão de ar para manter a qualidade do ar interno e os requisitos específicos para a aplicação em



- ambientes de saúde.
- b) Pesquisar as taxas máximas de vazão de ar que comprometam o menos possível o conforto dos ocupantes.
  - c) Avaliar o desempenho térmico e energético da aplicação de sistemas híbridos de condicionamento em ambientes hospitalares.
  - d) Avaliar o desempenho térmico e energético da utilização de sistemas que promovam diferentes taxas de vazão de ar de acordo com a variação da temperatura do ar externo, em ambientes hospitalares.
  - e) Caracterizar uma faixa de conforto pelo modelo adaptativo de conforto térmico e parâmetros de temperatura operativa para usuários debilitados.
  - f) Aprofundar o conhecimento acerca da influência da aplicação de estratégias arquitetônicas passivas, de forma a contribuir com diretrizes projetuais e critérios de projeto para complementação e formulação de guias e normas para projetos físicos de estabelecimentos de saúde.
  - g) Avaliar os custos de economia do consumo de energia elétrica com a aplicação de estratégias passivas, e diferentes estratégias e sistemas de condicionamento passivo em diferentes tipos de unidades e estabelecimentos de saúde.
  - h) Pesquisar modelos de análise do conforto térmico para sistemas de condicionamento híbrido.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA. Normas para projetos Físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. RDCn° 50. Brasília: 2004.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Standard 90.1: Energy Standards for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. SI Edition ed. Atlanta, Georgia: ASHRAE, 2007.

AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Standard 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2007.

AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Standard 170. Ventilation of Health care facilities . American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). HVAC Desing manual for Hospitals and Clinics. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-7256: Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde – Requisitos para projeto e execução das instalações - Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.

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

BATISTA, J.O. Eficácia da Ventilação Mecânica Noturna para Resfriamento: impacto de estratégias híbridas de ventilação no desempenho térmico de residência em Florianópolis-sc. 2011. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

BITENCOURT, F. Hospitais sustentáveis: um problema cultural. In: Ambiente Hospitalar, São Paulo, v.1, n.3, out. 2007.

CIB, Relatório. Agenda 21 para a Construção Sustentável / trad. de I. Gonçalves, T. Whitaker; ed. de G. Weinstock. - São Paulo: s.n, 2000.

COSTI, Marilice. A Influência da Luz e da Cor em Corredores e Salas de Espera Hospitalares. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.

DE DEAR, R; GRAGER. G.; COOPER, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE RP – 884. Berkeley, Sydney, Março, 1997.

DEPARTMENT OF HEALTH. Technical Memorandum 03-01: Specialized ventilation for healthcare premises. United Kingdom, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional - BEN. 2013. Disponível em: <ben.epe.gov.br>. Acesso em: 8 jun. 2013.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 15251: Indoor Environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environmental, lighting and acoustic. Bruxelas, 2007.

GÓES, Ronald de. Manual Prático da Arquitetura Hospitalar. São Paulo. 2º Ed. Blucher, 2011.

GRIMM, A.M. A. Análise de sistemas híbridos em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) visando o conforto térmico e redução de consumo energético. 2012. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 2012.

HILL, L. O.; WEBB, L. I.; PARSONS, K. C. Care's Views of the thermal comfort requirements of people with physical disabilities. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, v. 44, nº. 28, p.716-719. Julho 2000.

HULT, E. L. et al. Using CFD simulations to improve the modeling of window discharge coefficients. n. 1, p. 322–328, 2012.

HWANG, R.-L. et al. Patient thermal comfort requirement for hospital environments in Taiwan. Building and Environment, v. 42, n. 8, p. 2980–2987, ago. 2007.

VARGAS, R.H.J. Análise do Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Hospitais de Pequeno Porte no Brasil: sistemas de iluminação e ar condicionado do tipo janela. Dissertação (mestrado). Programas de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

KHODAKARAMI, J.; NASROLLAHI, N. Thermal comfort in hospitals – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 6, p. 4071–4077, ago. 2012.

KHODAKARAMI, J.; KNIGHT, I.; NASROLLAHI, N. Reducing the demands of heating and cooling in Iranian hospitals. *Renewable Energy*, v. 34, n. 4, p. 1162–1168, abr. 2009.

LOBO, A.V.R. Ferramenta de Avaliação de Sustentabilidade Ambiental em Edificações Hospitalares na Região Metropolitana de Curitiba. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em construção civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LOMAS, K. J.; JI, Y. Resilience of naturally ventilated buildings to climate change: Advanced natural ventilation and hospital wards. *Energy and Buildings*, v. 41, p. 629–653, 2009.

PÉREN, J.I.M (2006). Ventilação e Iluminação Naturais na obra de João Filgueiras Lima "Lelé": estudo dos hospitais da rede Sarah Kubistchek Fortaleza e Rio de Janeiro. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MIQUELIN. Lauro Carlos. Anatomia dos Edifícios Hospitalares. São Paulo. CEDAS, 1992.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings*, v. 36, n. 7, p. 628–637, 2004.

PARSONS, K. C. The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort. *Energy and Buildings*, v. 34, n. 6, p. 593–599, jul. 2002.

SAIDUR, R. et al. An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital. *Energy*, v. 35, n. 12, p. 4780–4785, dez. 2010.

SAMPAIO, A. V. C. de F. Arquitetura hospitalar: projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade. Proposta de instrumento de avaliação. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura de São Paulo. Universidade de São Paulo, 2005.

SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. *Passive Cooling of Buildings*. Londres. James & James Ltd, 1997.

SKOOG, J.; FRANSSON, N.; JAGEMAR, L. Thermal environment in Swedish hospitals. *Energy and Buildings*, v. 37, n. 8, p. 872–877, ago. 2005.

SALEM SZKLO, A.; BORGHETTI SOARES, J.; TIOMNO TOLMASQUIM, M. Energy consumption indicators and CHP technical potential in the Brazilian hospital sector. *Energy Conversion and Management*, v. 45, n. 13-14, p. 2075–2091, ago. 2004.

SHORT, C. A. et al. Low energy refurbishment strategies for health buildings. *Journal of Building Performance Simulation*, v. 3, n. 3, p. 197–216, set. 2010.

SHORT, C. A.; AL-MAIYAH, S. Design strategy for low-energy ventilation and cooling of hospitals. *Building Research & Information*, v. 37, n. 3, p. 264–292, jun. 2009.

TOLEDO, Luiz carlos. *Feitos para curar: arquitetura hospitalar e o processo projetual no Brasil*. Rio de Janeiro: ABDEH, 2006.

VERHEYEN, J. et al. Thermal comfort of patients: Objective and subjective measurements in patient rooms of a Belgian healthcare facility. *Building and Environment*, v. 46, n. 5, p. 1195–1204, maio 2011

WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. *Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings*. Suíça, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. *Infeccion prevention and control of epidemic-and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care*. Suíça, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. *Laboratório de Eficiência Energética em edificações*. Florianópolis, 2012. Arquivo Climático para a cidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>> Acesso em: 10 de abr, 2014.

YAU, Y.; CHEW, B. Adaptive thermal comfort model for air-conditioned hospitals in Malaysia. *Building Services Engineering Research and Technology*, v. 35, n. 2, p. 117–138, 20 mar. 2013.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. LEED 2009 for New Construction & Major Renovation. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/sistema/certificacao/RaitingSystemHC.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

Plano de expansão Hospital Albert Einstein. Disponível em: <<http://www.einstein.br/sobre-a-sociedade/Paginas/plano-de-expansao.aspx>> Acesso em: 30 julho. 2014.

Kahn do Brasil. Disponível em: < <http://pt.slideshare.net/LuGarcia1/apresentao-leed-anexo-conjunto-hospitalar>>. Acesso em: 27 julh. 2014