

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

SOFIA CAMPOS CHRISTOPOULOS

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTE
HOSPITALAR: ESTUDO DA FACHADA DO SETOR DE INTERNAÇÃO DO
HOSPITAL DO CORAÇÃO, LOCALIZADO NA CIDADE DE MACEIÓ**

MACEIÓ
2017

SOFIA CAMPOS CHRISTOPOULOS

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTE
HOSPITALAR: ESTUDO DA FACHADA DO SETOR DE INTERNAÇÃO DO
HOSPITAL DO CORAÇÃO, LOCALIZADO NA CIDADE DE MACEIÓ**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal de Alagoas,
para obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo

Linha de Pesquisa: II

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gianna Melo
Barbirato

MACEIÓ
2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- C556d Christopoulos, Sofia Campos.
Desempenho térmico e eficiência energética em ambiente hospitalar :
estudo da fachada do setor de internação do Hospital do Coração em Maceió /
Sofia Campos Christopoulos. – 2017.
114 f.: il.
- Orientadora: Gianna Melo Barbirato.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço
Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió,
2017.
- Bibliografia: f. 101-109.**
Apêndices: f. 110-114.
1. Arquitetura de hospitais – Maceió (AL). 2. Eficiência energética.
3. Edificação – Desempenho térmico. 4. Simulação (Computadores). I. Título.

CDU: 725.51 (813.5)

Folha de Aprovação

SOFIA CAMPOS CHRISTOPOULOS

DECLARAÇÃO

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTE HOSPITALAR: ESTUDO DA FACHADA DO SETOR DE INTERNAÇÃO DO HOSPITAL DO CORAÇÃO, LOCALIZADO NA CIDADE DE MACEIÓ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Dinâmicas do Espaço Habitado, da Universidade Federal de Alagoas, e aprovada em 24 de março de 2017.

Gianna Melo Barbirato

Prof^a. Dr^a. Gianna Melo Barbirato, FAU – UFAL

(Orientadora)

Banca Examinadora:

Marta Cristina J. A. Nogueira

Prof^a. Dr^a. Marta Cristina J. A. Nogueira FAU - UFMT

(Examinador externo)

Juliana O. Batista

Prof^a. Dr^a. Juliana Oliveira Batista FAU – UFAL

(Examinador interno)

Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa FAU – UFAL

(Examinador interno)

AGRADECIMENTOS

Ao meu filho, minha maior inspiração.

Ao meu marido Bruno, pelo amor e apoio incondicionais.

A minha família, pelo incentivo em minha vida acadêmica e pessoal.

A minha orientadora Gianna, por ter depositado confiança em meu trabalho e pela presença constante.

Aos amigos do mestrado, por dividir comigo os melhores e piores momentos ao longo dessa caminhada.

A Evelise, pela contribuição na parte das simulações com o programa EnergyPlus.

A CAPES, pela concessão da bolsa, indispensável para a realização deste trabalho.

RESUMO

Em Maceió, cidade caracterizada pelo clima quente e úmido, o condicionamento artificial faz-se necessário por características de ocupação e uso de determinados ambientes. Entretanto, essa estratégia deve ser aliada ao uso eficiente da energia e à possibilidade do emprego de estratégias de condicionamento térmico passivo. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética da fachada do Hospital do Coração, localizado na cidade de Maceió-AL. Foram realizadas simulações computacionais utilizando o programa Energyplus 8.3 a partir da situação atual e de alterações de parâmetros construtivos das fachadas, a fim de avaliar a resposta no consumo de energia, sendo os resultados comparados aos do desempenho térmico e energético atual. Tais alterações consistiram em variações do percentual de área de janela na fachada, na implantação de proteção externa (brises), na mudança da janela, na alteração do Coeficiente de Desempenho (COP –Coefficient of Performance) do ar-condicionado e da cor da cobertura, e por fim, efetuou-se a análise das alterações integradas. Os resultados alcançados demonstraram que os parâmetros escolhidos para a simulação computacional resultaram em uma redução considerável no consumo de energia com ar-condicionado, podendo chegar a 31% com a adoção da janela composta por vidro duplo com preenchimento de ar e película refletiva verde, esquadria com PAF de 25%, COP de 3,23 W/W, brise horizontal e cobertura pintada na cor branca. Quanto ao desempenho térmico, os resultados do método simplificado demonstraram que a edificação atende aos critérios mínimos de desempenho térmico da NBR 15.575-4 (2013) em relação às paredes externas e ao tamanho da abertura para ventilação; já a cobertura possui uma transmitância maior que a exigida pela NBR 15.575-5 (2013). O balanço térmico da suíte mostrou uma diminuição da carga necessária para o arrefecimento do ar, com as seguintes simulações: inserção de proteção solar na envoltória, substituição por branco na cor da cobertura e redução da área envidraçada da fachada da edificação para PAF de 25%. A substituição da janela atual (vidro simples com película refletiva verde) para janela com vidro duplo com camada de ar e película refletiva verde apresentou resultado similar, com uma diminuição de apenas 6,63kWh/ano. As outras duas janelas – vidro simples sem película e vidro duplo com camada de ar sem película – apresentaram resultado 21% inferior a janela atual. Conclui-se que estudos e medidas simples podem implicar uma redução significativa do consumo de energia. Um projeto arquitetônico que aproveite os meios disponíveis para reduzir os ganhos de calor através da envoltória certamente contribuirá para reduzir o consumo energético do sistema de climatização artificial.

Palavras-chave: Desempenho Térmico; Eficiência Energética; Simulação Computacional; Arquitetura Hospitalar.

ABSTRACT

In Maceió, a city characterized by its wet and hot climate, artificial air conditioning is needed in view of the use and occupancy features of certain indoor spaces. However, this strategy must be combined with efficient energy use and with the possibility of employing passive thermal conditioning strategies. The work herein is aimed at assessing the thermal performance and energy efficiency of the facade of the Hospital do Coração, located in the city of Maceió-AL. Computer simulations were carried out using the Energyplus 8.3 program, starting with the current situation and after alterations to the construction parameters of the facades, in order to evaluate the effect on energy consumption. The results were then compared to those for current thermal and energy performance. Such modifications consisted of adjustments to the ratio of window area on the facade, the installation of a brise-soleil, different windows, changes to the COP (Coefficient of Performance) of the air conditioner and to the external color; ultimately, an analysis of the integrated changes was conducted. The results obtained have shown that the parameters chosen for the computer simulation led to a significant reduction of power consumption of the air conditioner of up to 31% in the case of double pane air-filled windows with a green reflective film, window frame opening ratio of 25%, COP of 3.23 W/W, horizontal brise-soleil, and external white painting. As to thermal performance, the results of the simplified method have demonstrated that the building meets the minimum requirements for thermal performance found in NBR 15.575-4 (2013) when it comes to external walls and to the size of the ventilation opening; yet, the roof has a transmittance greater than what is required by NBR 15.575-5 (2013). Thermal balance of the suite indicated a decrease in the energy necessary to cool the air when carrying out the following simulations: placement of all-around solar protection, painting the roof white, and diminishing the glazed area of the facade to window opening ratio of 25%. Replacing the current single pane glass windows covered with a green reflective film with double pane air-filled windows also covered with a green reflective film led to a similar result, a reduction of just 6.63 kWh/year. The two other types of windows – single pane with no film and double pane air-filled with no film – had a 21% lower performance when compared to the current window. It may be concluded that studies and simple measures can mean significant lowering of power consumption. An architectural project that employs the available means to reduce heat gains by making changes to the exterior will surely help in reducing the power consumption of the artificial air conditioning.

Keywords: Thermal Performance; Energy Efficiency; Computer Simulation; Hospital Architecture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energia elétrica no mundo.....	14
Figura 2: Esquema de fachada dupla e chaminé para Prédios de escritóriosna Suécia.....	18
Figura 3: Esquema de aquecimento, ventilação e fluxo de ar da fachada dupla para prédios de escritóriosna Suécia.	18
Figura 4: Abadia de St Gallen que servia como exemplo de requinte de planejamento para a época.....	22
Figura 5: Bimaristan de Qalawunserve como exemplo de separação entre funções do alojamento e dos pacientes por patologia e sexo.....	23
Figura 6: Ospedale Maggiore de Milão conhecida por conter os elementos básicos das construções hospitalares dos próximos 4 séculos	24
Figura 7: Royal Naval Hospital possui um projeto que estabelece um <i>layout</i> ordenado dos elementos da construção com separações funcionais e um padrão claro de circulação	25
Figura 8: Enfermaria Nightingale conhecida por ter ventilação cruzada e iluminação natural.	25
Figura 9: Hospital Lariboisiere conhecido por ter um pé direito alto e um sistema de ventilação eficaz	26
Figura 10: Belfast Royal Victoria Hospital, primeiro edifício complexo fora da área industrial a dispor de um sistema de condicionamento de ar para o conforto dos usuários.....	27
Figura 11: Ottawa Civic Hospital, em forma de "H", com os monta cargas e elevadores situados no meio, evitando grandes deslocamentos.....	28
Figura 12: Enfermarias do tipo corredor simplesmente carregado	30
Figura 13: Enfermarias do tipo corredor duplamente carregado	30
Figura 14: Enfermarias do tipo corredor simplesmente carregado aberto	31
Figura 15: Enfermarias do tipo corredor duplamente carregado com pátio	31
Figura 16: Tipologia mais correta para hospitais - Possibilita maior ventilação e iluminação naturais e menor ruído da circulação	32
Figura 17:Tipologia menos indicada para hospitais- Maior ruído com a limpeza de sanitários e circulação e menor ventilação e iluminação naturais	32
Figura 18: Hospital Sarah Kubitschek de Brasília, com destaque para o espelho d'água que contribui na umidificação do ambiente	36
Figura 19: Hospital Sarah Kubitschek de Fortaleza, com estrutura pavilhonar, o que permite ventilação e iluminação naturais através de sheds.....	36
Figura 20: Corte esquemático das galerias de ventilação no Hospital Sarah de Fortaleza.....	37
Figura 21: Edifício da sede GSW Headquarters.....	40
Figura 22: Phoenix Central Library.....	41

Figura 23: Super Energy Conservation Building.....	42
Figura 24: Brises automáticos.....	43
Figura 25: Tipologia de fachada dos edifícios de escritório em Maceió/AL	49
Figura 26: Localização dos hospitais em Maceió	51
Figura 27: Hospital Universitário	52
Figura 28: Hospital do Coração	52
Figura 29: Santa Casa de Misericórdia	52
Figura 30: Hospital Unimed.....	52
Figura 31: Hospital Memorial Arthur Ramos	53
Figura 32: Hospital do Açúcar.....	53
Figura 33: Hospital Sanatório.....	53
Figura 34: Hospital Geral do Estado	53
Figura 35: Mapa de Maceió com destaque para os bairros do Centro e Gruta de Lourdes.....	58
Figura 36: Localização do Hospital do Coração com vias de acesso	59
Figura 37: Entorno do Hospital do Coração (visão à esquerda do prédio).	59
Figura 38: Entorno do Hospital do Coração (visão à direita do prédio)	60
Figura 39: Hospital do Coração – Fachada Principal	61
Figura 40: Hall de entrada do Hospital do Coração.....	61
Figura 41: Planta baixa do terceiro pavimento do Hospital do Coração, com destaque para a suíte a ser estudada	62
Figura 42: Planta baixa do modelo de suíte	63
Figura 43: Suíte	64
Figura 44: Suíte	64
Figura 45: Planta baixa e tabela com especificação das luminárias da suíte do Hospital do Coração.....	69
Figura 46: Organograma das simulações termoenergéticas dos ambientes (suítes) expostos à fachada envidraçada do objeto de estudo.....	71
Figura 47: Modelo representativo da fachada da suíte, na situação atual, com destaque para a fachada externa.....	72
Figura 48: Modelos representativos da fachada da suíte, com variações da janela com 25%, 50% e 75% da área da parede	73
Figura 49: Modelo representativo da fachada da suíte com brises horizontais.....	73
Figura 50: Máscara de sombra da suíte do Hospital do Coração	74
Figura 51: Consumo de energia com iluminação, equipamentos e ar-condicionado	79
Figura 52: Consumo de energia variando o tipo de janela	80
Figura 53: Consumo de energia na situação existente e com a inserção de brise	81
Figura 54: Consumo de energia com diferentes tamanhos de esquadrias	82

Figura 55: Consumo de energia alterando o COP do ar-condicionado	83
Figura 56: Consumo de energia alterando a cor da coberta.....	84
Figura 57: Consumo de energia por cenário simulado	85
Figura 58: Modelo representativo da fachada da suíte com as simulações com melhores resultados.....	86
Figura 59: Consumo de energia na situação existente e na proposta	86
Figura 60: Balanço térmico da situação existente	88
Figura 61: Balanço térmico da suíte alterando a janela para vidro de 10mm sem película	89
Figura 62: Balanço térmico da suíte alterando a janela para vidro duplo sem película	90
Figura 63: Balanço térmico da suíte alterando a janela para vidro duplo com película	90
Figura 64: Balanço térmico da suíte com brise	91
Figura 65: Balanço térmico da suíte alterando para janela com PAF de 25%	92
Figura 66: Balanço térmico da suíte alterando para janela com PAF de 50%	92
Figura 67: Balanço térmico da suíte alterando para janela com PAF de 75%	93
Figura 68: Balanço térmico da suíte alterando o COP	94
Figura 69: Balanço térmico da suíte alterando a cor da cobertura	95
Figura 70: Balanço térmico da proposta.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Detalhes das aberturas do Hospital Universitário	54
Quadro 2: Detalhes das aberturas do Hospital Memorial Arthur Ramos	54
Quadro 3: Detalhes das aberturas do Sanatório	55
Quadro 4: Detalhes das aberturas do Hospital do Açúcar.....	55
Quadro 5: Detalhes das aberturas da Santa Casa de Misericórdia de Maceió.....	56
Quadro 6: Detalhes das aberturas da Unimed	56
Quadro 7: Detalhes das aberturas do Hospital do Coração.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016.....	15
Tabela 2: Descrição das propriedades dos materiais.....	65
Tabela 3: Propriedades da envoltória	65
Tabela 4: Padrão médio de ocupação em quartos de internação do hospital da Santa Casa de Misericórdia de Maceió	67
Tabela 5: Cargas internas da suíte	68
Tabela 6: Especificação técnica das lâmpadas utilizadas nas suítes	70
Tabela 7: Propriedades das janelas das situações simuladas	75
Tabela 8: Áreas de ventilação e piso do apartamento e da suíte do Hospital do Coração.....	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Estrutura da dissertação.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Arquitetura Hospitalar: Breve Histórico e Tipologias	21
2.2 Arquitetura Bioclimática e Bioclimatologia em Hospitais	34
2.3 Eficiência Energética nas Fachadas das Edificações	39
2.4 Leis e Normas Brasileiras de Eficiência Energética e Desempenho Térmico e RDC 50	45
2.5 O Contexto Climático de Maceió (AL)	48
3 METODOLOGIA	50
3.1 Levantamento dos Hospitais Existentes em Maceió e Caracterização do Objeto de Estudo	50
3.2 Levantamento de Dados	57
3.2.1 Ambiente selecionado para estudo	62
3.2.2 Características construtivas das suítes	64
3.2.3 Determinação do padrão de ocupação	66
3.2.4 Levantamento do uso de equipamentos.....	67
3.2.5 Sistema de iluminação artificial	69
3.3 Simulação Computacional.....	70
3.3.1 Tamanho da janela.....	72
3.3.2 Proteção solar	73
3.3.3 Especificações das configurações das janelas	74
3.3.4 Alteração do COP do ar-condicionado	76
3.3.5 Alteração da cor da cobertura	76
3.3.6 Arquivo climático	76
3.4 Cálculo do Desempenho Térmico Considerando os Procedimentos Estabelecidos na NBR 15575, através do Método Simplificado	77

3.5 Cálculo do Balanço Térmico.....	77
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1 Análise do Desempenho Térmico e Energético da Situação Atual e de Alterações da Fachada, do COP do Ar-Condicionado e da Cor da Coberta.....	79
4.1.1 Análise da situação atual.....	79
4.1.2 Análise das simulações termoenergéticas	80
4.1.2.1 Análise das janelas.....	80
4.1.2.2 Análise dos brises	81
4.1.2.3 Análise do percentual de abertura da fachada	81
4.1.2.4 Análise do COP do ar-condicionado.....	82
4.1.2.5 ANÁLISE DO COBERTURA	83
4.1.3 Síntese das análise	84
4.2 Cálculo do Desempenho Térmico através da NBR 15575	86
4.3 Cálculo e Análise do Balanço Térmico do Ambiente Estudado	88
4.3.1 Análise da situação atual.....	88
4.3.2 Análise do balanço térmico das situações propostas.....	89
4.3.2.1 Análise do Balanço térmico com a substituição das janelas	89
4.3.2.2 Análise do Balanço térmico com a inserção de brises horizontais	91
4.3.2.3 Análise do Balanço térmico com a substituição do percentual de abertura da fachada	91
4.3.2.4 Análise do Balanço térmico com a substituição do COP	93
4.3.2.5 Análise do Balanço térmico com a alteração da cor da cobertura.....	94
4.3.3 Síntese das análises	95
5 CONCLUSÕES	98
5.1 Dificuldades e limitações do trabalho	100
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	100
REFERÊNCIAS.....	101
APÊNDICE A	110

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico do último século contribuiu para a implantação de sistemas mecanizados de iluminação e ventilação nas edificações. Para Maragno (2003), esses avanços aconteceram mais precisamente no final do século XIX e início do século XX, fazendo com que o condicionamento ambiental deixasse de ser um assunto dos arquitetos no momento de projetar.

Uma das maiores preocupações da arquitetura deve ser o conforto, bem como em construções relacionadas à prestação de serviço de saúde. A implantação ou a utilização de materiais inadequados no projeto podem resultar em problemas como temperatura do ar interna indesejada, influenciando negativamente a saúde dos usuários. Além disso, o edifício pode gerar desperdício de energia pelo mau uso dos recursos naturais disponíveis locais, como intensidade da radiação solar, vento e materiais construtivos. O arquiteto deve projetar considerando aspectos energéticos, a favor do meio ambiente, adequando a edificação ao clima local, proporcionando condições ambientais favoráveis, com um menor custo com energia elétrica.

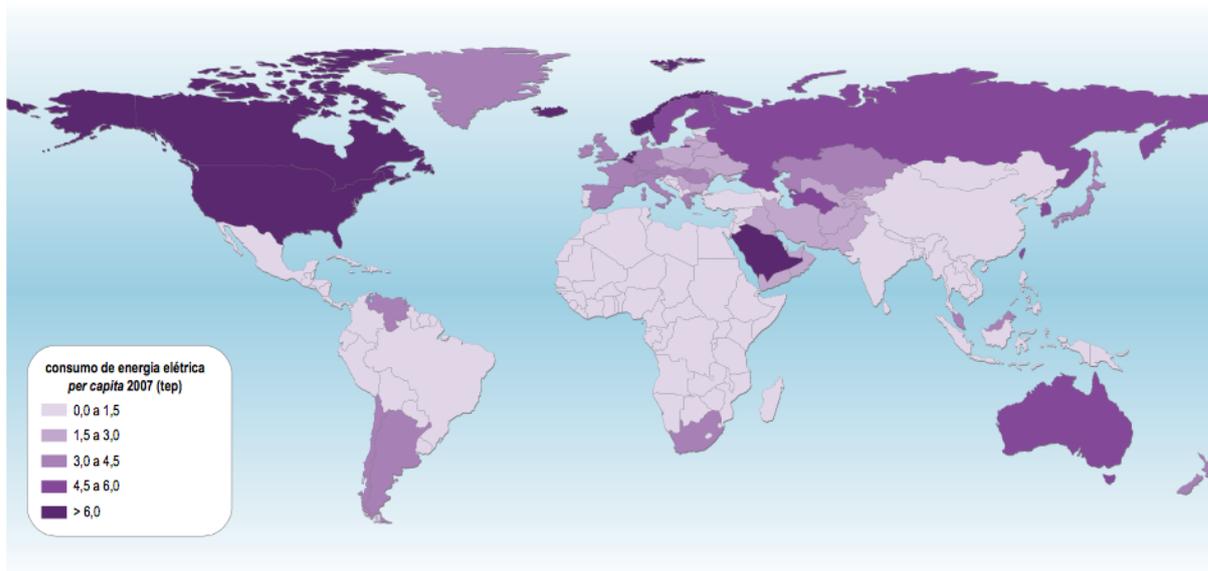
A eficiência energética nos edifícios pode ser entendida como a correta aplicação de materiais visando ao menor gasto com energia. No Regulamento Técnico de Qualidade para Eficiência Energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) lançado em 2009 (INMETRO, 2014), no qual são atribuídos pesos relativos à contribuição no consumo energético da edificação, apresenta a envoltória como sendo responsável por 30% do consumo de ar-condicionado e o sistema de iluminação responsável por 40% do mesmo.

A contribuição de edifícios no consumo de energia elétrica atinge valores entre 30% e 40% nos países mais desenvolvidos, segundo Pérez-Lombard *et al.* (2008). Nesse estudo, os autores analisaram dados sobre o consumo de energia em edifícios residenciais e comerciais em vários países. Os resultados mostram que os

sistemas de climatização artificiais são responsáveis por aproximadamente metade do consumo total de energia elétrica das edificações comerciais.

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico é composta por 30 países desenvolvidos, que são considerados, historicamente, os maiores consumidores de energia. No entanto, a participação desses países tem diminuído, pois apresentam economia relativamente estável, onde não há aumentos acentuados, além de investirem em equipamentos mais eficientes (Figura 1). Na França e na Alemanha, por exemplo, o total de energia primária diminuiu, respectivamente, 2,1% e 5,6%, entre 2006 e 2007, mesmo com evolução no PIB (Produto Interno Bruto) de 1,9% e 2,5%. Já os países em desenvolvimento, como o Brasil, devido à política interna e o pequeno volume de poupança interna, estão mais sujeitos a bruscas reversões de tendências na economia. Outros fatores são a forte economia informal e o grande número de indústrias energointensivas¹.

Figura 1: Consumo de energia elétrica no mundo



Fonte: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf. Acesso em: 22 out. 2016.

Esses fatores contribuem para os ciclos de expansão econômica que têm forte influência no consumo de energia local. Em 1994, com o Plano Real, por

¹ Os dados mencionados no parágrafo estão disponíveis em http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf. Acesso em: 22 out. 2016.

exemplo, houve uma expansão do consumo de energia elétrica de 4,55% para 6,41% em 1995.

No Brasil, com o crescente aumento do consumo de energia nas últimas três décadas, alguns movimentos ambientalistas surgiram, desempenhando papel importante na conscientização dos profissionais da construção civil e incentivando a integração dos projetos dos edifícios ao ambiente, através de estratégias passivas, muitas vezes desconsideradas (MACIEL, 2006). Esse aumento do consumo de eletricidade no Brasil, em alguns setores como o comercial, pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016

	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/2014)	Part. % (2015)
Brasil	433.015	448.177	463.134	474.823	465.203	-2,0	100
Residencial	111.971	117.646	124.908	132.302	131.295	-0,8	28,2
Industrial	183.576	183.475	184.685	179.106	168.854	-5,7	36,3
Comercial	73.482	79.226	83.704	89.840	90.893	1,2	19,5
Rural	21.027	22.952	23.455	25.671	25.900	0,9	5,6
Poder público	13.222	14.077	14.653	15.354	15.186	-1,1	3,3
Iluminação pública	12.478	12.916	13.512	14.043	15.334	9,2	3,3
Serviço público	13.983	14.525	14.847	15.242	14.730	-3,4	3,2
Próprio	3.277	3.360	3.371	3.265	3.011	-7,8	0,6

Fonte: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica>. Acesso em: 19 out. 2016.

Na região Nordeste, o consumo de energia elétrica para atividades de atenção à saúde humana representa o quarto maior consumo de energia da região, com uma participação de 5,2% no consumo total (EPE, 2005). Desse modo, a análise das recomendações projetuais e a avaliação do desempenho do edifício sob diferentes condições externas e com diferentes materiais podem ser úteis na tentativa de identificar uma solução arquitetônica que se adapte melhor ao clima da região. O conhecimento dos profissionais, por sua vez, influencia de maneira positiva, alterando parâmetros construtivos e reduzindo o consumo de energia elétrica, além de contribuir para o conforto térmico.

A preocupação com eficiência energética e conforto ambiental tem se intensificado, inclusive em hospitais, que são referências quando o assunto é tecnologia. Grandes investimentos são realizados buscando as inovações oferecidas no mercado. Em um estudo realizado com os edifícios de escritórios de Maceió,

verificou-se que em 55% das edificações não é encontrada nenhum tipo de proteção solar, 27% dos casos a fachada é do tipo pele de vidro e apenas 18% apresentam algum tipo de proteção (CÂNDIDO, 2006).

O clima da região deve ser requisito básico a ser analisado na hora de projetar, influenciando diretamente no consumo de energia e no comportamento térmico do ambiente (GOULART *et al.*, 1998).

O aumento do custo da energia elétrica nas últimas décadas levou os profissionais da construção a trabalharem em conjunto com duas principais preocupações: como melhorar o desempenho energético e como fornecer o máximo de conforto aos ocupantes. Na fachada, dependendo da exposição, pode ocorrer a maioria das trocas térmicas, sendo por isso fundamental nesse processo (SOMFY, 2010).

A envoltória tem um papel importante no que se refere ao consumo energético de uma edificação. Olgyay (1998) afirma que a pele de um edifício funciona como um filtro entre as condições externas e internas, para controlar a entrada do ar, do calor, do frio, da luz, dos odores e dos ruídos. A utilização de mecanismos de controle da radiação solar é importante para permitir a entrada de luz e ao mesmo tempo minimizar o ganho de calor. Os sistemas de controle solar, principalmente os materiais transparentes, como o vidro, deverão possuir uma seletividade espectral que permita somente a passagem do espectro de luz visível.

Em um estudo realizado no Hospital Al Cornich em Dubai, pela Faculdade de Engenharia da Universidade Britânica de Dubai, no ano de 2015, para melhorar o desempenho da envoltória de um hospital de acordo com os padrões da ASHRAE (2009), reduziu-se em até 30% do consumo de energia do edifício, alterando apenas os materiais da envoltória, de vidro simples para duplo preenchido com argon (TALEB, 2015).

Outro estudo sobre envoltória foi realizado por Mousavi *et al.* (2015), que descreveu as vantagens e desvantagens das fachadas duplas nos climas quentes. As vantagens são: melhor isolamento acústico, isolamento térmico, ventilação,

economia de energia, dispositivos de sombreamento ou iluminação, redução dos efeitos de pressão do vento, transparência e conforto térmico. Já as desvantagens são: custo de construção mais elevado em comparação com a fachada tradicional, necessita de maior manutenção e, conseqüentemente, possui maior custo operacional, mais velocidade do ar e aumento do peso da estrutura. Concluíram que, para climas quentes, os dispositivos de sombreamento horizontais funcionam melhor quando dispostos nas fachadas norte e sul, e que o vidro reflexivo, quando especificado corretamente, é o que possui melhor desempenho.

Khakzar (2014) fez uma avaliação do desempenho da fachada (Figuras 2 e 3), quanto ao conforto térmico do edifício do centro de saúde, da Universidade do Mediterrâneo Oriental, em Chipre do Norte, que possui verões quentes e invernos moderadamente frios. Foram analisadas as zonas de conforto térmico dos ocupantes do edifício de saúde e o comportamento térmico e a eficiência energética do edifício a partir da análise da fachada dupla com efeito chaminé do edifício, realizada por meio de simulação computacional. Para a simulação computacional utilizou-se o programa TAS, foram analisados parâmetros como o tamanho das janelas, material e percentual de abertura em relação a fachada existente. O autor simulou três situações distintas, sendo a primeira representativa da configuração existente, na qual as esquadrias representavam 10% da área da fachada, a segunda simulação utilizando as características do edifício na situação existente com fachada dupla e a terceira com fachada dupla e efeito chaminé. Cada uma das simulações foram consideradas, também, diferentes percentuais de aberturas, 10% (existente), 50% e 100%. A solução encontrada foi a fachada dupla com efeito chaminé (Figuras 2 e 3). Essa solução permite a ventilação vertical, que é a mais indicada para hospitais, pois evita infecção hospitalar, além da proteção da incidência direta do sol nas esquadrias.

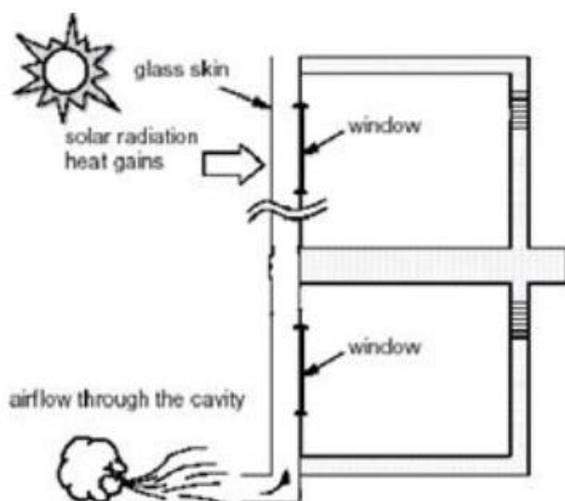
Na terceira simulação, a fachada de pele dupla com efeito chaminé, no verão, leva o ar quente para fora da cavidade e o ar fresco entra no edifício. Quando a abertura da fachada de pele dupla é fechada, durante o inverno, a fachada de vidro isola a fachada existente da alta taxa de fluxo de vento, ao mesmo tempo que absorve a radiação solar.

Figura 2: Esquema de fachada dupla e chaminé para Prédios de escritórios na Suécia.



Fonte: POIRAZIS, 2008.

Figura 3: Esquema de aquecimento, ventilação e fluxo de ar da fachada dupla para prédios de escritórios na Suécia.



Fonte: POIRAZIS, 2008.

O uso de alternativas projetuais para ventilação e iluminação naturais das edificações é importante e muitas vezes apresenta resultados satisfatórios. Em climas quentes e úmidos, pela regularidade de temperaturas altas ao longo do ano, sabe-se que é importante o uso de ar-condicionado em certos horários do dia em meses mais quentes, mas de forma eficiente e complementar às estratégias passivas da arquitetura bioclimática.

Em hospitais, é necessário o uso do ar-condicionado em determinados

ambientes que exigem temperatura constante, contudo, nas enfermarias, por exemplo, alternativas projetuais para ventilação e iluminação naturais são importantes inclusive na cura do paciente. O contato com o exterior, iluminação e ventilação naturais, podem ser um estímulo para o paciente que se encontra debilitado.

No presente trabalho, o ponto de interesse é o estudo do desempenho térmico e energético de edifícios hospitalares, especificamente o Hospital do Coração, situado na cidade de Maceió.

Os fatores externos e também as variáveis internas, como as especificações construtivas, os equipamentos e o padrão de ocupação, são parâmetros importantes para a realização das etapas metodológicas e as simulações termoenergéticas, de forma a prever resultados do consumo de energia e desempenho térmico do ambiente de internação do hospital objeto do estudo.

O hospital, por sua complexidade, tem a dualidade entre o condicionamento artificial e o uso de estratégias de ventilação e iluminação naturais. A escolha dos materiais e tipos de estratégias de fachada influenciam a temperatura interna e também o custo da energia elétrica consumida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência da fachada principal do Hospital do Coração, localizado na cidade de Maceió-AL, no desempenho térmico e energético das suítes do setor de internação..

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos:

1. Analisar o desempenho térmico e energético da suíte de internação do Hospital do Coração na situação atual;
2. Analisar o desempenho térmico e energético da suíte estudada, a partir de alterações em: parâmetros da fachada, especificação do sistema de condicionamento térmico artificial e alteração da cor da cobertura;
3. Analisar o balanço térmico do ambiente estudado, de modo a mostrar a contribuição dos componentes do ambiente no ganho de calor;
4. Recomendar alternativas projetuais com vistas ao melhor desempenho térmico e energético dos ambientes estudados.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação compõe-se de cinco capítulos, como descrito a seguir:

Capítulo 1: introdutório, expõe o problema, os objetivos e a justificativa do tema.

Capítulo 2: apresenta o referencial teórico; aborda os temas arquitetura hospitalar, arquitetura bioclimática e bioclimatologia em hospitais, eficiência energética nas fachadas das edificações, normas brasileiras de eficiência energética e desempenho térmico e RDC 50 e o contexto climático de Maceió.

Capítulo 3: explica os procedimentos metodológicos utilizados, com o intuito de se alcançar os objetivos estabelecidos.

Capítulo 4: compreende a apresentação, análise e discussão dos resultados.

Capítulo 5: explicita as conclusões e considerações finais junto com as dificuldades e limitações do trabalho, indicando alguns tópicos que podem ser objeto de estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

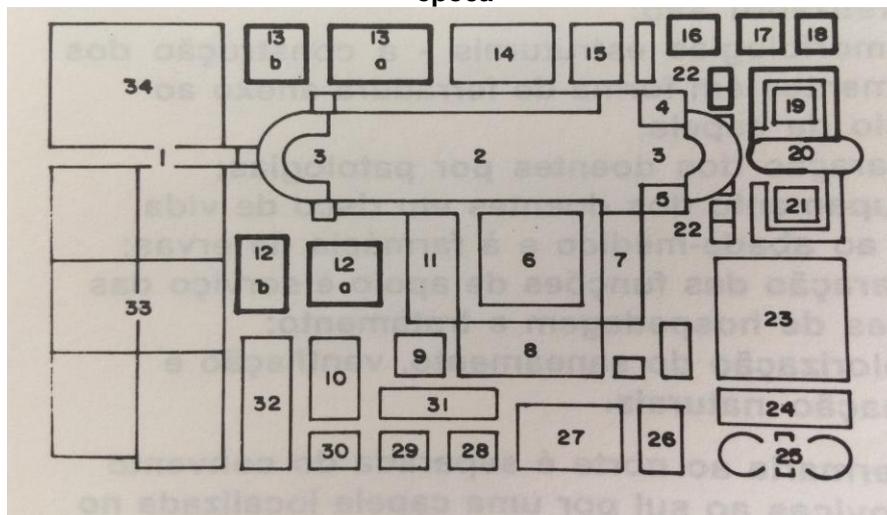
2.1 Arquitetura Hospitalar: Breve Histórico e Tipologias

Um estudo sobre arquitetura de hospitais requer a compreensão de sua conformação e das relações existentes nos projetos dos edifícios de saúde. É necessário conhecer sua evolução até chegar às configurações utilizadas hoje.

Sobre a história de tipologias de hospitais, tem-se como referência Miquelin (1992), que classificou o edifício hospitalar em cinco fases e tipos: Antiguidade - Pórtico e Templos, Idade Média - Nave, Renascença - Cruz e Claustro, Era Industrial - Pavilhões e Pré-Contemporânea - Blocos. A seguir, faz-se uma breve descrição dos relatos do referido autor.

Na Antiguidade, desde o século III a.C., os monastérios budistas abrigavam os peregrinos e, posteriormente, os doentes e mais necessitados. O Cristianismo, na Europa, só passou a ter essa postura nos séculos seguintes. No Império Bizantino (séc. IV - séc. XV), desenvolveu-se a tecnologia sanitária para o abastecimento de água. Nesse momento, houve a construção de diversos hospitais, com funções assistenciais que iam de abrigo para pacientes a tratamento de doenças. Os muçulmanos tiveram uma importante contribuição para evolução da anatomia do edifício hospitalar, pois se preocupavam com a higiene e a salubridade, dividindo os pacientes por patologia; também estabeleceram estratégias para a distribuição de água e ventilação nos compartimentos. Na Suíça, em 820, foi realizado o projeto arquitetônico da Abadia de St Gallen, que se destacou devido à sofisticação no planejamento, porém o prédio nunca foi construído. Alguns dos aspectos desse projeto arquitetônico eram a separação das funções de apoio e serviço das funções de hospedagem e tratamentos, e a valorização do saneamento, da ventilação e da iluminação naturais (Figura 4).

Figura 4: Abadia de St Gallen que servia como exemplo de requinte de planejamento para a época

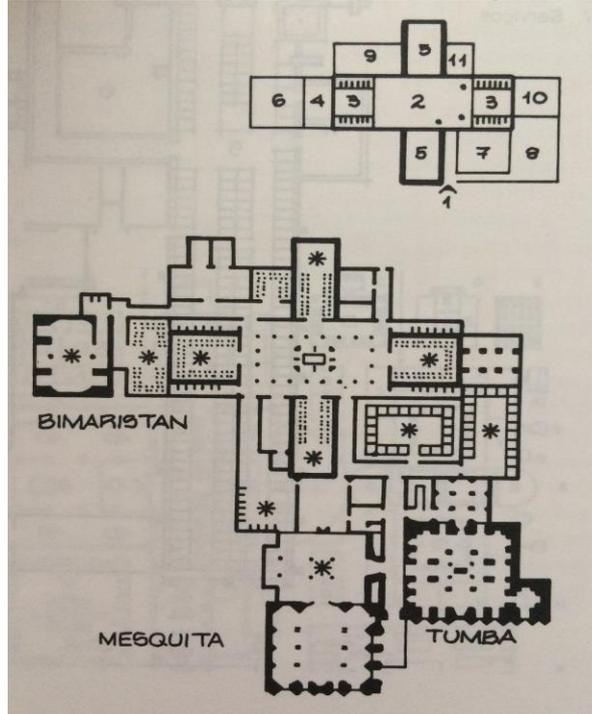


- | | | |
|--|---|--------------------------------------|
| 1. Entrada | 13. Hospedagem de estrangeiros a. dormitório b. cozinha | 25. Galinheiro |
| 2. Igreja | 14. Escola | 26. Granja |
| 3. Coro | 15. Casa do abade | 27. Oficinas |
| 4. Biblioteca | 16. Sangrias e purgações | 28. Moinhos |
| 5. Sacristia | 17. Casa dos médicos | 29. Olaria |
| 6. Claustro | 18. Horta medicinal | 30. Preparação de cal |
| 7. Dormitório | 19. Enfermaria | 31. Trabalhadores |
| 8. Refeitório | 20. Capela | 32. Cavalariças |
| 9. Cozinha | 21. Noviças | 33. Armazéns e estábulo das fazendas |
| 10. Padaria e cervejaria | 22. Cozinha/banhos | 34. Uso não definido |
| 11. Adega | 23. Cemitério | |
| 12. Hospedagem a. dormitório b. cervejaria e padaria | 24. Horta | |

Fonte: MIQUELIN, 1992.

Na Idade Média (séc. V - séc. XV), os vãos nas enfermarias tornam-se maiores e as condições de iluminação e ventilação melhoram bastante. Outro avanço importante é a separação entre funções do alojamento e dos pacientes por patologia e sexo. A exemplo disso, tem-se o projeto Bimaristan de Qalawun, construído em 1284 (Figura 5).

Figura 5: Bimaristan de Qalawunserve como exemplo de separação entre funções do alojamento e dos pacientes por patologia e sexo

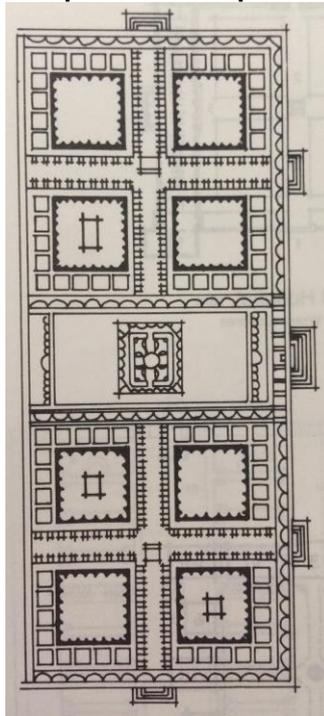


- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1. Entrada | 7. Doentes mentais homens |
| 2. Pátio e escritórios médicos | 8. Doentes mentais mulheres |
| 3. Pacientes deitados - homens | 9. Cozinhas |
| 4. Pacientes deitados - mulheres | 10. Guardiões e enfermeiras |
| 5. Convalescentes homens | 11. Preparação dos mortos |
| 6. Convalescentes mulheres | |

Fonte: MIQUELIN, 1992.

No período do Renascimento (séc. XV - séc. XVIII), as construções hospitalares tornaram-se mais complexas, com formato cruciforme ou claustro rodeado por galerias e corredores. Um dos exemplos mais importantes desse período é o Ospedale Maggiore de Milão, construído no ano de 1456, modelo para os quatro séculos subsequentes. Nessa época, as soluções de salubridade e saneamento do edifício avançaram, assim como o sistema de esgoto, o que favoreceu o processo de cura dos pacientes (Figura 6).

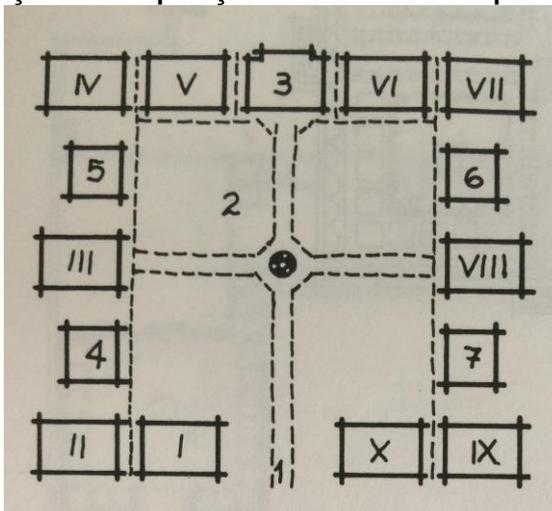
Figura 6: Ospedale Maggiore de Milão conhecida por conter os elementos básicos das construções hospitalares dos próximos 4 séculos



Fonte: MIQUELIN, 1992.

A Era Industrial (séc. XVIII - séc. XX) foi marcada pelos edifícios pavilhonares, diminuição dos índices de contaminação e incentivo à iluminação e à ventilação naturais, fatores importantes na higienização do ambiente e na animação dos pacientes. O Royal Naval Hospital, construído em 1756, na Inglaterra, é um marco para evolução dos edifícios de saúde, e influenciou os projetos arquitetônicos hospitalares por mais 250 anos. Pela primeira vez na Europa Ocidental há um hospital com *layout* ordenado dos elementos da construção com separações funcionais e um padrão claro de circulação. Alguns princípios básicos desse projeto: separação por pacientes em grupos de até 20 pessoas e conceito pavilhonar, melhorando iluminação e ventilação naturais (Figura 7).

Figura 7: Royal Naval Hospital possui um projeto que estabelece um *layout* ordenado dos elementos da construção com separações funcionais e um padrão claro de circulação



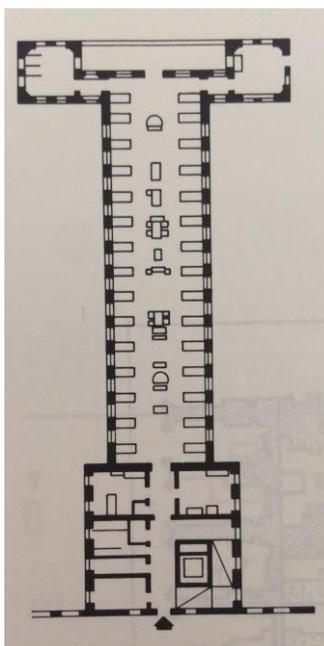
1. Entrada
2. Jardim
3. Capela
4. Pessoal

5. Isolamento de varíola
6. Cozinha e refeitório
7. Almojarifado

Fonte: MIQUELIN, 1992.

Florence criou as bases e dimensões do que ficou conhecida como "enfermaria Nightingale", um salão longo e estreito com leitos perpendiculares em relação as paredes, pé direito alto e janelas altas entre leitos, o que garantia a ventilação cruzada e iluminação natural (Figura 8).

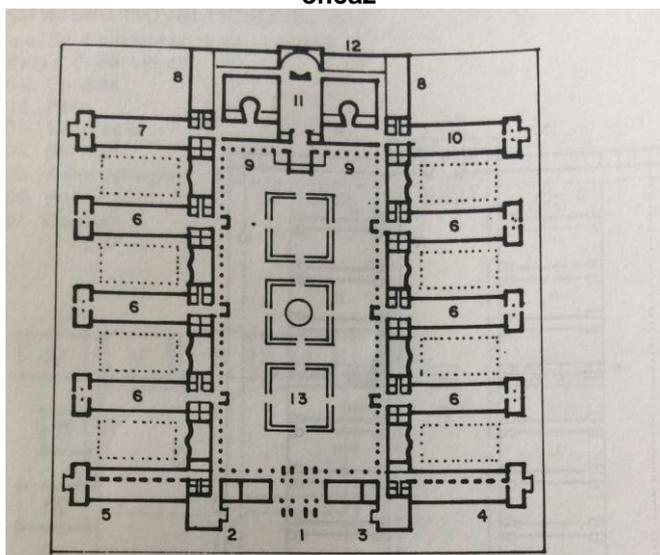
Figura 8: Enfermaria Nightingale conhecida por ter ventilação cruzada e iluminação natural.



Fonte: MIQUELIN, 1992.

A enfermeira Florence Nightingale, sugeria que os defeitos dos hospitais eram a falta de iluminação e ventilação naturais, áreas mínimas por leito e superlotação. O hospital Lariboisiere era considerado, por Nightingale, exemplar (Figura 9).

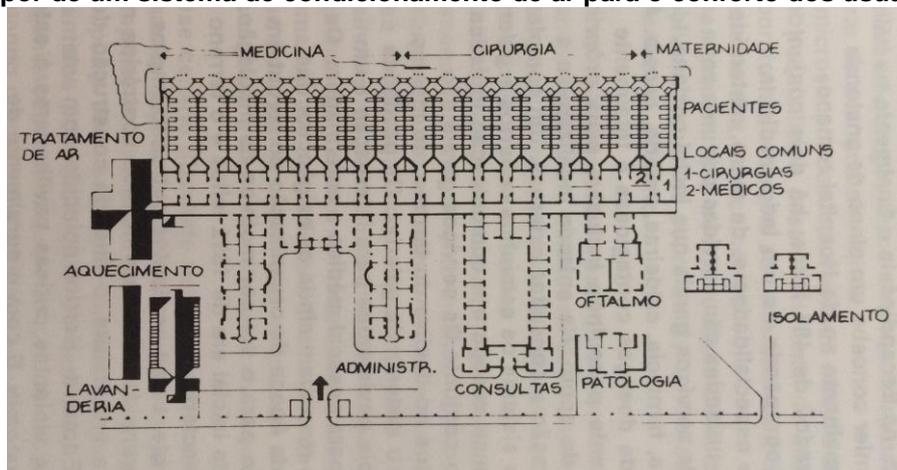
Figura 9: Hospital Lariboisiere conhecido por ter um pé direito alto e um sistema de ventilação eficaz



- | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------------|
| 1. Entrada | 6. Pacientes | 11. Capela |
| 2. Administração | 7. Comunidade | 12. Morgue |
| 3. Consultas | 8. Salas de cirurgia | 13. Pátio central |
| 4. Farmácia | 9. Banhos | |
| 5. Cozinha e serviços | 10. Lavanderia | |
- Fonte: MIQUELIN, 1992.

No século XX foi construído o Belfast Royal Victoria Hospital, que se destacou na área da ventilação mecânica (Figura 10). Foi o primeiro edifício, fora da área industrial, que implantou um sistema de condicionamento do ar para o conforto dos usuários.

Figura 10: Belfast Royal Victoria Hospital, primeiro edifício complexo fora da área industrial a dispor de um sistema de condicionamento de ar para o conforto dos usuários



Fonte: MIQUELIN, 1992.

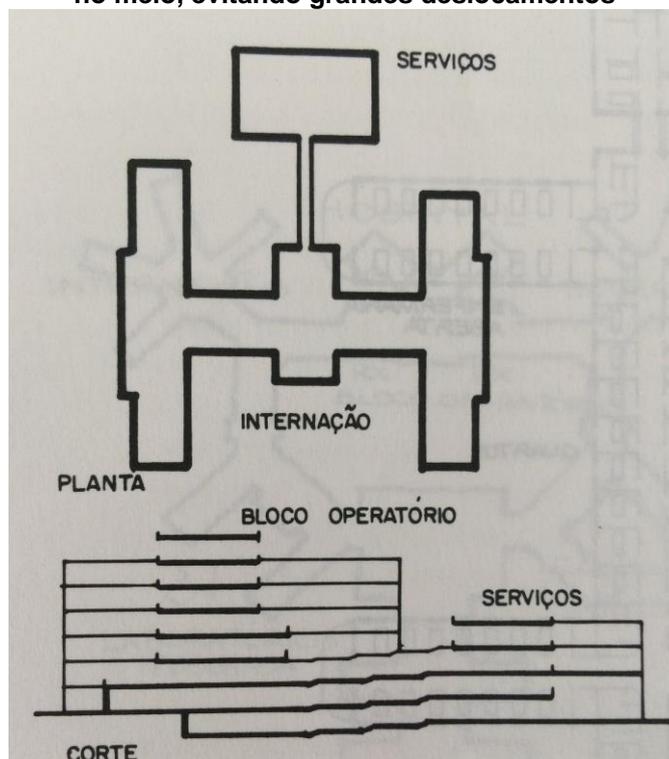
Toda a concepção do hospital foi baseada no princípio de tratamento de ar que define e orienta toda a concepção do conjunto. O sistema é constituído de uma central única de ventilação e tratamento de ar com dois ventiladores coaxiais acionado por uma máquina a vapor que utiliza o excedente energético da lavanderia contígua. (MIQUELIN, 1992, p.50)

No século XX, verifica-se a decadência dos edifícios pavilhonares, em virtude da verticalização, incentivada pelo custo crescente dos terrenos e pela escassez de mão de obra na área da enfermagem. Da mesma forma, a tecnologia da construção permitiu a verticalização dos hospitais, surgindo os edifícios monoblocos verticais.

Os edifícios monoblocos verticais (Figura 11) da era Pré-Contemporânea (a partir do século XX) eram um empilhamento de várias enfermarias Nightingale, com um elevador ligando os andares. Eram organizados em cinco setores básicos:

- Subsolo: serviços de apoio;
- Térreo: consultórios médicos;
- Primeiro andar: serviços administrativos e laboratório;
- Pavimento intermediário: internação;
- Último andar: bloco operatório.

Figura 11: Ottawa Civic Hospital, em forma de "H", com os montacargas e elevadores situados no meio, evitando grandes deslocamentos



Fonte: MIQUELIN, 1992.

Essas mudanças da era Pré-Contemporânea levaram à compactação do projeto arquitetônico e, conseqüentemente, a menores percursos para o setor de enfermagem. A partir desse período os sistemas de condicionamento de ar começaram a se desenvolver e foram aplicados aos edifícios hospitalares.

Todo ser humano tem uma capacidade enorme de adaptação às mais diferentes condições ambientais. Na maioria dos hospitais brasileiros, só aquela capacidade pode explicar a continuidade do atendimento, o qual acaba ocorrendo apesar do edifício e não com o auxílio dele (GOÉS, 2004, p. 105).

O crescente desenvolvimento tecnológico que aconteceu na era Pré-Contemporânea foi decisivo para a mudança de soluções arquitetônicas dos edifícios hospitalares, que antes priorizavam a ventilação e a iluminação naturais, mas foram gradativamente incorporando os sistemas mecanizados, tendo como consequência o aumento do consumo da energia elétrica.

Em 2001, a crise energética que aconteceu no Brasil devido ao crescimento populacional e da alta demanda com construção civil, em contrapartida ao parque

gerador brasileiro que não acompanhou tal aumento, levou à implantação de ações visando a um menor consumo de energia no país (BARDELIN, 2004).

Hoje, para os projetos arquitetônicos de edifícios hospitalares, há demandas mais complexas, especializações, normas mais rígidas, melhoria das condições de higiene, além de avanços tecnológicos, como a utilização de novos materiais e formas na construção.

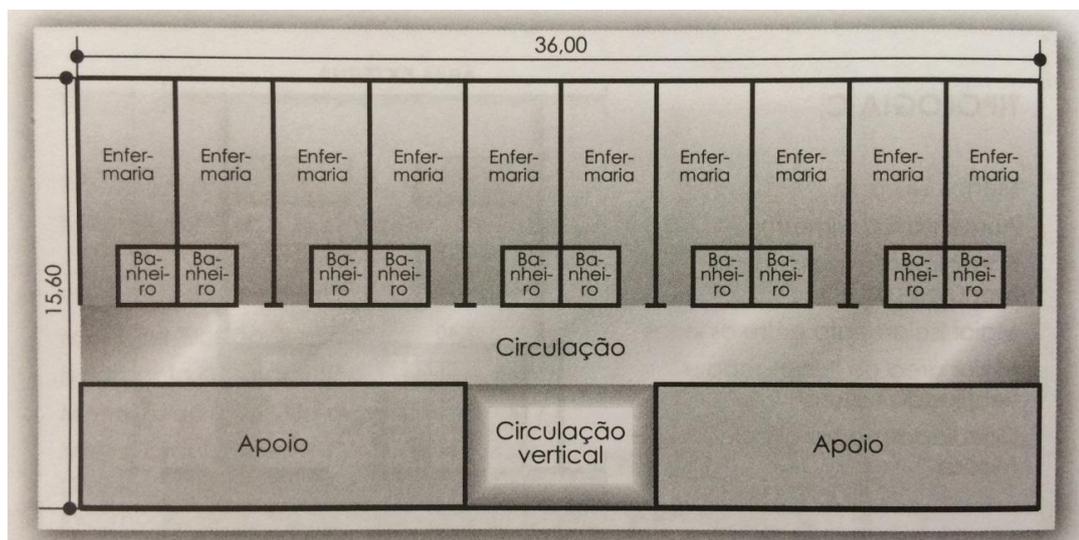
Segundo Góes (2014), a forma do edifício influencia nos custos da construção e da manutenção. Os hospitais circulares são os mais econômicos, enquanto os retangulares são os que apresentam maiores custos. O autor explica que quanto às instalações e equipamentos, a escolha deverá se dar sempre visando a minimizar os custos com a manutenção, e não com a instalação. Os hospitais compactos são os que possuem custos maiores associados à dependência dos sistemas de iluminação artificial nas áreas confinadas e ventilação artificial em ambientes que podem dispensar seu uso. Assim, o autor faz algumas recomendações: utilizar ar-condicionado apenas nas áreas onde seu uso é indispensável, reduzir o perímetro nas interações do edifício, repensar tipologias e padrões das interações e o usar ambientes e instalações compartilhados, evitando-se a duplicação.

Segundo Góes (2014), o setor de internação no projeto hospitalar corresponde a 40% da área de um hospital. Portanto, é necessário um estudo sobre as tipologias desse setor, com o objetivo de diminuir a área destinada a ele, assim como o custo com sua manutenção.

As tipologias utilizadas em hospitais são comumente vistas em hotéis, por isso também se utiliza o termo hotelaria hospitalar para os apartamentos e enfermarias. Quanto à circulação, há quatro tipologias utilizadas, segundo Góes (2014): a) corredor simplesmente carregado – quando as enfermarias e apartamentos localizam-se apenas de um lado do corredor e se utiliza o outro lado para apoio e circulação vertical; b) corredor duplamente carregado – quando estão localizados nos dois lados; c) corredor simplesmente carregado (aberto ou fechado) – quando as enfermarias e apartamentos localizam-se no lado do corredor e o outro não possui utilização; d) corredor duplamente carregado com pátio – quando há

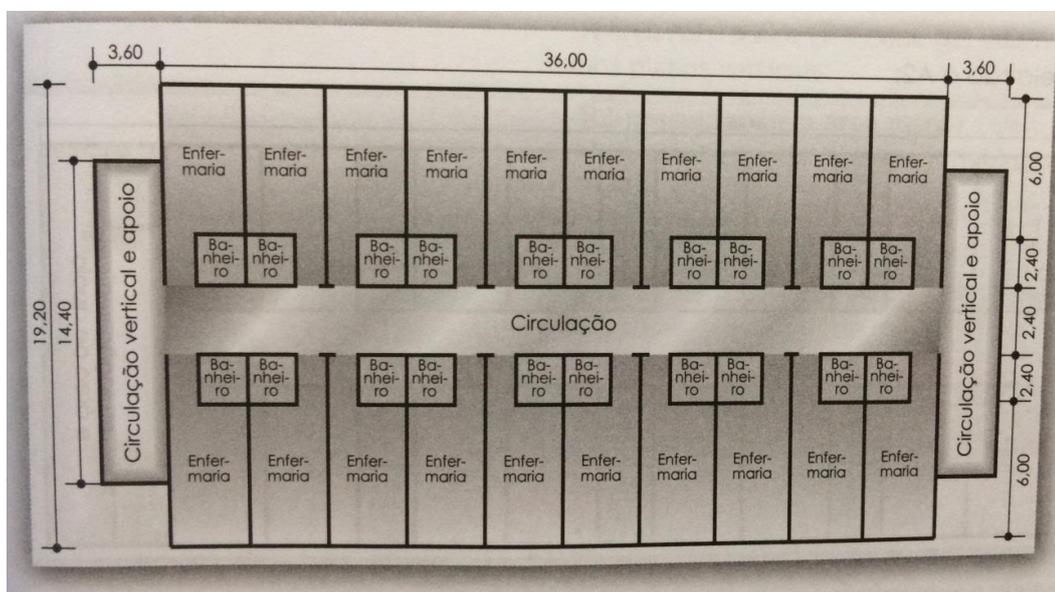
apartamentos e enfermarias dos dois lados, com circulação duplicada e pátio interno, o que possibilita ventilação e iluminação natural para os banheiros (Figuras 12,13, 14 e 15).

Figura 12: Enfermarias do tipo corredor simplesmente carregado



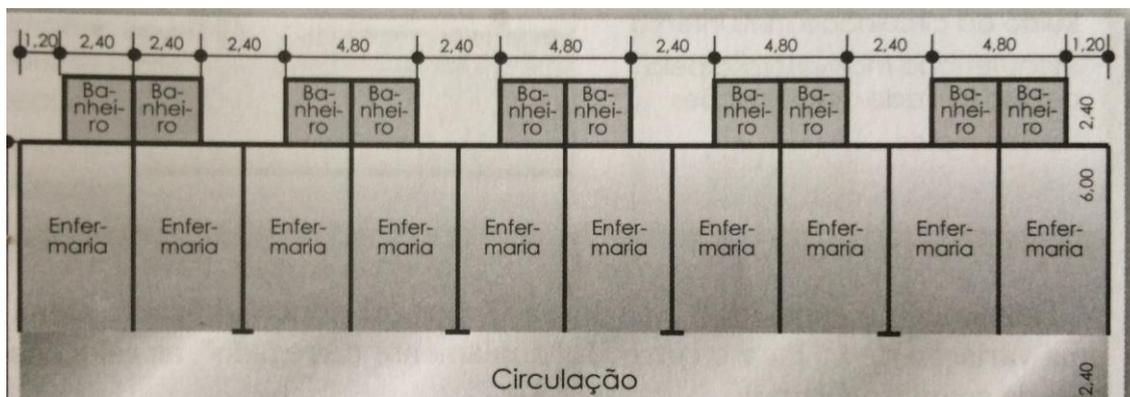
Fonte: GÓES, 2014.

Figura 13: Enfermarias do tipo corredor duplamente carregado



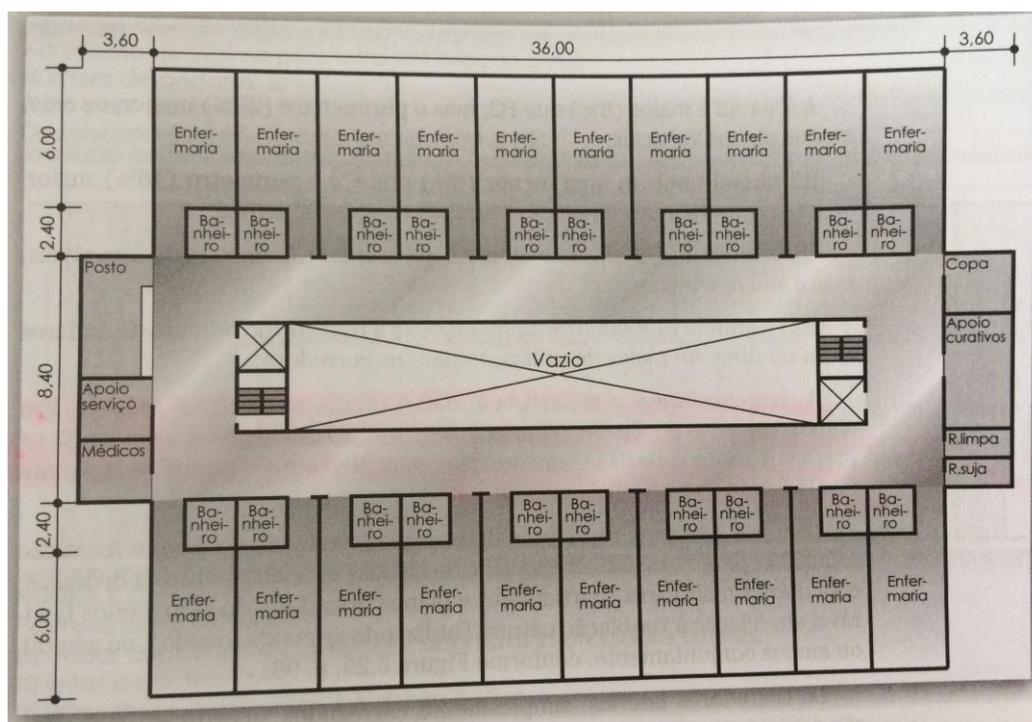
Fonte: GÓES, 2014.

Figura 14: Enfermarias do tipo corredor simplesmente carregado aberto



Fonte: Adaptado de GÓES, 2014.

Figura 15: Enfermarias do tipo corredor duplamente carregado com pátio



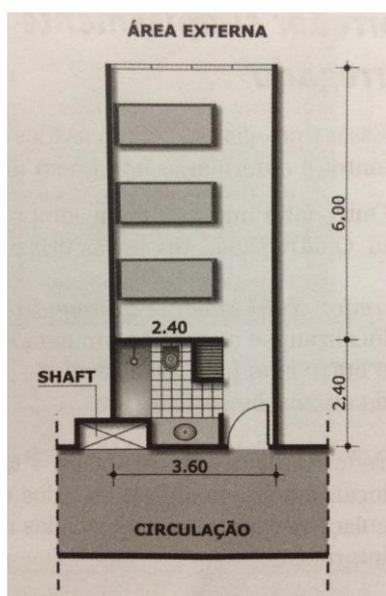
Fonte: GÓES, 2014.

O problema dos corredores duplamente carregados é que em alguns climas os ventos predominantes são sudeste, com variações para nordeste, o que deixará sempre um corredor prejudicado (GÓES, 2014).

Quanto às tipologias de apartamentos, a solução mais indicada pode ser vista na Figura 16, pois propicia maior ventilação e iluminação naturais, isolamento dos

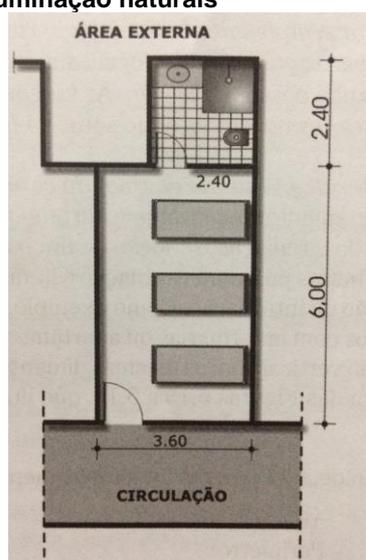
pacientes, menor ruído da circulação, menor circulação, limpeza dos sanitários sem incomodar os pacientes, menor perímetro. A menos indicada é a da Figura 17, pois aumenta substancialmente o perímetro do prédio, embora não aumente a circulação, a limpeza dos sanitários incomoda os pacientes, há redução da ventilação e iluminação naturais e ruído da circulação mais intenso (GÓES, 2014).

Figura 16: Tipologia mais correta para hospitais - Possibilita maior ventilação e iluminação naturais e menor ruído da circulação



Fonte: GÓES, 2014.

Figura 17: Tipologia menos indicada para hospitais- Maior ruído com a limpeza de sanitários e circulação e menor ventilação e iluminação naturais



Fonte: GÓES, 2014.

Em 1954, na França, o Ministério da Saúde Pública e População publicou um documento com algumas recomendações para edifícios hospitalares. A primeira era projetar o setor de internação para a orientação sul, onde há insolação nas fachadas durante o inverno no Hemisfério Norte.

A arquitetura deve promover espaços psicologicamente saudáveis, sobre isso Góes (2004, p.105) comenta:

Os hospitais, onde as condições de trabalho são bastante estressantes, onde o atendimento é para pessoas com risco de morte ou em sofrimento profundo, não podem ter os fatores ambientais como um motivo a mais de estresse, seja para pacientes, familiares, médicos e enfermeiros (GOÉS, 2004, p. 105).

A visão do hospital como instrumento de cura, que surgiu no Renascimento, foi ampliada e hoje o mais importante é prevenir as doenças. O projeto hospitalar precisou se adaptar às novas necessidades, contribuindo para o conforto, a segurança e o controle de infecções hospitalares.

O conforto ambiental é um dos aspectos mais importantes do projeto arquitetônico hospitalar, uma vez que o ambiente é decisivo no processo evolutivo do paciente e no bem-estar dos funcionários. Segundo Miquelin (1992), não deve haver condições excessivamente estáveis com condicionamento artificial nos ambientes hospitalares, pois a monotonia diminui a capacidade de percepção, concentração e atenção.

Face aos diferentes níveis de metabolismo e vestuário encontrado nos ocupantes de um edifício hospitalar (pacientes e funcionários), torna-se difícil o estudo do conforto térmico. Um estudo realizado em quatorze quartos em quatro hospitais diferentes do Irã, a fim de mensurar as condições de conforto térmico dos pacientes e funcionários, concluiu que os diferentes grupos de usuários do hospital tiveram requisitos de conforto térmico que foram difíceis de acomodar em um espaço (KHODAKARAMI; KNIGHT, 2008). A cultura, fisiologia humana, são componentes que por si só influenciam no conforto de cada usuário e na capacidade de conviver com ambientes distintos. Em ambientes hospitalares, deve-se levar em consideração ainda que os clientes são pessoas com problemas de saúde e que podem necessitar de ambientes diferentes. Portanto, para os casos estudados no

Iran, a melhor solução foi fornecer diferentes zonas térmicas para diferentes grupos de usuários nos hospitais estudados. Khodakarami e Knight (2008) concluíram que os funcionários precisam de uma área com condições muito diferentes dos pacientes.

2.2 Arquitetura Bioclimática e Bioclimatologia em Hospitais

A arquitetura bioclimática é uma forma de projetar utilizando os recursos disponíveis na natureza e as características ambientais do local. Quando não existiam tecnologias para iluminação e climatização artificiais, utilizavam-se materiais locais e a orientação solar para construir abrigos. Embora esse conceito já tenha sido aplicado em construções mais antigas, a expressão "projeto bioclimático" só foi criada pelos irmãos Olgay na década de 1960.

O conhecimento da arquitetura bioclimática, aliado ao conhecimento dos materiais, equipamentos e tecnologias construtivas vinculados à eficiência energética, representa uma importante oportunidade de poupar energia e minimizar os custos das edificações (EPE, 2005).

Para Maragno (2003), a arquitetura bioclimática está baseada no menor consumo de energia, devido à correta aplicação dos elementos arquitetônicos e das tecnologias construtivas, sempre considerando as características climáticas locais, a fim de alcançar o conforto dos usuários. Lanham *et al.* (2004) dizem faltar um diálogo entre a arquitetura e a engenharia, assim como asseveram que a globalização dos critérios arquitetônicos vem criando um "modelo internacional", muitas vezes fora do contexto local. Nesse sentido, a arquitetura bioclimática permite a integração dos aspectos culturais, ambientais e socioeconômicos. A reprodução de um "modelo internacional", conforme Lanham *et al.* (2004), surgiu devido ao desenvolvimento de técnicas construtivas ao longo do século XX e à globalização.

A reprodução de um modelo internacional, construído em um país com características distintas, implica em edifícios energeticamente ineficientes, nos quais o uso de sistemas artificiais de iluminação e ventilação são utilizados

desnecessariamente, tornando os usuários dependentes de tais sistemas. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento desses sistemas artificiais contribuem para o conforto térmico e energético, quando aplicados corretamente.

Os princípios bioclimáticos consideram elementos tais como o território, o clima, o local, a orientação solar, luz e sombra. Esses elementos devem ser inseridos no processo de projeto desde a sua concepção, pois há diversas estratégias passivas de condicionamento ambiental que são utilizadas para melhorar as condições térmicas dos edifícios (GIVONI, 1992).

É através da carta bioclimática² que há a seleção de estratégias bioclimáticas para um determinado clima. De acordo com a carta bioclimática, a zona de conforto para o País está entre 18°C e 29°C de temperatura do ar e umidade relativa do ar entre 20% e 80%. (OLGYAY, 1998). No clima quente e úmido, como o da cidade de Maceió, para temperaturas em torno de 29°C é importante controlar a incidência de radiação solar; caso se ultrapasse essa temperatura ou se a umidade relativa for maior que 80%, deve-se utilizar ventilação natural. Para temperaturas acima de 32°C, não é recomendada ventilação natural, pois a partir daí os ganhos térmicos por convecção tornam esta estratégia indesejável (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Em hospitais, o contato com o exterior e a incidência de ventilação e iluminação naturais são eficientes nos confortos visual e psicológico do paciente. Além disso, diminuem a necessidade do uso artificial de iluminação e ventilação, contribuindo para a redução do consumo de energia.

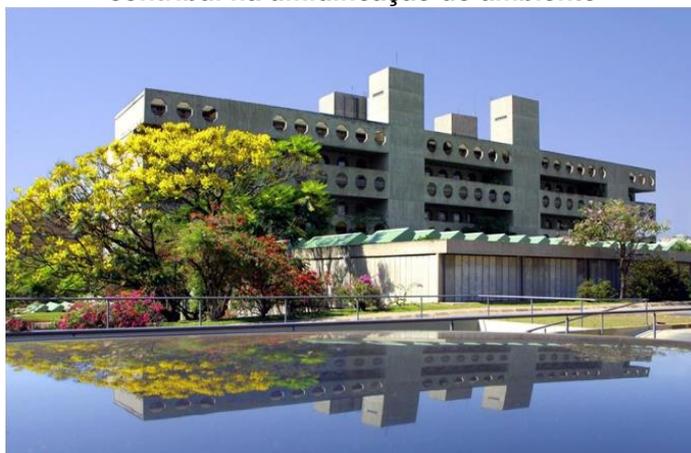
No caso dos edifícios de saúde, cuja concepção é complexa por englobar funções como tratamento, reabilitação, cura, ensino e pesquisa, a preocupação com o conforto e bem-estar dos pacientes é primordial, e uma das funções dos arquitetos é criar projetos mais eficientes, que proporcionam conforto aos usuários e o uso racional da energia. No entanto, devido à complexidade dos hospitais, a maioria dos profissionais não se preocupa com o conforto na fase da concepção e utiliza iluminação artificial e sistemas mecânicos de climatização. Essas soluções implicam

² Olgay foi o primeiro a desenvolver um diagrama bioclimático, em 1963, chamado de Carta Bioclimática. Em 1992, Givoni desenvolveu e aprimorou a carta bioclimática de edificações, considerando os efeitos da aclimatização para países em desenvolvimento (GIVONI, 1998).

um consumo de energia elétrica e torna os ambientes herméticos e desagradáveis. (LUKIANCHUKI, 2010, p. 133 - 134).

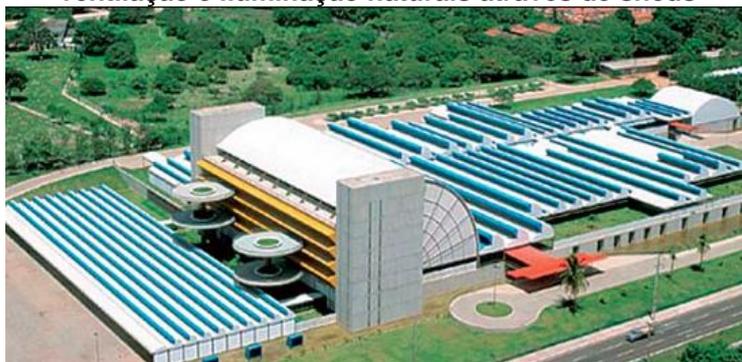
No Brasil, os hospitais da rede Sarah Kubitschek, projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé, são referências por possuírem soluções que priorizam a ventilação e a iluminação naturais, propiciando ambientes agradáveis para os funcionários e os pacientes que se encontram em reabilitação (Figuras 18 e 19).

Figura 18: Hospital Sarah Kubitschek de Brasília, com destaque para o espelho d'água que contribui na umidificação do ambiente



Fonte: www.sarah.br, acesso em: 3/11/2015.

Figura 19: Hospital Sarah Kubitschek de Fortaleza, com estrutura pavilhonar, o que permite ventilação e iluminação naturais através de sheds



Fonte: www.arcoweb.com.br, acesso em: 3/11/2015.

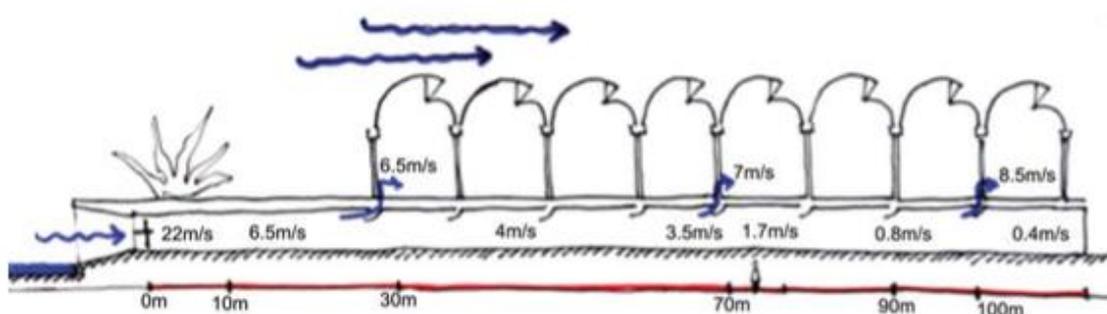
Latorraca (1999) lista os princípios norteadores do partido arquitetônico do Sarah Brasília, o primeiro da rede, e que pode ser identificado nos outros projetos que foram construídos posteriormente, como flexibilidade e extensibilidade da construção e das instalações, criação de espaços verdes, padronização de elementos da construção, iluminação e ventilação naturais no ambiente.

Ribeiro (2004) comenta que o Hospital Sarah Kubitschek de Fortaleza sintetiza a experiência de uma vida dedicada à compreensão da arquitetura na amplitude de seu campo do conhecimento, efetuando, com maestria, a conjunção entre arte e técnica.

No Hospital Sarah Kubitschek de Fortaleza, os ambientes foram distribuídos a fim de privilegiar os ambientes iluminados e ventilados naturalmente, como as enfermarias, deixando as áreas que necessitam de ventilação mecânica nas partes posterior e lateral do hospital. Essa distribuição permitiu que 80% dos ambientes fossem ventilados e iluminados naturalmente, diminuindo o custo com energia elétrica e proporcionando ambientes mais agradáveis. Vale salientar que a ventilação cruzada é evitada por Lelé, devido ao transporte de poeira e vírus entre ambientes (PERÉN, 2006). Como a internação ocupa 40% da área de um hospital, é importante que esse setor se localize na área mais privilegiada, com a melhor ventilação.

A ventilação natural é importante, principalmente para evitar infecções hospitalares. No Hospital Sarah de Fortaleza, Lelé propõe a ventilação vertical, através de galerias, a fim de que os vírus não se espalhem pelo hospital. O ar frio entra pelas galerias a favor dos ventos e sai pelos *sheds* orientados à sotavento (Figura 20).

Figura 20: Corte esquemático das galerias de ventilação no Hospital Sarah de Fortaleza



Fonte: PERÉN, 2006.

Essas soluções encontradas por Lelé melhoram o conforto e contribuem para um edifício energeticamente eficiente.

O jogo de luz que adentra as janelas é fundamental no estímulo ao desenvolvimento do paciente, proporcionando ambientes mais humanos e menos herméticos. Entretanto, a luz natural está diretamente ligada ao calor, e portanto, ao dimensionar aberturas, é preciso considerar o local onde está inserido o projeto. Não se deve permitir a incidência direta da radiação solar, sendo recomendado, para climas quentes de baixa latitude, como o clima de Maceió, o emprego de elementos que protejam a fachada, como brises e marquises.

Uma forma de minimizar a carga térmica das fachadas é mediante o estudo da geometria solar, que indica a melhor orientação para o projeto, assim como a utilização de elementos protetores para as aberturas. A adoção desses elementos, utilizados na busca das condições de bem-estar do usuário, contribui para a diminuição do uso de aparelhos eletrônicos que consomem excessiva energia elétrica e na redução de impactos ambientais.

Os arquitetos e demais projetistas possuem uma importante função no desenvolvimento e na aplicabilidade da arquitetura bioclimática, não apenas adaptando a arquitetura à região, mas integrando-a com a natureza. Nesse contexto, Olgay (1998) comenta que o arquiteto tem a função de utilizar os meios naturais para produzir ambientes agradáveis, ao mesmo tempo que deve buscar economia, utilizando iluminação e ventilação mecânicos apenas quando necessário.

Góes (2004) explica que para se obter reduções drásticas no consumo de energia em hospitais, basta aplicar conceitos já antigos, como coberturas com grandes beirais, equilíbrio nas aberturas, fachadas protegidas e redução do uso de fachadas envidraçadas, iluminação e ventilação naturais, brises, além da interação do projeto com o meio onde está inserido. Para o autor, o ar-condicionado deve ser usado somente em lugares onde for imprescindível a sua adoção.

Muitos estudos demonstram os benefícios das janelas, em edifícios hospitalares, no humor dos pacientes e na produtividade dos funcionários. No entanto, as janelas transparentes são menos resistentes à transferência de calor do que uma parede de alvenaria (PETERMANN, 2015).

No caso do edifício hospitalar, em que o consumo de energia é alto devido à complexidade de funções e grandes dimensões, é fundamental a utilização de fontes passivas de energia, além de um projeto arquitetônico que contribua para a redução do consumo de energia. A arquitetura no Brasil deve se espelhar em países com climas semelhantes, como a Índia, e não em países temperados, importando modelos que divergem da necessidade local (GÓES, 2004).

Em hospitais é preciso aliar conforto e qualidade com tecnologia. Sobre isso, Sampaio (2005, p.22) diz:

Conforto e qualidade, em se tratando de ambiente hospitalar, é a satisfação das necessidades tecnológicas da medicina, ou seja, ter espaços flexíveis que possam acomodar sofisticados equipamentos, constantemente redesenhados; satisfação dos pacientes, permitindo tranquilidade, bem-estar, confiança e condições de uma pronta recuperação; satisfação da equipe de profissionais com locais de trabalho que propiciem um atendimento de melhor qualidade, um maior rendimento, mais produtividade, segurança, e o mais importante, que esse profissional desempenhe melhor a sua função e satisfação dos administradores, sendo uma construção econômica, de fácil manutenção e operação.

2.3 Eficiência Energética nas Fachadas das Edificações

A eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar o conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia (LAMBERTS *et al.*, 2014, p.5)

O tipo de revestimento de fachada, de vidro e o uso de dispositivos interiores ou exteriores de proteção têm grande influência no desempenho do edifício. Os elementos de fachada devem ser escolhidos de acordo com o clima e a função da edificação.

Wigginton *et al.* (2002), selecionaram 22 edifícios com fachadas inteligentes, a fim de mostrar os diversos tipos de soluções encontradas. O estudo foi realizado com edifícios de tamanhos diferentes em vários lugares do mundo. Aqui serão apresentados 3 edifícios que exemplificam esse estudo.

O primeiro é o edifício da sede GSW Headquarters, um dos maiores provedores de habitação social em Berlim, construído em 1991 (Figura 21).

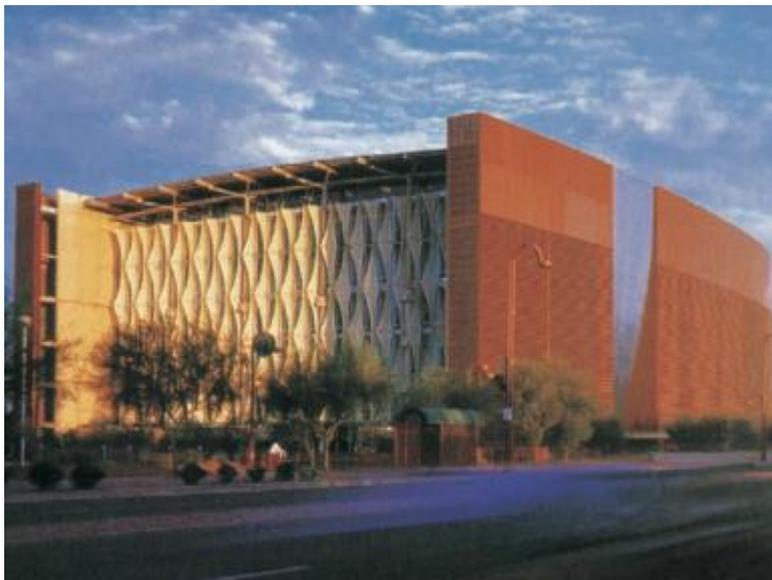
Figura 21: Edifício da sede GSW Headquarters



Fonte: Wigginton *et al.*, 2002.

A cidade possui clima continental, com verões quentes e invernos mais frios. Dois sistemas inteligentes ajudam a proporcionar o conforto e a eficiência energética no edifício. O edifício é ventilado naturalmente durante 70% do ano, e a ventilação é induzida por uma chaminé, com baixa velocidade, em vidro duplo. O fluxo de ar é regulado por amortecedores controlados pelo sistema de gestão do edifício. Há outro sistema que controla o sombreamento da fachada, esse pode ser controlado também pelos usuários. Há luzes vermelhas e verdes em cada escritório, que controla a abertura da janela e recomenda se a ventilação deve ser mecânica ou natural.

O segundo é o edifício Phoenix Central Library, localizado no Arizona. A cidade possui invernos suaves e verões bem quentes, durante o dia, e umidade em torno de 20%. Foi construído em 1995 (Figura 22).

Figura 22: Phoenix Central Library

Fonte: Wigginton *et al.*, 2002.

O edifício é envidraçado ao norte e ao sul, e com paredes opacas nas orientações leste e oeste. Os elementos externos da fachada norte e sul sombreiam as fachadas de vidro. Apesar das difíceis condições ambientais, caracterizadas por um clima desértico, a luz e o calor foram mantidos sob controle e utilizados tanto para tornar o ambiente menos monótono, quanto para realçar o edifício do ponto de vista funcional e ambiental. As fachadas leste e oeste são revestidas com um elemento perfurado em cobre, a fachada norte com velas de teflon fixas e a sul com grelhas externas operadas eletronicamente.

O terceiro é o edifício Super Energy Conservation Building, que está localizado em Tóquio, no Japão. Foi construído em 1982, e na época considerado um dos edifícios mais eficientes do mundo, com 98 tecnologias de conservação de energia (Figura 23).

Figura 23: Super Energy Conservation Building



Fonte: Wigginton *et al.*, 2002.

As aberturas automáticas na parte superior e inferior da dupla camada da fachada do edifício Super Energy Conservation permitem que ela seja controlada para aquecer ou como um bloqueador térmico. À noite, as cortinas de isolamento (elemento interno de pele dupla) que são controladas automaticamente podem ser levantadas na frente das janelas de escritório viradas para sul.

O estudo de edifícios eficientes desperta para uma conscientização do esgotamento dos recursos naturais, que tem fundamentado as decisões e ações atuais nos países mais desenvolvidos, que visam à eficiência energética, resgatando a concepção de projeto em harmonia com a natureza e integrando a tecnologia aos conceitos bioclimáticos.

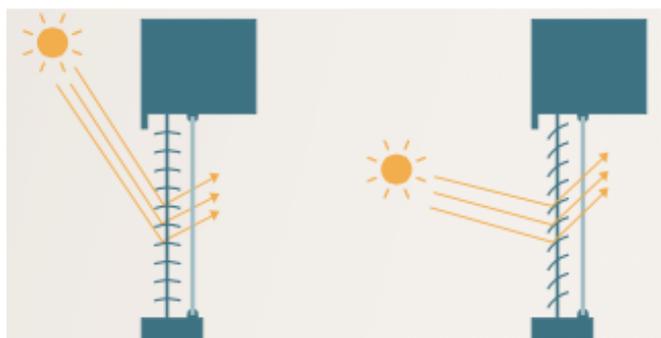
O vidro é muito utilizado nas fachadas, pois dá aos ocupantes uma ligação com o exterior, além de proporcionar iluminação natural. Entretanto, as condições de conforto térmico e eficiência energética podem ser comprometidas pela quantidade e tipos de vidros empregados sem a devida proteção.

Um painel único de vidro não fornece quase nenhuma resistência à transferência de calor, enquanto o isolamento do vidro duplo, constituído por um espaço de ar entre as duas placas, é muito mais resistente. Em climas frios, utilizam-se vidros triplos. No entanto, é muito mais oneroso e pesado, aumentando o custo

da construção (PETERMANN, 2015).

A fachada de um edifício pode ser projetada com base em princípios bioclimáticos, também utilizando o sombreamento automático das esquadrias. Os investimentos nesses recursos de sombreamento representam de 1% a 2% do custo total da construção, mas podem trazer de 20% a 40% de economia de energia. Esses elementos rastreiam a posição do sol e se ajustam automaticamente, sempre proporcionando sombra ao ambiente, bloqueando a radiação direta do sol e permitindo que a luz natural adentre no edifício (SOMFY, 2010) (Figura 24).

Figura 24: Brises automáticos



Fonte: http://www.somfy.com.sg/downloads/sea/development_of_bioclimatic_facade.pdf, acesso em: 15/11/2015.

Nos Estados Unidos, as condições de conforto térmico internas de edifícios são controladas principalmente por sistemas mecânicos, que compensam eventuais deficiências das fachadas. A partir de programas de simulação computacional é possível avaliar projetos desde o início do processo de concepção, assim como os impactos das decisões no conforto térmico dos ocupantes. Contudo, não há uma abordagem única para o conforto térmico, uma vez que envolve uma avaliação pessoal e psicológica de cada usuário, em especial em ambientes hospitalares. Os resultados obtidos com as simulações podem ajudar nas decisões quando da busca por espaços que proporcionem bem-estar (PETERMANN *et al.*, 2014).

A escolha dos materiais da envoltória de cada edifício deve ser em função da região onde está inserido. A escolha adequada pode reduzir drasticamente o fluxo de calor que adentra o ambiente, contribuindo para eficiência energética da edificação.

Carlo *et al.*(2004), em um estudo em edificações de escritórios, constataram a economia de 7% a 21% no consumo de energia realizado com base nos modelos em que foram aplicadas algumas prescrições de eficiência energética para edificações de escritórios, englobando apenas envoltória e iluminação. Algumas variáveis foram: tipo de vidro, sensores no sistema de iluminação artificial e proteções para as janelas.

Entre as principais economias na densidade da carga interna está a minimização das cargas de aquecimento e resfriamento que são processadas pelo sistema de ar-condicionado. É através da elaboração de projetos e técnicas de construção que se dá a otimização dos equipamentos e a redução da densidade da carga térmica, chegando à economia de até 40% sobre o total de consumo de energia elétrica (TODESCO, 1996).

Chvatal (2007) estudou a relação entre o aumento de isolamento térmico da envoltória de edificações e seu desempenho térmico, através de simulações no programa TRNSYS, variando parâmetros como inércia térmica e absorvância das paredes externas, sombreamento e clima. Concluiu que o isolamento térmico não proporciona economia de energia em edificações comerciais condicionadas artificialmente com alta densidade de carga interna, mas, ao contrário, pode até aumentar.

Chirarattananon *et al.* (2012) realizaram um estudo em três modelos de edificações comerciais sobre quanto do aumento progressivo da espessura de isolamento da envoltória das edificações na Tailândia, que possui clima quente e úmido, reflete na diminuição do fluxo de calor externo para o interior dos ambientes condicionados. Concluíram que as construções leves são mais indicadas e que não necessitam de isolamento. Nas paredes externas que possuem aberturas, o isolamento pode impedir que os ganhos de calor durante o dia sejam dissipados à noite.

Khakzar (2014) listou algumas vantagens e desvantagens do uso da fachada dupla. As vantagens são conforto térmico e isolamento térmico, ventilação natural,

temperaturas de superfície internas aceitáveis durante o inverno e verão, redução da necessidade resfriamento no verão, isolamento acústico, eficiência energética e redução dos impactos ambientais. As desvantagens são aquecimento no período de verão, perda de espaço útil e isolamento acústico.

2.4 Leis e Normas Brasileiras de Eficiência Energética e Desempenho Térmico e RDC 50

Os impactos provocados pelo crescimento populacional nas últimas décadas demandou um maior número de edificações e, por conseguinte, maior consumo de energia. Esse cenário levou à elaboração de normas para que soluções arquitetônicas sejam adotadas, visando ao desempenho térmico e à eficiência energética.

A primeira lei para proporcionar a eficiência energética no Brasil foi criada em 2001: a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001), que estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a). A partir dessa lei, surgiu o processo de regulamentação a fim de estabelecer parâmetros de eficiência energética para equipamentos consumidores de energia.

Em 2003 houve o lançamento do Procel-Edifica, que visa reduzir o consumo de energia nas edificações brasileiras (CARLO *et al.*, 2004). O Procel-Edifica estabeleceu seis vertentes de ação: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação da energia e educação (LAMBERTS *et al.*, 2006).

As primeiras cidades a incluir as prescrições de eficiência energética em seus códigos de obras foram Recife e Salvador (CARLO *et al.*, 2004). Em 2009 houve a aprovação do Regulamento Técnico na Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviço e públicos (INMETRO, 2010).

No Brasil, duas normas estabelecem requisitos e critérios para a avaliação do desempenho térmico de edificações habitacionais: as NBRs 15220 (ABNT, 2005) e 15575 (ABNT, 2013).

A Norma Técnica NBR 15220, Desempenho térmico de edificações, publicada em 2005, está dividida em cinco partes. A primeira é composta por definições, símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico. Na segunda parte, há os métodos de cálculo das propriedades térmicas. A terceira apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes para as habitações de interesse social. A quarta e a quinta expõem métodos para a medição da resistência e condutividade térmicas.

No que se refere à fachada e às aberturas externas, a NBR 15220, na parte 3, trata dos tipos de vedações externas para a zona bioclimática 8, recomendando que sejam leves e refletoras. Para as coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, as aberturas para a ventilação devem ocupar toda a extensão das fachadas respectivas. Ainda na parte 3, aborda as estratégias de condicionamento térmico:

A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos. O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor. (ABNT, 2005, p.10)

A NBR 15220 destina-se a edificações, não especificamente hospitais. Dessa forma, a estratégia de ventilação cruzada não é recomendada para hospitais, devido à proliferação de infecções hospitalares.

A Norma Técnica NBR 15575 (ABNT, 2013) (Edificações Habitacionais – Desempenho) foi publicada em 2008 e entrou em vigor em 2012, sendo revisada e publicada em sua versão final em 2013. Dispõe sobre requisitos mínimos de desempenho, vida útil e garantia para os sistemas que compõem as edificações. Está dividida em seis partes: requisitos gerais, sistemas estruturais, pisos internos,

sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) refere-se à fachada com relação à vida útil do material, estanqueidade, impacto de corpo mole e duro na face externa, avaliação de reação ao fogo, desempenho acústico e aberturas para ventilação. Recomenda tanto simulação computacional quanto medições *in loco* como métodos de avaliação de desempenho térmico para as condições de conforto no verão e no inverno. Também apresenta critérios mínimos de desempenho térmico de vedações verticais e cobertura, estabelecendo valores de transmitância e capacidade térmica de acordo com a zona bioclimática e recomendações sobre as aberturas, preconizando áreas mínimas de ventilação e sombreamento das janelas.

Para a verificação da adequação das paredes externas através do procedimento simplificado, a parte 4 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta requisitos de capacidade e transmitância térmica conforme a zona bioclimática em que a edificação está inserida. No caso deste trabalho, a edificação estudada está localizada na zona bioclimática 8, sendo o critério mínimo de desempenho a ser vinculado a transmitância térmica $U \leq 2,5$ (W/m².K), para $\alpha^a > 0,6$, e $U \leq 3,7$ (W/m².K), para $\alpha^a \leq 0,6$. Para a capacidade térmica (CT), não há exigência. Esclarece-se que α^a é a absortância à radiação solar da superfície externa da parede.

Para a zona bioclimática 8, as aberturas para a ventilação em dormitórios e salas, recomendadas pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), devem ser grandes. A área efetiva de ventilação (descontados montantes e perfis das esquadrias) deve corresponder a, no mínimo, 8% da área total do piso.

A parte 5 da NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos e critérios de desempenho da cobertura. Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das coberturas, para a zona 8, é $U \leq 2,3$ FV (W/m².K), para $\alpha \leq 0,4$, e $U \leq 1,5$ FV (W/m².K), para $\alpha > 0,4$. FV é o fator de ventilação.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda grandes aberturas para ventilação. No caso dos hospitais, quando possível a ventilação natural, o ideal seria a ventilação vertical, e não horizontal. Como método de avaliação de desempenho térmico, a norma explicita que para o sombreamento é necessária “a inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50 % da radiação solar direta que entraria pela janela”.

Dentre essas normas de desempenho térmico e energético não há nada específico para hospitais. A RDC - Resolução de Diretoria Colegiada - 50 (ANVISA, 2002) dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde, mas não utiliza critérios específicos para avaliações termoenergéticas.

2.5 O Contexto Climático de Maceió (AL)

A cidade de Maceió, contexto climático do objeto de estudo do presente trabalho, é caracterizada pelo clima quente e úmido; as estações se dividem basicamente em duas: inverno e verão. O verão é caracterizado por temperaturas altas e pouca pluviosidade, e o inverno, por alta pluviosidade e temperaturas mais amenas. A baixa latitude, a radiação solar intensa e a proximidade com o oceano e as lagoas caracterizam o clima de Maceió como quente e úmido. Possui temperatura média anual em torno de 25°C, alta umidade relativa média (78%), ventos predominantes de sudeste (de velocidade fraca a moderada) e condição típica do céu parcialmente nublado (BRASIL, 1992).

A ventilação natural é a mais recomendável estratégia passiva de resfriamento, dado que uma das características desse clima é que quanto maior a temperatura do ar, maior a capacidade do ar de reter vapor d'água, o que pode ocasionar desconforto térmico nos habitantes (GIVONI, 1998). A inércia alta, ou a alta capacidade de armazenar calor, tanto dificulta a retirada do calor que é retido durante o dia quanto o resfriamento à noite. As estratégias de ventilação encontradas na NBR 15575 são necessárias, na cidade de Maceió, principalmente no período do verão.

Cândido (2006) comenta que, com relação à tipologia construtiva adotada nos edifícios envidraçados de escritório em Maceió, numa amostra de 11 edifícios, a preocupação com a adequação ambiental parece não fazer parte dos projetos arquitetônicos, sendo 27% das edificações com fachada do tipo pele de vidro, que funciona como uma verdadeira estufa, sobrecarregando os sistemas de refrigeração e aumentando o consumo de energia (Figura 25).

Figura 25: Tipologia de fachada dos edifícios de escritório em Maceió/AL



Fonte: Cândido, 2006.

Na cidade de Maceió, por possuir clima quente e úmido, em algumas épocas do ano é necessário o uso de refrigeração artificial; contudo, é preciso explorar o potencial climático da cidade mediante recursos naturais que minimizem o calor e evitem desperdício de energia. A orientação norte é recomendada para a estação de verão, devido ao sombreamento nessa época do ano.

Diante desse contexto, nota-se uma situação preocupante em relação ao uso de iluminação e ventilação artificiais. As questões relacionadas à adequação climática, precisam ser consideradas pelos arquitetos e engenheiros. Utilizar esses equipamentos quando necessários, a fim de tornar os ambientes mais agradáveis, sempre pensando no consumo de energia resultante.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada, para o alcance dos objetivos propostos, foi desenvolvida a partir de diferentes procedimentos: levantamento dos hospitais de Maceió e caracterização do objeto de estudo; levantamento de dados da suíte do Hospital do Coração; simulações termoenergéticas da suíte existente e de parâmetros da fachada, COP (*Coefficient of Performance*) do ar-condicionado e cor da cobertura; cálculos do desempenho térmico - NBR 15575 e balanço térmico do ambiente exposto à fachada envidraçada; E análise dos resultados.

a) Levantamento dos hospitais existentes em Maceió e caracterização do objeto de estudo – o Hospital do Coração;

b) Levantamento de dados sobre o objeto de estudo, sua fachada frontal e ambientes expostos à mesma (suítes de internação). Características construtivas, levantamentos do padrão de ocupação, do uso de equipamentos e dos sistemas de iluminação artificial;

c) Simulações termoenergéticas através do programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015), da configuração atual e das alterações de: a) parâmetros da fachada que influenciam no desempenho térmico e energético do ambiente (suíte) exposto à mesma; b) alteração do COP (*Coefficient of Performance*) do ar-condicionado; c) alteração da cor da cobertura;

d) Cálculo do desempenho térmico considerando os procedimentos estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), através do método simplificado. Sabe-se que a NBR 15575 diz respeito a edifícios habitacionais, contudo, constitui uma referência importante para o presente trabalho, visto que, aqui são estudados ambientes de permanência (quartos);

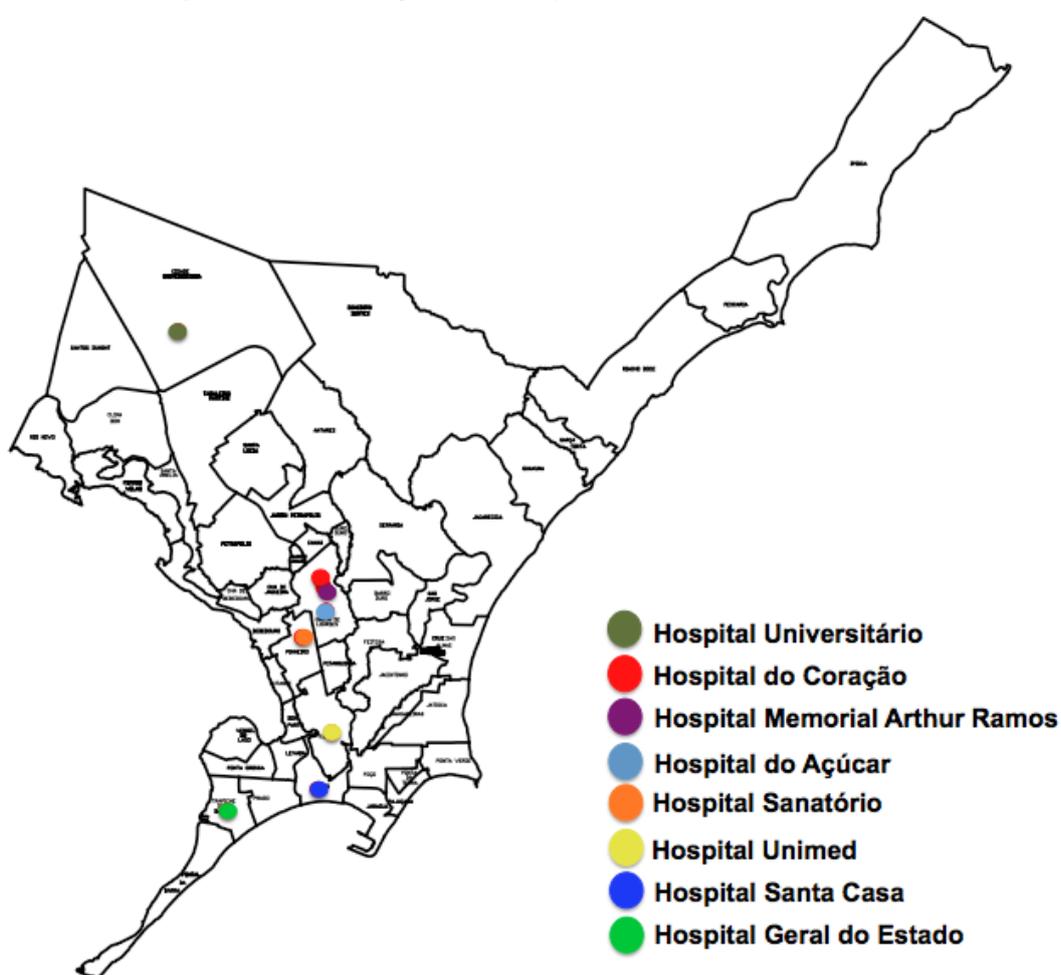
e) Cálculo do Balanço térmico do ambiente exposto à fachada envidraçada.

3.1 Levantamento dos Hospitais Existentes em Maceió e Caracterização do Objeto de Estudo

Inicialmente, foi realizado um levantamento entre os hospitais existentes na cidade, de forma a ressaltar a tipologia do hospital a ser estudado, que, dentro do

contexto de Maceió, destaca-se dos demais por possuir fachada de pele de vidro. O Hospital do Coração é um dos oito hospitais de nível terciário da cidade de Maceió. Nos hospitais de nível terciário “são tratados os casos mais complexos do sistema, atenções do nível ambulatorial, urgência e internação” (GOÉS, 2004, p.3). Os demais hospitais de grande porte em Maceió aparecem distribuídos entre os bairros do Centro, Farol, Poço, Gruta de Lourdes, Tabuleiro, Trapiche e Pinheiro (Figura 26):

Figura 26: Localização dos hospitais em Maceió



Fonte: Prefeitura de Maceió, 2000. Adaptado pela autora.

- Santa Casa de Misericórdia de Maceió: fundado em 1851 (Figura 29);
- Sanatório: começou a ser construído no ano de 1939, sendo concluído em 1946 (Figura 33);

- Hospital do Açúcar: é uma entidade filantrópica que foi instituída em 1949 (Figura 32);
- HU (Hospital Universitário): começou a ser construído no ano de 1960, sendo concluído em 1992 (Figura 27);
- Unimed³(Figura 30);
- Hospital Arthur Ramos: construído no ano de 1999 (Figura 31);
- Hospital do Coração: construído no ano de 2007 (Figura 28);
- HGE (Hospital Geral do Estado): inaugurado em 2008, surgiu da junção entre o Hospital Escola Dr. José Carneiro e a Unidade de Emergência Dr. Armando Lages, fundados em 1964 e 1979, respectivamente (Figura 34).

Figura 27: Hospital Universitário**Figura 28: Hospital do Coração**

Fonte: Autora, 2015. Fonte: Autora, 2015.

Figura 29: Santa Casa de Misericórdia**Figura 30: Hospital Unimed**

Fonte: Autora, 2015. Fonte: Autora, 2015.

³O ano da construção do edifício não foi fornecido pelo Hospital Unimed

Figura 31: Hospital Memorial Arthur Ramos



Fonte: Autora, 2015.

Figura 32: Hospital do Açúcar



Fonte: Autora, 2015.

Figura 33: Hospital Sanatório



Fonte: Autora, 2015.

Figura 34: Hospital Geral do Estado



Fonte: Autora, 2016.

O primeiro a ser construído, em 1851, foi a Santa Casa de Misericórdia de Maceió, pelo cônego João Barbosa Cordeiro. Hoje, possui mais quatro unidades de menor porte espalhadas em três bairros distintos: Centro, onde existe o primeiro prédio a ser inaugurado, Poço e Farol (SANTA CASA, 2015). O último foi o Hospital do Coração, no ano de 2007, e objeto de estudo do presente trabalho.

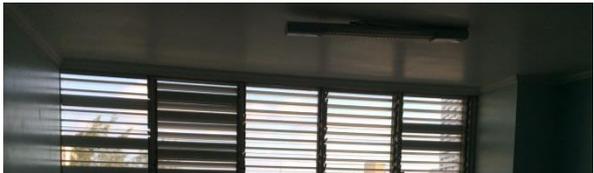
Em relação às configurações adotadas, apenas três hospitais possuem esquadrias com proteção solar externa ou corredor: Hospital Universitário, Arthur Ramos e Sanatório, mostrados nos Quadros 1, 2 e 3 a seguir.

Quadro 1: Detalhes das aberturas do Hospital Universitário

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO	
ABERTURAS	Tipo de esquadria: Maxim-ar
	Proteção solar: brises verticais externos
	Não possui ar-condicionado
	

Fonte: Autora, 2015.

Quadro 2: Detalhes das aberturas do Hospital Memorial Arthur Ramos

HOSPITAL MEMORIAL ARTHUR RAMOS	
ABERTURAS	Tipo de esquadria: veneziana
	Proteção solar: brises horizontais externos
	

Ar-condicionado individual do tipo <i>split</i>	
---	--

Fonte: Autora, 2015.

Quadro 3: Detalhes das aberturas do Sanatório

SANATÓRIO	
ABERTURAS	Tipo de esquadria: fixa
	Proteção solar: esquadria do apartamento recuada, sendo protegida pelo corredor
	Ar-condicionado individual do tipo <i>split</i>
	

Fonte: Autora, 2015.

A inadequação ambiental dos outros cinco hospitais permite a incidência direta de radiação solar no ambiente, por vezes necessárias para higienizar o ambiente, mas o excesso de exposição aquece o ambiente e sobrecarrega o sistema de refrigeração artificial. A fim de minimizar esse problema, foram instaladas persianas e películas (Quadros 4, 5, 6 e 7). Concomitantemente, o ambiente fica mais escuro, o que exige um maior tempo de utilização da iluminação artificial.

Quadro 4: Detalhes das aberturas do Hospital do Açúcar

HOSPITAL DO AÇÚCAR	
URAS	Tipo de esquadria: correr
	Proteção solar: persianas internas
	

ABERTURAS	Ar-condicionado individual de janela
-----------	--------------------------------------

Fonte: Autora, 2015.

Quadro 5: Detalhes das aberturas da Santa Casa de Misericórdia de Maceió

SANTA CASA DE MISERICÓRDIA DE MACEIÓ	
ABERTURAS	Tipo de esquadria: Maxim-ar
	Proteção solar: esquadria com persiana interna
	Ar-condicionado individual do tipo <i>split</i>
	

Fonte: Autora, 2015.

Quadro 6: Detalhes das aberturas da Unimed

UNIMED	
ABERTURAS	Tipo de esquadria: correr
	Proteção solar: esquadria com persiana interna
	Ar-condicionado individual de janela
	

Fonte: Autora, 2015.

Quadro 7: Detalhes das aberturas do Hospital do Coração.

HOSPITAL DO CORAÇÃO	
ABERTURAS	Tipo de esquadria: Maxim-ar
	Proteção solar: esquadria com película e persiana interna
	Ar-condicionado individual do tipo <i>split</i>
	

Fonte: Autora, 2015.

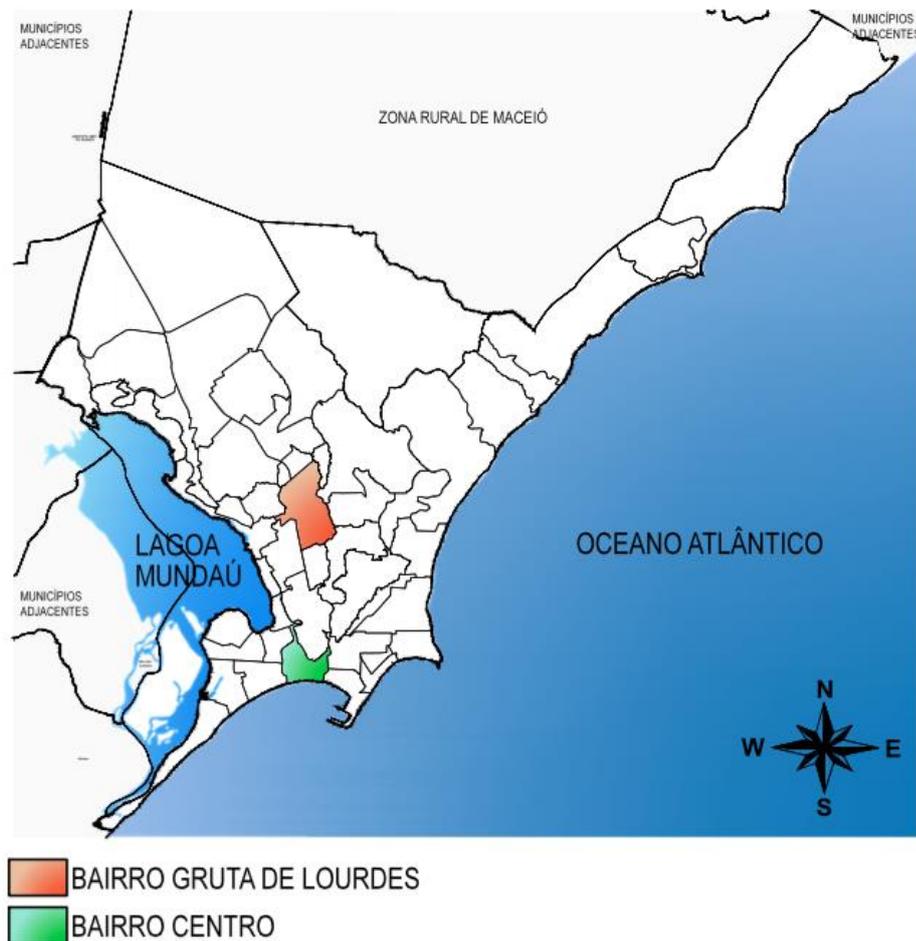
O Hospital Geral não foi analisado, pois não foi permitida a entrada para análise dos ambientes do setor de internação.

3.2 Levantamento de Dados

O levantamento consistiu na visita *in loco* do hospital em estudo e no registro das características de interesse para a avaliação do desempenho térmico e energético da suíte de internação. São elas: características construtivas, determinação do padrão de ocupação, levantamento do uso de equipamentos e sistema de iluminação artificial (Apêndice A).

O Hospital do Coração, objeto de estudo deste trabalho, está localizado na cidade de Maceió, no bairro Gruta de Lourdes, próximo à Avenida Fernandes Lima, importante via que interliga diversos bairros (Figuras 35 e 36).

Figura 35: Mapa de Maceió com destaque para os bairros do Centro e Gruta de Lourdes



Fonte: Prefeitura de Maceió, 2000. Adaptado pela autora.

Figura 36: Localização do Hospital do Coração com vias de acesso



Fonte: Prefeitura de Maceió, 2000. Adaptado pela autora.

O entorno do Hospital do Coração apresenta poucas construções e áreas verdes. O acesso ao hospital pode ser realizado pela Avenida Aryosvaldo Pereira Cintra, que liga o bairro Gruta de Lourdes ao bairro Barro Duro, ou pelo Hospital Memorial Arthur Ramos, que fica na parte posterior do Hospital do Coração (Figuras 37 e 38).

Figura 37: Entorno do Hospital do Coração (visão à esquerda do prédio).



Fonte: www.google.com/maps, acesso em: 15 nov. 2015.

Figura 38: Entorno do Hospital do Coração (visão à direita do prédio)



Fonte: www.google.com/maps, acesso em: 15 nov. 2015.

O Hospital do Coração foi inaugurado em 2007, e hoje possui 52 leitos. É o único hospital especializado em doenças cardiológicas no Estado de Alagoas. Está localizado em um terreno com 3.592,16m² e possui área construída de 3.101,40m², distribuída em três pavimentos: térreo, primeiro e segundo andar.

O pavimento térreo do Hospital abriga a recepção, área administrativa, descanso dos plantonistas, emergência e observação. O primeiro andar possui um auditório com sessenta lugares, consultórios, hemodinâmica e o hospital dia. O segundo andar comporta os apartamentos, as suítes e a hemodiálise.

A forma do edifício é retangular, com a fachada principal curva, toda em vidro (Figura 39), onde se localiza a entrada principal, marcada por uma marquise que protege a entrada e a saída dos veículos, assim como na face lateral direita, onde se encontra a entrada de emergência. As fachadas são de alvenaria, com exceção da fachada principal, que é inteiramente composta por vidro com película espelhada. A cobertura é em laje plana, constituída por uma laje nervurada.

Figura 39: Hospital do Coração – Fachada Principal



Fonte: Autora, 2015.

No interior do edifício há um mezanino no primeiro andar, que possibilita a vista de toda a recepção. No térreo, é possível observar um pequeno jardim de inverno (Figura 40).

Figura 40: Hall de entrada do Hospital do Coração



Fonte: Autora, 2015.

3.2.1 Ambiente selecionado para estudo

O ambiente selecionado foi uma das suítes do hospital que se localiza no segundo andar, conforme Figuras 41 e 42.

Figura 41: Planta baixa do terceiro pavimento do Hospital do Coração, com destaque para a suíte a ser estudada



Fonte: Hospital do Coração, 2014. Adaptado pela autora.

Figura 43: Suíte

Fonte: Autora, 2015.

Figura 44: Suíte

Fonte: Autora, 2015.

O responsável pela hotelaria e ouvidoria do Hospital do Coração, em entrevista, disse que o ar-condicionado da suíte precisa ser ligado 30 minutos antes do paciente chegar, porque o ambiente se encontra quente, sendo necessário o resfriamento para a ocupação do paciente.

3.2.2 Características construtivas das suítes

As paredes internas e externas das suítes, expostas à fachada principal do hospital, são constituídas de tijolos cerâmicos com reboco em ambas as faces, e a cobertura é composta por laje impermeabilizada do tipo colméia. Na Tabela 2 podem ser vistos os materiais utilizados nos ambientes escolhidos e suas propriedades termofísicas.

Tabela 2: Descrição das propriedades dos materiais

Elementos	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Paredes internas				
Argamassa de reboco	2,5	1,15	2000	1000
Tijolo cerâmico	9	0,9	2000	920
Argamassa de reboco	2,5	1,15	2000	1000
Laje intermediária				
Piso cerâmico	1	1,05	1600	920
Contrapiso	2	1,15	1800	1000
Laje nervurada	22,5	1,4	1700	1000
Camada de ar	Resistência térmica = 0,21 m ² .K/W			
Forro de gesso	1	0,35	1000	840
Coberta				
Laje nervurada	22,5	1,4	1700	1000
Camada de ar	Resistência térmica = 0,21 m ² .K/W			
Forro de gesso	3	0,35	1000	840
Paredes externas				
Argamassa de reboco	2,5	1,15	2000	1000
Tijolo cerâmico	9	0,9	2000	920
Argamassa de reboco	2,5	1,15	2000	1000

Fonte: ABNT, 2005.

As transmitâncias (W/m²K) obtidas para esses materiais e suas respectivas absorptâncias, referentes à radiação solar, estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades da envoltória

Transmitância térmica (W/m ² K)	Parede externa	2,47
	Cobertura	2,35
Capacidade térmica [KJ(m ² .K)]	Parede externa	152
	Cobertura	228
Absortância	Parede externa (branca)	0,2
	Cobertura (concreto)	0,70

	aparente)	
--	-----------	--

Fonte: ABNT, 2005.

3.2.3 Determinação do padrão de ocupação

Segundo Góes (2004), os hospitais americanos consideram sessenta atendimentos/dia por paciente, com alimentação, visita médica, administração de visitas etc.

A fim de analisar o padrão médio de atendimento ao paciente em quartos de internação em Maceió, foi realizado um estudo no Hospital Santa Casa de Misericórdia de Maceió, onde os dados foram obtidos com base na análise de prontuários e, posteriormente, mediante entrevistas. Foram analisados 25 prontuários, do dia 8 de outubro de 2015, que explicitam a quantidade de visitas de cada profissional ao paciente. A partir dessa relação foram realizadas entrevistas com dois profissionais – uma médica, e a outra, chefe de enfermagem –, que detalharam a permanência dos funcionários nos quartos. O levantamento foi realizado a fim de construir um padrão de uso de referência ao presente estudo. O levantamento não pôde ser realizado no Hospital do Coração, pois não houve acesso aos prontuários.

O estudo realizado na Santa Casa de Maceió mostrou que, durante um dia há, em média, 17 funcionários que visitam cada paciente. A Tabela 4 mostra quem são esses funcionários, quantas vezes eles vão até o quarto e o tempo de permanência.

Tabela 4: Padrão médio de ocupação em quartos de internação do hospital da Santa Casa de Misericórdia de Maceió

Funcionários	Quantidade de visitas	Tempo de permanência (por visita)
Médico	1	30 minutos
Enfermeiros	2	20 minutos
Técnicos de Enfermagem	3	1 hora***
Fisioterapeuta	2**	30 minutos
Nutricionista	1	10 minutos
Terapeuta Ocupacional	1	20 minutos
Fonoaudiólogo*	1	15 minutos
Funcionário do Laboratório*	1	5 minutos
Copeiras	3	5 minutos
Limpeza	2	30 minutos
Visitantes	2	1 hora

* Fonoaudiólogo e Funcionário do Laboratório não estão presentes todos os dias, nem para todos os pacientes.

** Às vezes é necessário ir três vezes.

*** Os técnicos de enfermagem passam de 20 minutos a 1 hora e 30 minutos, a depender do paciente.

Fonte: Autora, 2016.

O padrão de ocupação resultante é importante, para o presente estudo, como dado de entrada para a simulação no programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015).

3.2.4 Levantamento do uso de equipamentos

Os equipamentos existentes na suíte são: ar-condicionado, lâmpadas, frigobar, televisão e a régua de gases medicinais. Este último consiste de um aparelho médico que combina a saída de gases com um sistema elétrico e de dados, normalmente composto por tomadas, chamada de enfermagem e luminárias.

O sistema de condicionamento de ar é composto por dois aparelhos *split* de 12.000BTUs. Os aparelhos de ar-condicionado operam durante o uso do ambiente para manter a temperatura entre 20° e 25°C. O COP (*Coefficient of Performance*) do aparelho é de 2,77 W/W e a taxa de infiltração foi fixada em uma renovação de ar por hora (ANVISA, 2003). Góes (2004, p. 106) diz que “em condições naturais, o

ideal será uma temperatura de 25°C, e umidade relativa do ar em torno de 60%”, para se alcançar o conforto térmico em ambientes hospitalares.

Sobre a temperatura interna do ambiente, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) estabelece para a zona bioclimática 8, no verão, que o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor, deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, para alcançar o nível mínimo. Os valores para alcançar os níveis intermediário e superior são: valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação menos 1°C, para o nível intermediário; valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação menos 2°C; e valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, menor ou igual ao valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação mais 1°C. No inverno não se precisa atentar para esse critério. A temperatura deve ser medida em um dia típico de verão, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. O dia típico de verão para Maceió, ainda de acordo com a referida norma, tem temperatura máxima diária de 32,2°C.

O período com ocupação mais intensa na suíte estende-se das 7h às 18h. É nesse intervalo que há o maior uso dos equipamentos e iluminação, influenciando na carga interna da suíte. Isso ocorre devido ao período de trabalho dos funcionários do hospital e às visitas aos pacientes. A tabela 5, a seguir, apresenta de forma simplificada as cargas internas do ambiente.

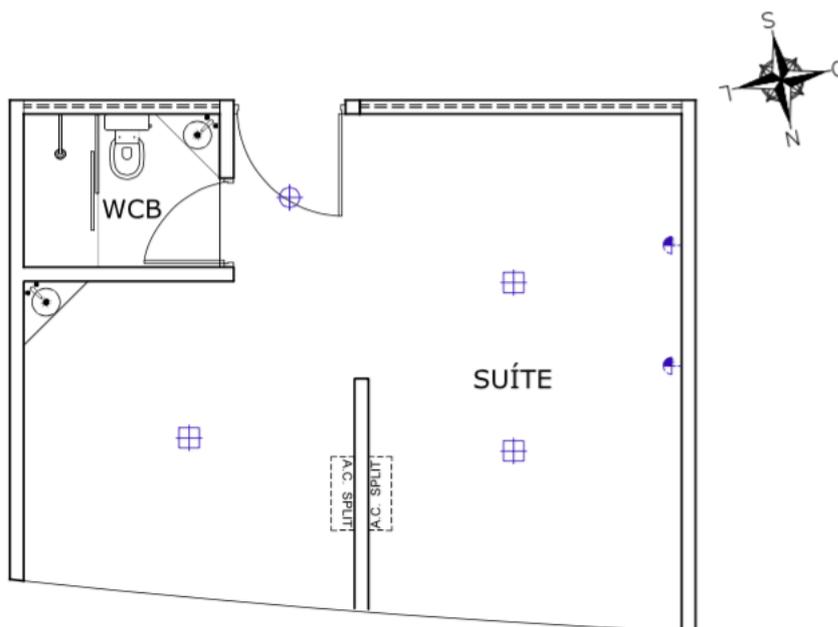
Tabela 5: Cargas internas da suíte

		Suíte
Densidade de carga interna (W)	Iluminação	230
	Equipamentos	126
Padrão de uso (horas)	Ocupação	0-24
	Iluminação	18-23
	Equipamentos	0-24
Características do sistema de condicionamento de ar	Tipo	Aparelho SPLIT
	COP (Wtérmico/Welétrico)	2,77

Fonte: PROCEL, 2015.

Para calcular a iluminação foi utilizada a planta baixa a seguir (Figura 45) com especificação das luminárias e suas respectivas potências.

Figura 45: Planta baixa e tabela com especificação das luminárias da suíte do Hospital do Coração



LEGENDA LUMINOTÉCNICA				
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA	QUANT. SUÍTE	CARGA SUÍTE
⊞	LUMINÁRIA NO TETO DE EMBUTIR	2X20W	3 UNIDADES	120W
⊕	LUMINÁRIA NO TETO DE EMBUTIR	2X15W	1 UNIDADE	30W
⤵	ARANDELA	1X40W	2 UNIDADES	80W
TOTAL				230W

Fonte: Hospital do Coração. Modificado pela autora.

3.2.5 Sistema de iluminação artificial

As suítes possuem luminárias quadradas de embutir, no tamanho de 22cmx22cm, cada uma com duas lâmpadas eletrônicas corrigidas na cor amarela e 20W de potência (por lâmpada); no corredor e banheiro, lâmpadas de 15W. Possuem borda de alumínio com pintura na cor branca. Também possuem arandelas com base de alumínio pintada em branco, difusores em vidro curvo acetinado e lâmpada com potência de 40W.

A suíte possui um total de 12 lâmpadas (seis de 20W, quatro de 15W e duas de 40W) (Tabela 6).

Tabela 6: Especificação técnica das lâmpadas utilizadas nas suítes

Código comercial OSRAM	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura de cor (K)	IRC	Vida útil (horas)
DULUXSTAR 15W/827	15	900	2.700	≥80	8.000
DULUXSTAR 20W/827	20	1.200	2.700	≥80	8.000
CLASSIC P 40 W 230 V E27	40	400	2.700	100	1.000

Fonte: OSRAM, 2014.

3.3 Simulação Computacional

Foram determinados parâmetros sobre características construtivas, padrão de ocupação, uso de equipamentos e iluminação artificial do ambiente exposto à fachada envidraçada, que foi modelado e simulado através do programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015), com o objetivo de simular diferentes parâmetros na busca por uma maior eficiência energética e conforto térmico nessas áreas de internação do Hospital do Coração.

Para o alcance dos objetivos do trabalho, foi simulado primeiramente o ambiente na situação atual (com o ar-condicionado ligado 24 horas). Em um segundo momento, foram simuladas as seguintes situações: a) alteração da especificação da janela, b) disposição de brises horizontais, c) alteração do COP (coeficiente de *performance*) do ar-condicionado, d) alteração da cor da cobertura, e) modificação do tamanho das janelas (25%, 50% e 75% da área da fachada), e, por fim, f) todas as mudanças com melhores êxitos, simultaneamente (Figura 46).

Figura 46: Organograma das simulações termoenergéticas dos ambientes (suítes) expostos à fachada envidraçada do objeto de estudo



Fonte: Autora, 2016.

O Programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015) é um *software* de simulação termoenergética e estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas do exterior com a edificação. Foi criado a partir da junção de características de dois programas, *BLAST* e *DOE-2*, e desenvolvido em conjunto com: *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories (CERL)*, *University of Illinois (UI)*, *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)*, *Oklahoma State University (OSU)*, *GARD Analytics* e *Department of Energy (DOE)*. O EnergyPlus calcula as cargas de aquecimento e refrigeração necessárias para manter a temperatura desejada, condições de sistema de ar-condicionado, de consumo de energia dos equipamentos, bem como muitos outros detalhes de simulação que são necessários para verificar que a simulação seja executada o mais próximo da realidade. (ENERGYPLUS, 2015)

É um programa computacional recomendado pela Norma Técnica NBR 15575 (ABNT, 2013) como ferramenta de avaliação do desempenho térmico para as condições de conforto no verão e no inverno de edificações habitacionais.

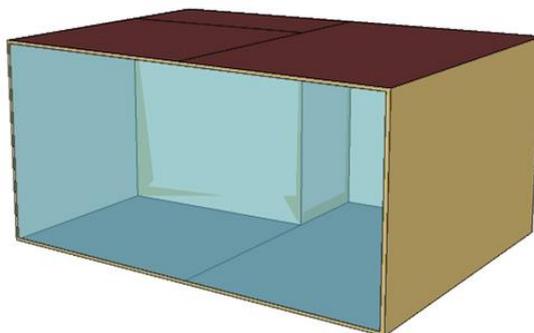
O modelo da suíte foi avaliado na orientação norte. No programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015) foi adotado o padrão médio de ocupação a partir do procedimento escrito no item 3.2.3.

Para alcançar os resultados é preciso inserir dados como características do edifício, do clima local, dados do sistema de iluminação e ar-condicionado, cargas térmicas e dados de padrão de uso.

A taxa metabólica dos usuários utilizada foi de 117W, que corresponde a um indivíduo sentado, com trabalho manual leve, ou em pé, fazendo uma caminhada casual (ISO 8996, 1990). Para a escolha desse valor foram consideradas as posições do paciente, acompanhante e funcionários.

A Figura 47 ilustrada a seguir representa o modelo computacional da situação atual da suíte, objeto de estudo deste trabalho.

Figura 47: Modelo representativo da fachada da suíte, na situação atual, com destaque para a fachada externa



Fonte: Autora, 2016.

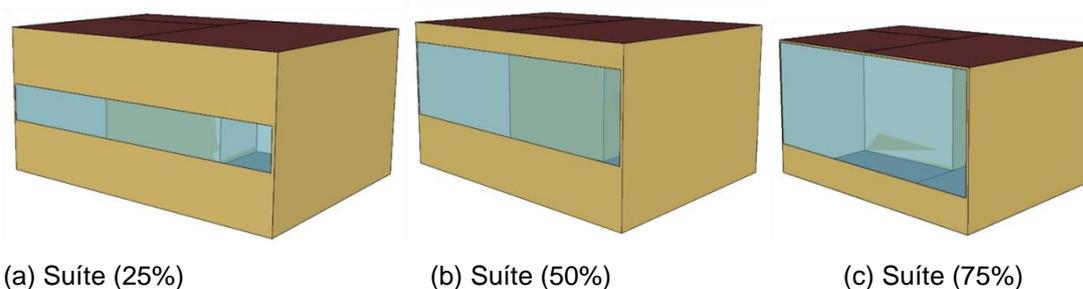
3.3.1 Tamanho da janela

Foram estabelecidos tamanhos de aberturas para a análise do consumo de energia em relação à dimensão das janelas, a fim de constatar se esses percentuais de abertura podem comprometer a eficiência da envoltória.

Foram simulados casos com PAF (Percentual de Área de Abertura na Fachada) igual a 0,25, 0,50 e 0,75, ou seja, a área da janela corresponde, respectivamente, a 25%, 50% e 75% da área da parede. Foi simulado também o ambiente em sua configuração atual.

Na suíte, foi adotada uma largura de 6,95m (equivalente à largura total da janela), variando-se apenas a altura da esquadria (0,85m, 1,70m e 2,55m – letras a, b, c, respectivamente) (Figura 48).

Figura 48: Modelos representativos da fachada da suíte, com variações da janela com 25%, 50% e 75% da área da parede

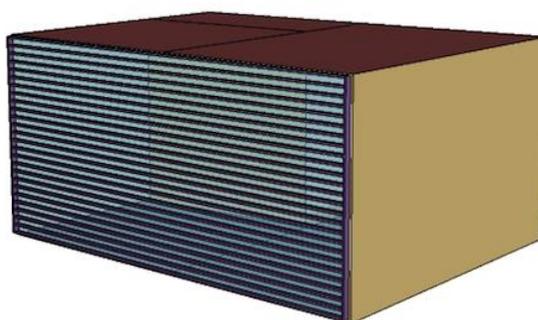


Fonte: Autora, 2016.

3.3.2 Proteção solar

Para a análise da proteção solar, foram simulados dois casos: sem elementos de proteção (como se encontra hoje no local) e com brises horizontais. Os brises sugeridos possuem espessura de 3cm, profundidade de 10cm e espaçamento entre eles de 10cm (Figura 49).

Figura 49: Modelo representativo da fachada da suíte com brises horizontais



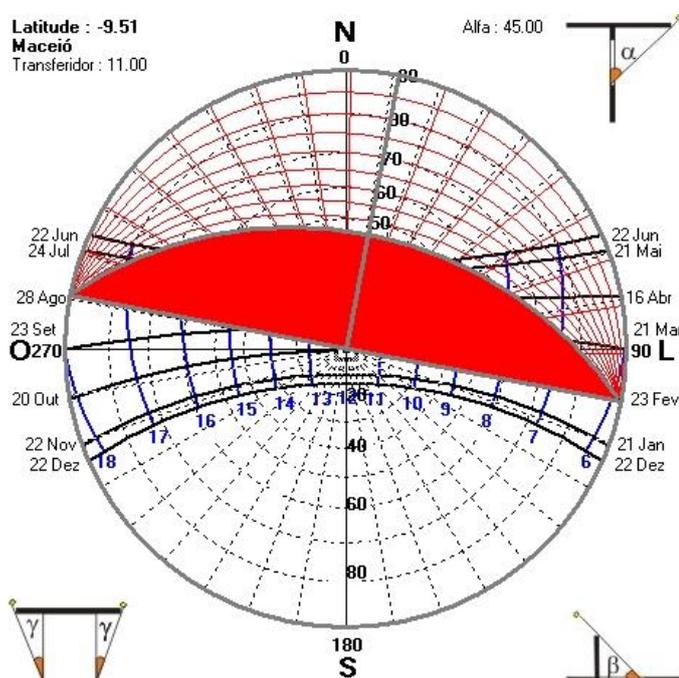
Fonte: Autora, 2016.

O tamanho do brise e a distância entre eles foram escolhidos a partir do estudo da máscara de sombra com a carta solar (Figura 50). É possível perceber que com os brises na maior parte do ano a fachada se encontra sombreada, com sol apenas no período da manhã nos meses de março a junho.

Os brises foram definidos a partir da máscara de sombra definida através do programa Analysis SOL-AR, que permite a obtenção da carta solar, auxiliando no projeto de proteções solares (LABEEE, 2016).

O estudo da máscara de sombra mostrou que no período de verão o ambiente encontra-se protegido da radiação solar direta, e no período de inverno o brise protege a esquadria de 10h às 16h30 (Figura 51).

Figura 50: Máscara de sombra da suíte do Hospital do Coração



Fonte: Autora, 2016.

3.3.3 Especificações das configurações das janelas

A janela da suíte, exposta à fachada principal do hospital, possui vidro com espessura de 10mm, película verde e fator solar⁴ de 0,284 (WINDOWS 7, 2015).

Juntamente com a janela existente, foram avaliadas quatro tipos de janelas, a existente e mais três tipos de janelas com configurações distintas. A primeira é a situação atual. A segunda, com fator solar de 0,671 (mesmo vidro da situação atual, porém sem película); a terceira com fator solar de 0,526, que equivale a dois vidros

⁴Fator solar é a razão entre o ganho de calor que entra no ambiente através da abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura (INMETRO, 2010).

com lâmina incolor de 6mm e camada de ar de 12mm entre eles; e a quarta com fator solar de 0,234, que equivale a dois vidros de 6mm e camada de ar de 12mm entre eles, sendo o primeiro vidro com película refletiva verde. As propriedades da janela da situação atual (REFLECTA SOL GREEN 10mm (SAINT GOBAIN) - com película verde) e o segundo avaliado por simulação computacional (COOL LIGHT ST 16710mm (SAINT GLOBAIN) - sem película), foram retiradas da biblioteca do programa Windows 7 (WINDOWS 7, 2015) e as propriedades do terceiro e quarto vidros (COOL-LITE ST 167 6mm (SAINT GLOBAIN) + AR (12mm) + COOL-LITE ST 167 6mm (SAINT GLOBAIN) - sem película e REFLECTA SOL GREEN 6mm (SAINT GOBAIN)+ AR (12mm) + COOL-LITE ST 167 6mm (SAINT GLOBAIN) - com película) foram calculadas no mesmo programa, acrescentando-se a camada de ar entre os vidros (Tabela 7).

Tabela 7: Propriedades das janelas das situações simuladas

Janela	Espessura (mm)	Fator Solar	Solar			Visível			Transmitância U (W/m ² K)
			Trans.	Reflet. (frente)	Reflet. (atrás)	Trans.	Reflet. (frente)	Reflet. (atrás)	
REFLECTA SOL GREEN 10mm (SAINT GOBAIN) - com película verde	10	0,284	0,122	0,362	0,111	0,218	0,533	0,252	5,66
COOL LIGHT ST 16710mm (SAINT GLOBAIN) - sem película	10	0,671	0,593	0,152	0,127	0,654	0,187	0,182	5,66
COOL-LITE ST 167 6mm (SAINT GLOBAIN) + AR (12mm) + COOL-LITE ST 167 6mm (SAINT GLOBAIN) - sem película	6 + 12 (ar) +6	0,526	0,398	0,215	0,186	0,452	0,271	0,269	2,678
REFLECTA SOL GREEN 6mm (SAINT GOBAIN)+ AR (12mm) + COOL-LITE ST 167 6mm (SAINT GLOBAIN) - com película	6 + 12 (ar) +6	0,234	0,133	0,371	0,196	0,180	0,547	0,335	2,678

Fonte: WINDOWS 7, 2015.

3.3.4 Alteração do COP do ar-condicionado

COP (*Coefficient Of Performance*) é o coeficiente de desempenho e indica a eficiência do sistema. Assim, quanto maior, mais eficiente será o sistema. Avalia a relação entre a capacidade de refrigeração obtida e o gasto de energia para alcançá-la (ASHRAE, 2007).

O COP encontrado no aparelho de ar-condicionado da suíte do Hospital do Coração foi 2,77 W/W. O recomendado pelo INMETRO (2014) para classificação classe A é de, no mínimo, 3,23 W/W. Será adotado o mínimo estabelecido pelo INMETRO para análise e comparação com o COP encontrado atualmente no ar-condicionado da suíte.

Foram realizadas duas simulações, uma utilizando o COP atual e outra com o COP encontrado na tabela do INMETRO, como coeficiente de eficiência energética mínimo para ser classificado como classe A. A temperatura selecionada foi 25° (GÓES, 2004).

3.3.5 Alteração da cor da cobertura

A cobertura corresponde à cor concreto aparente. A proposta é pintar a cobertura de branco, que possui absorvância de 0,20, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005).

3.3.6 Arquivo climático

As simulações no programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015) foram realizadas com o uso de um arquivo de dados climáticos do tipo TRY (*Test Reference Year*). Os arquivos climáticos TRY baseiam-se num banco de dados climáticos que resultam num ano de referência relativo ao clima local, considerado como típico de cada localidade (DIDONÉ, 2009).

Neste trabalho, foi adotado como dado de entrada o arquivo climático TRY de referência para a cidade de Maceió/AL (LabEEE, 2015).

3.4 Cálculo do Desempenho Térmico Considerando os Procedimentos Estabelecidos na NBR 15575, através do Método Simplificado

O cálculo do desempenho térmico foi realizado considerando os procedimentos estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), através do método simplificado, avaliando-se as características técnicas dos fechamentos verticais e cobertura. Na avaliação da vedação é utilizada a NBR 15575-4, que avalia a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes externas e área de abertura para ventilação. E na NBR 15575-5 avalia a cobertura a partir da transmitância térmica (ABNT, 2013).

3.5 Cálculo do Balanço Térmico

Foram analisados os ganhos e as perdas de calor baseados no cálculo do balanço térmico que considera o fluxo de calor por convecção entre as temperaturas internas de cada superfície com a temperatura do ambiente no qual está inserida (LAMBERTS; MELO, 2008). O balanço térmico considerou as superfícies da envoltória (cobertura, paredes, piso e janela), o sistema de iluminação artificial, pessoas, infiltração, equipamentos e ar-condicionado.

Para a análise dos ganhos e perdas de calor através do método do balanço térmico, foi necessário solicitar as variáveis referentes ao modelo analisado, conforme a seguinte equação 1:

$$\left[\left(\begin{array}{l} \text{Superfícies opacas} + \text{Janelas} + \text{Equipamentos} + \\ \text{Pessoas} + \text{Iluminação} + \text{Ganhos Infiltração} \end{array} \right) - \text{Perdas Infiltração} \right] \quad (1)$$

= Carga térmica do sistema de condicionamento de ar

Com o resultado do balanço térmico, foi possível analisar o ganho e a perda de calor em cada superfície, pessoas, iluminação, equipamentos, infiltração e ar-condicionado na situação real e nos casos estudados, sendo possível verificar a influência dos componentes da envoltória e ar-condicionado para a eficiência

energética da suíte, assim como a influência dos novos elementos. Os dados para o cálculo do balanço térmico foram obtidos através das simulações no programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015).

Com os cenários avaliados, os resultados sugerem diretrizes para a adequação climática do caso estudado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

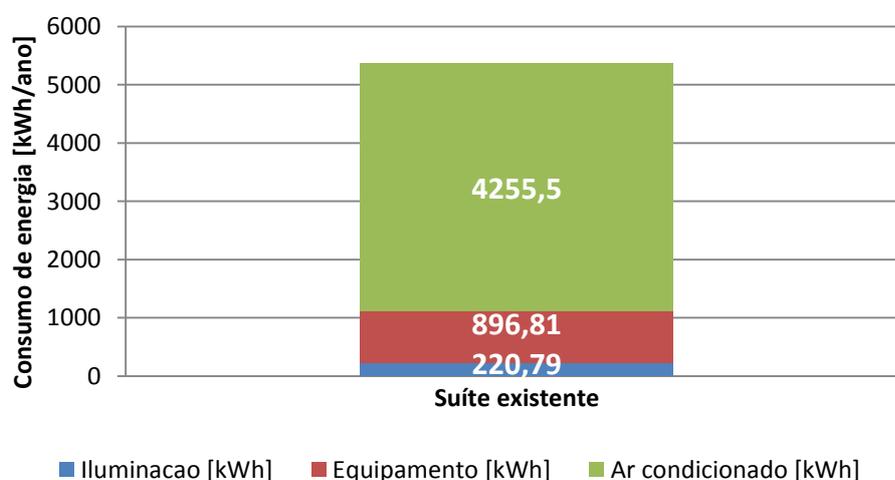
Os resultados obtidos a partir do cumprimento das etapas metodológicas descritas no Capítulo 3 são apresentados nesse capítulo, são eles: análise do desempenho térmico e energético através do programa EnergyPlus da configuração atual e das alterações de parâmetros da fachada, do COP do ar-condicionado e da cor da cobertura⁵; análise do desempenho térmico através da NBR 15575; análise do balanço térmico.

4.1 Análise do Desempenho Térmico e Energético da Situação Atual e de Alterações da Fachada, do COP do Ar-Condicionado e da Cor da Coberta

4.1.1 Análise da situação atual

Os resultados obtidos com a simulação computacional realizada com os parâmetros atuais da suíte, com esquadria correspondente a 100% da área da parede, sem proteção solar, janela com vidro com espessura de 10mm, película verde e fator solar de 0,284 e COP de 2,77 W/W, está apresentado na Figura 51.

Figura 51: Consumo de energia com iluminação, equipamentos e ar-condicionado



Fonte: Autora, 2016.

⁵Para a análise não será considerada a potência instalada da régua de gases.

De acordo com a Figura 51, o consumo total da suíte foi de 5373,1 kWh/ano, sendo 79% concernente ao ar-condicionado, 17% a equipamentos e 4% a iluminação.

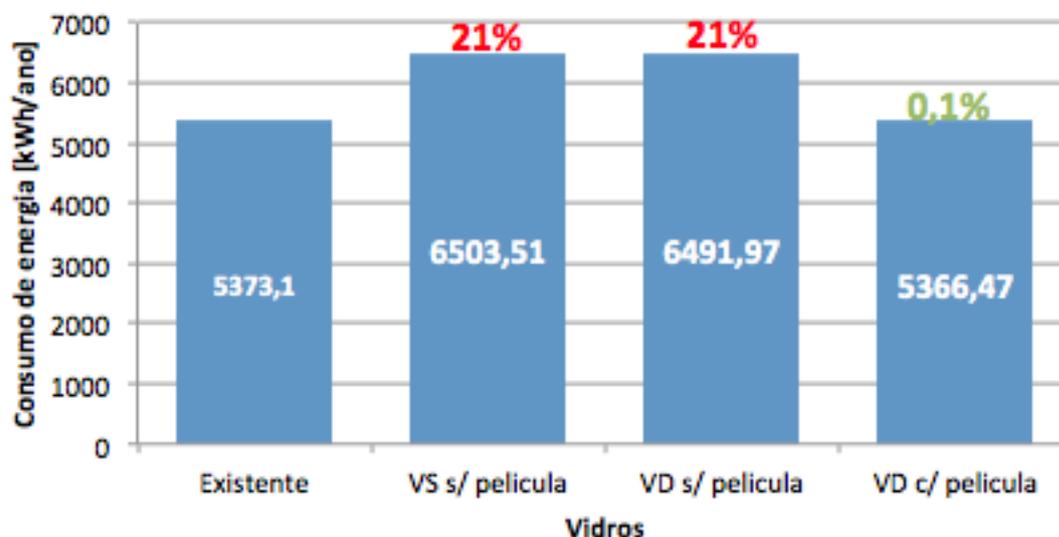
4.1.2 Análise das simulações termoenergéticas

Esse tópico apresenta os resultados das simulações da situação atual, com alterações nos parâmetros da fachada, COP do ar-condicionado e cor da coberta.

4.1.2.1 Análise das janelas

A Figura 52 apresenta a suíte com diferentes configurações de janelas comparadas a situação atual. É possível ver a influência das janelas no consumo de energia.

Figura 52: Consumo de energia variando o tipo de janela



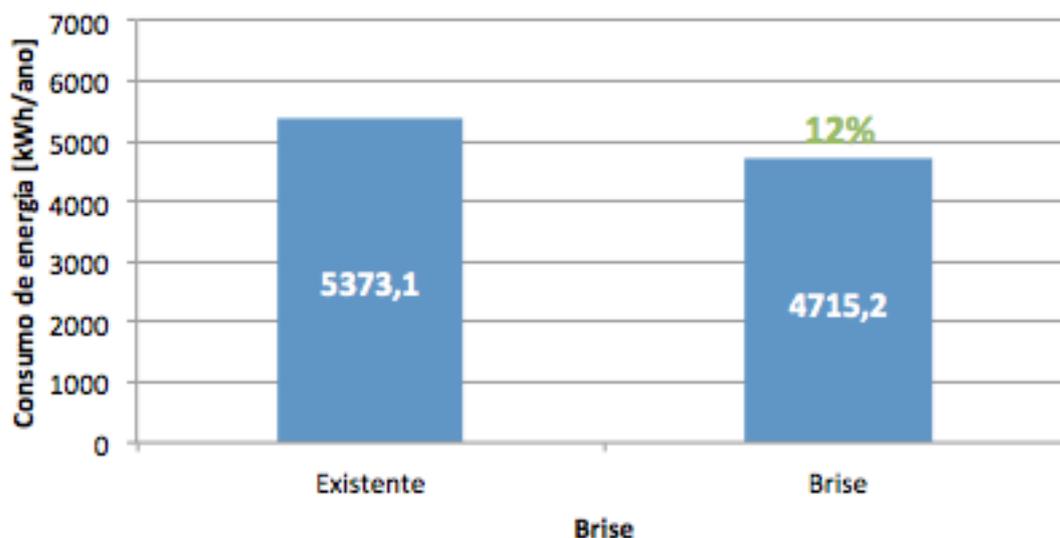
Fonte: Autora, 2016.

As janelas propostas apresentaram um desempenho muito inferior ao existente, no caso das janelas com vidros simples (10mm) e duplo sem película, e um valor muito similar, no caso da janela com vidro duplo com camada de ar e película, com uma diminuição de apenas 6,63kWh/ano. Houve um aumento de 1130,41 kWh/ano e 1118,87 kWh/ano nas duas primeiras propostas, respectivamente, o que equivale a um consumo 21% maior de energia por ano.

4.1.2.2 Análise dos brises

A Figura 53 apresenta a suíte com brises na horizontal protegendo a janela da incidência direta de radiação solar.

Figura 53: Consumo de energia na situação existente e com a inserção de brise



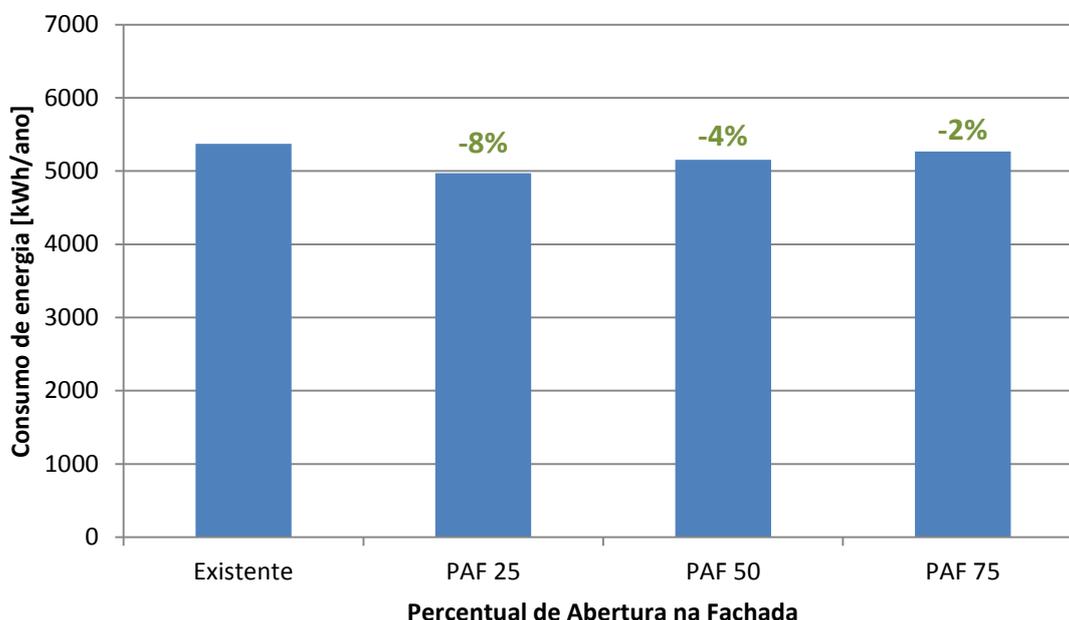
Fonte: Autora, 2016.

Quanto mais sombreada for a abertura, maior a redução da carga térmica. A ausência de brises e, por conseguinte, de sombreamento nas aberturas da suíte, contribui para o aumento no consumo de energia do edifício. No caso específico, houve uma redução de 12%, que equivale a 657,9kWh/ano no consumo de energia.

4.1.2.3 Análise do percentual de abertura da fachada

A Figura 54 apresenta o resultado da substituição de abertura da fachada de 23,63m², equivalente a 100% do vão, para 5,90m², 25% do vão, 11,81m², 50% do vão e 17,72m², 75% do vão.

Figura 54: Consumo de energia com diferentes tamanhos de esquadrias



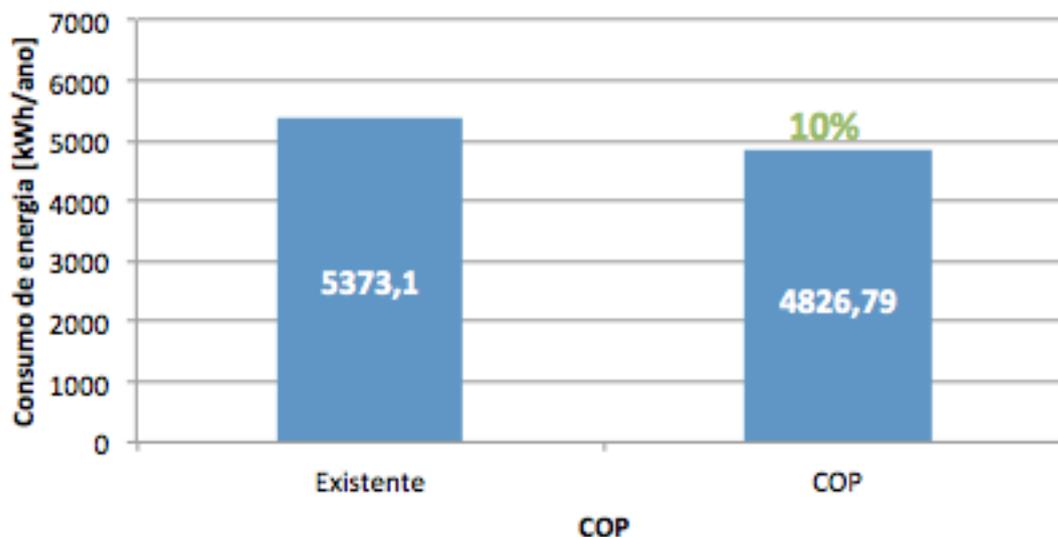
Fonte: Autora, 2016.

Ao comparar as três situações propostas, observa-se que houve um acréscimo no consumo de energia com o aumento da porcentagem da janela na fachada. Isto é, a situação atual, onde a janela ocupa 100% da área da fachada, é a solução menos indicada devido o maior consumo de energia. É necessário utilizar mais ar-condicionado para resfriar o ambiente.

Como o indicador de consumo é decrescente com a diminuição da área de aberturas, na simulação em que o PAF é de 25% houve uma diminuição de 8% no consumo de energia; já com o PAF de 50% houve uma redução de 4%; e com PAF de 75%, uma redução de 2%, se comparado a situação existente.

4.1.2.4 Análise do COP do ar-condicionado

O consumo de energia com ar-condicionado representa 79% do total no caso da suíte em estudo, restando 17% do consumo com equipamentos e 4% com iluminação. Diante desse resultado, foi simulado o ambiente alterando o COP do ar-condicionado (Figura 55) de 2,77 W/W para 3,23 W/W, que corresponde ao mínimo recomendado pelo INMETRO (2014) para classificação classe A.

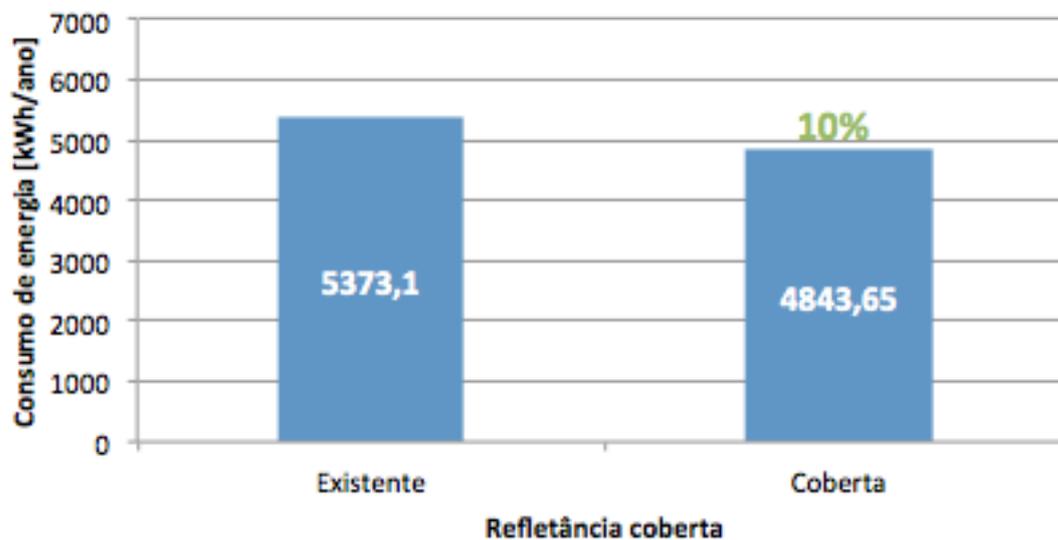
Figura 55: Consumo de energia alterando o COP do ar-condicionado

Fonte: Autora, 2016.

Alterando o COP do ar-condicionado houve uma redução de 5373,1 kWh/ano para 4826,79 kWh/ano, o que representa 10% no consumo de energia. Um aparelho mais eficiente, portanto, pode representar uma redução importante no consumo de energia do ambiente.

4.1.2.5 Análise do cobertura

No cálculo de desempenho térmico recomendado pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para a zona bioclimática 8, a cobertura apresentou valores maiores que o permitido para a transmitância. À vista disso, optou-se por simular a cobertura na cor branca, que possui absorvância menor que a cor concreto aparente (Figura 56).

Figura 56: Consumo de energia alterando a cor da cobertura

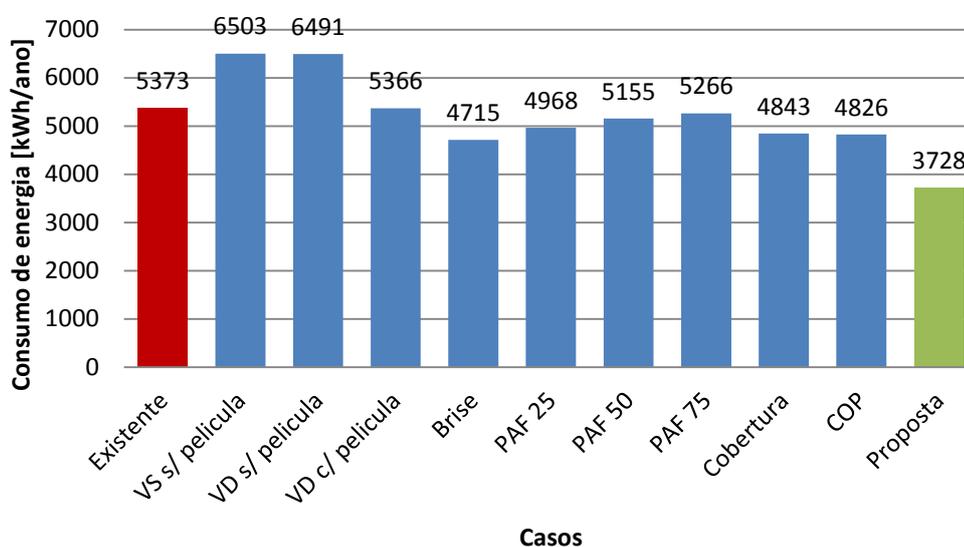
Fonte: Autora, 2016.

O resultado dessa alteração na cor da cobertura foi uma redução no consumo de energia de 5373,1 kWh/ano para 4843,65 kWh/ano, o que representa uma economia de 10% no consumo de energia do ambiente.

4.1.3 Síntese das análise

A Figura 57 mostra comparativamente o consumo anual de energia em cada cenário simulado, na qual pode-se observar a influência individual dos parâmetros da fachada, do COP e da cor da cobertura no consumo de energia.

Figura 57: Consumo de energia por cenário simulado



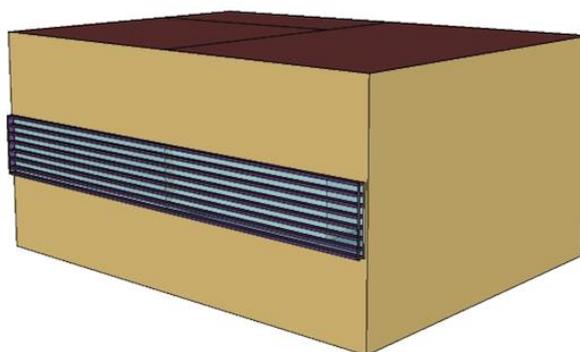
Fonte: Autora, 2016.

Dentre as simulações com alterações nos parâmetros da fachada, COP do ar-condicionado e cor da cobertura, as únicas que apresentam aumento do consumo de energia com ar-condicionado, em relação à atual, foram as simulações com a substituição das janelas existentes por vidro simples sem película e vidro duplo sem película, com um aumento de 21% no consumo de ar-condicionado nas duas simulações. Os brises propostos aparecem como a alteração de maior influência na eficiência energética do ambiente, com uma diminuição de 12% no consumo de energia com ar-condicionado. A segunda alteração de maior influência na eficiência energética do ambiente foi o COP do ar-condicionado, com redução de 10% no consumo de energia com ar-condicionado. O terceiro foi a cobertura, também com redução de 10% no consumo de energia. O quarto, quinto e sexto foram as janelas com PAF de 25%, 50% e 75%, com reduções de 8%, 4% e 2%, respectivamente. A janela com vidro duplo com película apresentou resultado similar ao do vidro existente.

Das simulações realizadas, foram escolhidas as que obtiveram maior êxito com a redução do consumo de energia com ar-condicionado, e criado um modelo para simulação. Optou-se por utilizar a janela composta por vidro duplo com preenchimento de ar e película refletiva verde, esquadria com PAF de 25%, COP de

3,23 WW, brise horizontal e cobertura pintada na cor branca (Figura 58).

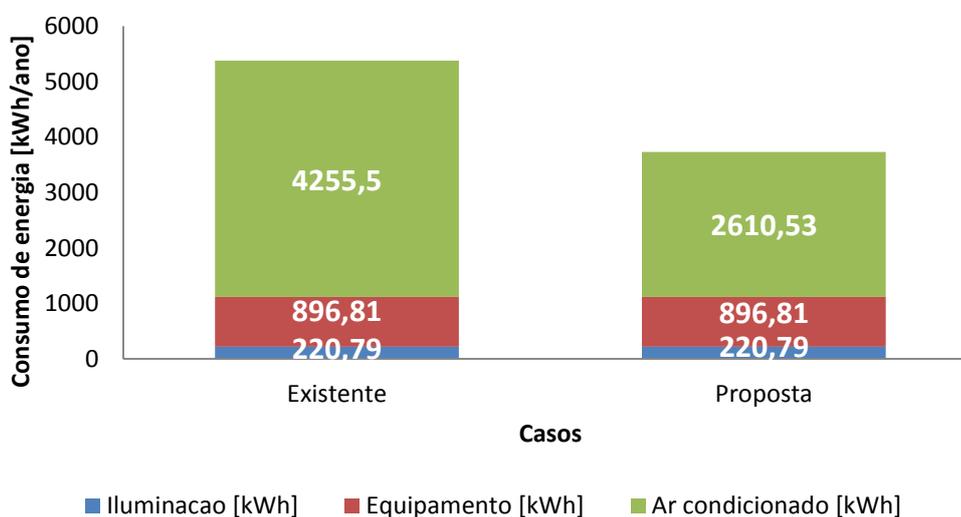
Figura 58: Modelo representativo da fachada da suíte com as simulações com melhores resultados



Fonte: Autora, 2016.

O resultado foi uma diminuição de 1.645 kWh/ano por suíte, o que corresponde a 31% de redução no consumo de energia com ar-condicionado (Figura 59).

Figura 59: Consumo de energia na situação existente e na proposta



Fonte: Autora, 2016.

4.2 Cálculo do Desempenho Térmico através da NBR 15575

A análise do desempenho térmico do ambiente estudado foi realizada considerando os procedimentos estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), através do método simplificado, avaliando-se as características técnicas dos fechamentos

verticais e cobertura.

A parede externa tem absorvância de 0,2 (ABNT, 2005) e a transmitância térmica de 2,47 W/m²K (ABNT, 2005). Assim, de acordo com a análise simplificada dos fechamentos verticais, a edificação atende aos critérios mínimos de desempenho térmico.

As aberturas para ventilação devem apresentar grandes dimensões a fim de proporcionar a ventilação interna dos ambientes, conforme recomendação da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) (Tabela 8).

Tabela 8: Áreas de ventilação e piso da suíte do Hospital do Coração

AMBIENTE	ÁREA DO PISO	ÁREA DE VENTILAÇÃO	
		EXISTENTE	NBR 15575-4
SUÍTE	33,33m ²	7,75 m ²	2,66 m ²

Fonte: Autora, 2016.

Com base nos dados da tabela 8, é possível concluir que a abertura de ventilação atende aos critérios mínimos de desempenho definidos na NBR 15575-4 (ABNT 2013).

Analisando o desempenho da cobertura, os valores máximos admissíveis para a zona bioclimática 8, de acordo com a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), é $U \leq 2,3$ FV (W/m²K), para $\alpha \leq 0,4$, e $U \leq 1,5$ FV (W/m²K), para $\alpha > 0,4$. Os valores encontrados na suíte são: absorvância de 0,70 (ABNT, 2005) e transmitância térmica de 2,35 W/m²K (ABNT, 2005). Nesse caso, o valor da transmitância é maior que a exigida pela norma NBR 15575-5 (ABNT, 2013).

A norma 15575-4 (ABNT, 2013) recomenda grandes aberturas, a fim de proporcionar ventilação, mas isso implica em um ganho de calor. Isso foi constatado nas simulações, que apresentou melhores resultados de eficiência energética para os casos onde a janela ocupava um menor percentual da parede. Grandes vãos

proporcionam mais ventilação e iluminação naturais, mas conduzem a maior passagem do fluxo de calor.

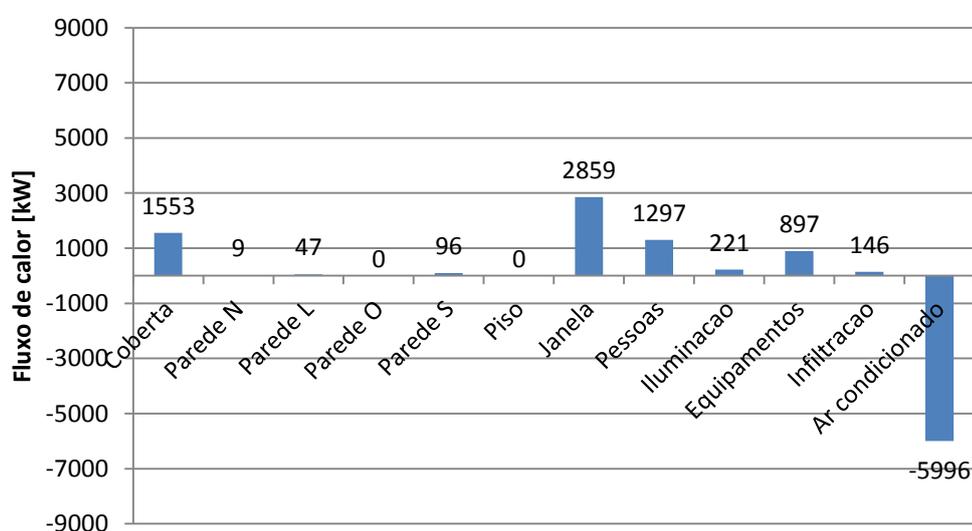
4.3 Cálculo e Análise do Balanço Térmico do Ambiente Estudado

O balanço térmico da suíte foi calculado pelo programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015), a partir dos ganhos e perdas de calor por cada superfície da suíte, assim como os ganhos por convecção referentes a pessoas, equipamentos e iluminação.

4.3.1 Análise da situação atual

Os resultados obtidos com o balanço térmico da situação existente, que consiste na esquadria correspondente a 100% da área da parede, sem proteção solar, janela com vidro com espessura de 10mm, película verde e fator solar de 0,284 e COP de 2,77 W/W, está apresentado na Figura 60.

Figura 60: Balanço térmico da situação existente



Fonte: Autora, 2016.

O balanço térmico da situação existente atribui o maior ganho de calor à janela de vidro de 10mm com película refletiva verde, de 2859kW. O segundo maior

ganho de calor está relacionado à cobertura, com 1553kW. Para manter a temperatura desejada, há um consumo maior de energia com ar-condicionado.

O balanço térmico permitiu identificar por onde aconteceu os maiores ganhos de calor das superfícies. No caso estudo, a janela é responsável pelo maior ganho de calor, devido aos materiais utilizados e também pela localização do ambiente em estudo, que está situado entre duas suítes, o que favorece um menor fluxo de calor pelas paredes laterais e pela parede voltada para o corredor.

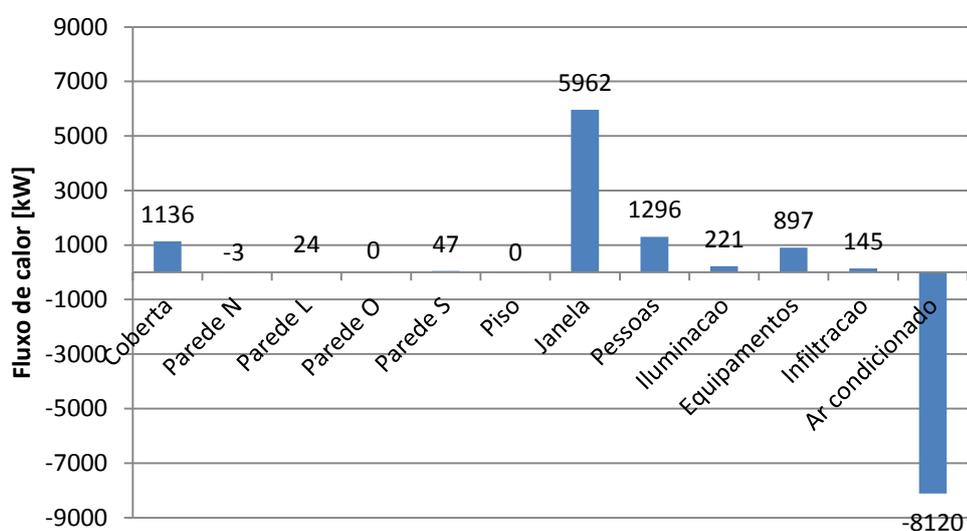
4.3.2 Análise do balanço térmico das situações propostas

Esse tópico apresenta os resultados do balanço térmico das propostas com alterações nos parâmetros da fachada, COP do ar-condicionado e cor da cobertura.

4.3.2.1 Análise do Balanço térmico com a substituição das janelas

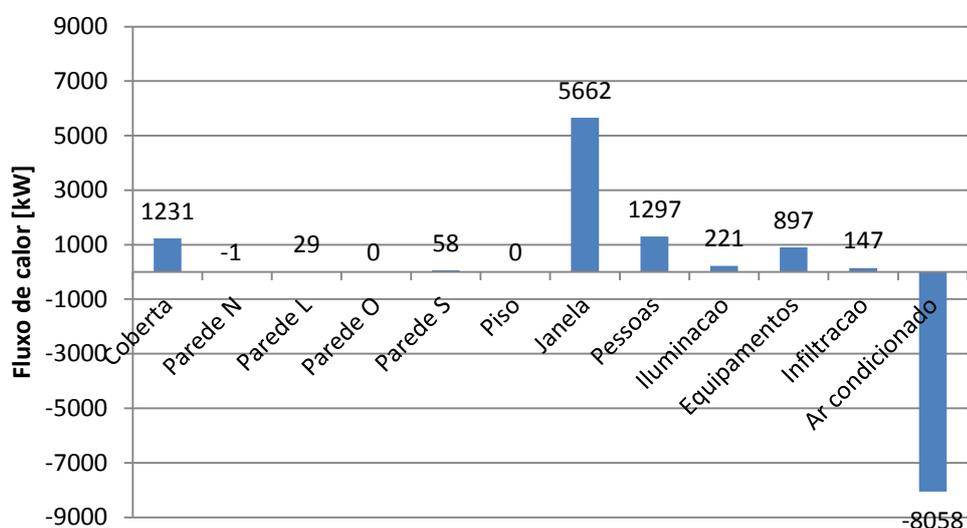
O primeiro balanço térmico está representado nas Figuras 61, 62 e 63. É o resultado da alteração das janelas para vidros de 10mm sem película, vidro duplo sem película e vidro duplo com película, respectivamente.

Figura 61: Balanço térmico da suíte alterando a janela para vidro de 10mm sem película



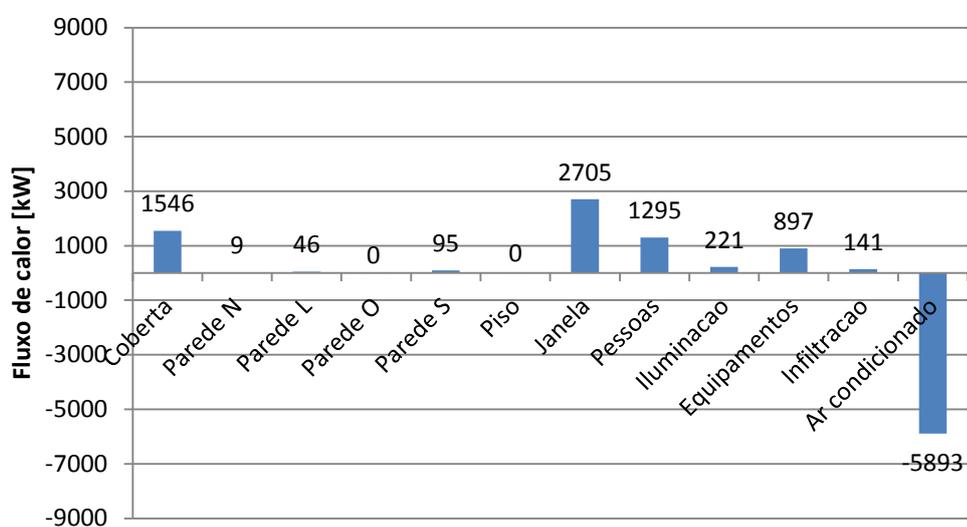
Fonte: Autora, 2016.

Figura 62: Balanço térmico da suíte alterando a janela para vidro duplo sem película



Fonte: Autora, 2016.

Figura 63: Balanço térmico da suíte alterando a janela para vidro duplo com película



Fonte: Autora, 2016.

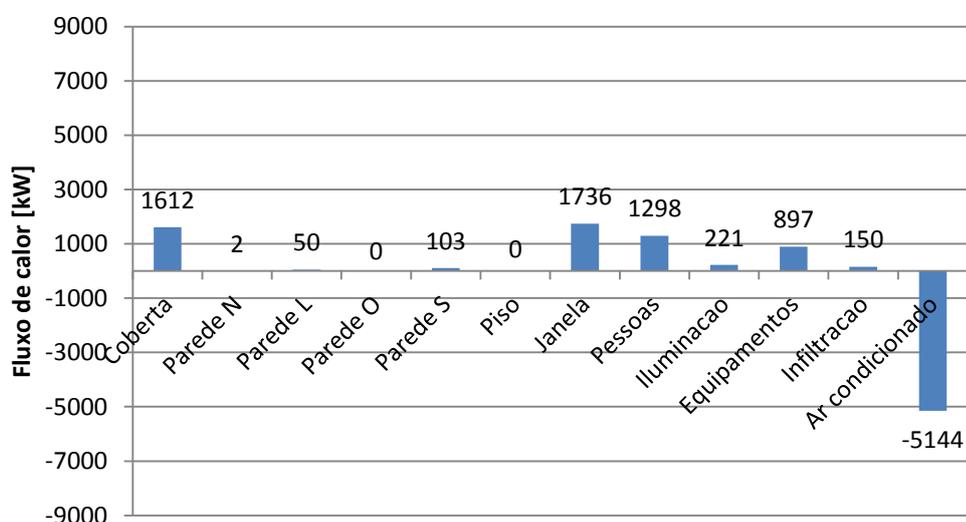
Nas Figuras 61 e 62, com as mudanças das janelas para vidro de 10mm sem película e vidro duplo sem película, houve um ganho de calor de 5962kW e 5662kW, respectivamente. Já na Figura 63, com a mudança da janela para vidro duplo com película, o ganho de calor foi de 2705kW, similar ao existente de 2859kW. Pode-se observar que quanto mais o ambiente ganha calor, como nas Figuras 61 e 62, mais

o sistema de condicionamento de ar funciona retirando o calor excedente do ambiente, o que gera um aumento no consumo de energia.

4.3.2.2 Análise do Balanço térmico com a inserção de brises horizontais

A eficiência dos brises na diminuição do fluxo de calor para dentro da suíte, pode ser comprovada no balanço térmico da Figura 64.

Figura 64: Balanço térmico da suíte com brise



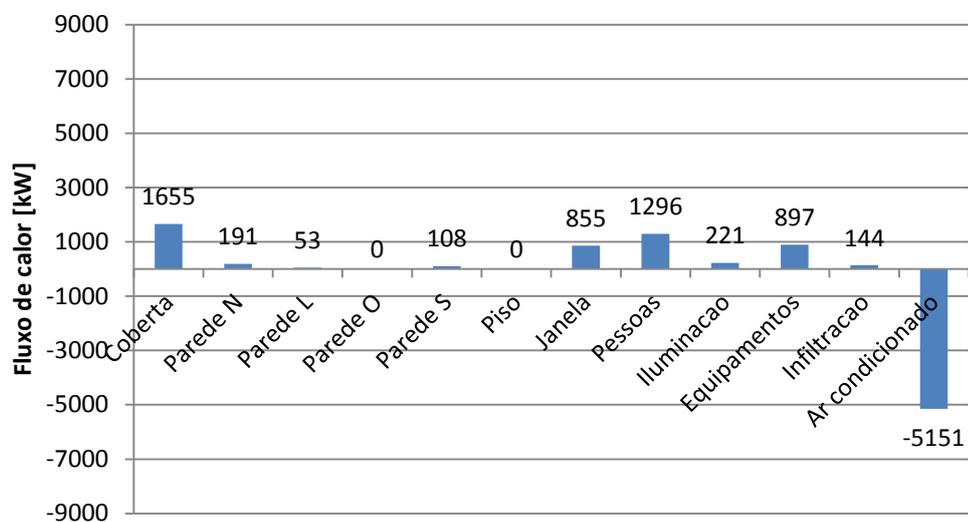
Fonte: Autora, 2016.

Nesse caso, onde houve o sombreamento da fachada da suíte com os brises, foi o que obteve melhores resultados no balanço térmico. O fluxo de calor reduziu de 2859kW para 1736kW, diminuindo o consumo de energia.

4.3.2.3 Análise do Balanço térmico com a substituição do percentual de abertura da fachada

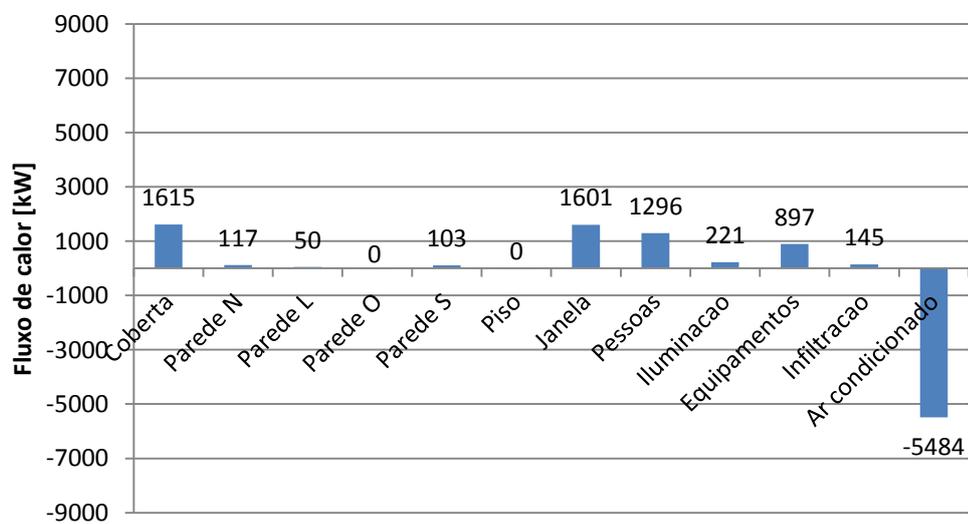
As Figuras 65, 66 e 67 apresentam o balanço térmico alterando as configurações de janelas para PAF de 25%, 50% e 75%. É possível ver a influência do PAF no fluxo de calor que adentra a suíte.

Figura 65: Balanço térmico da suíte alterando para janela com PAF de 25%



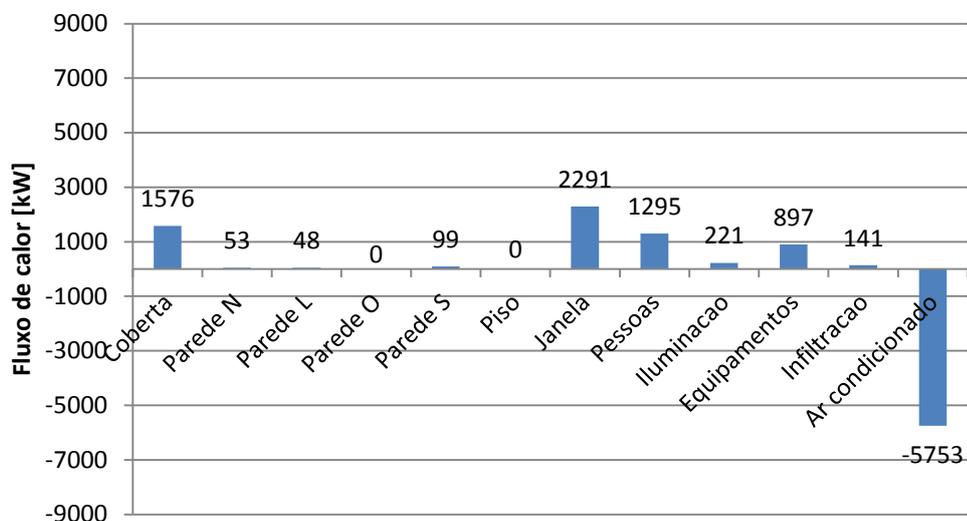
Fonte: Autora, 2016.

Figura 66: Balanço térmico da suíte alterando para janela com PAF de 50%



Fonte: Autora, 2016.

Figura 67: Balanço térmico da suíte alterando para janela com PAF de 75%



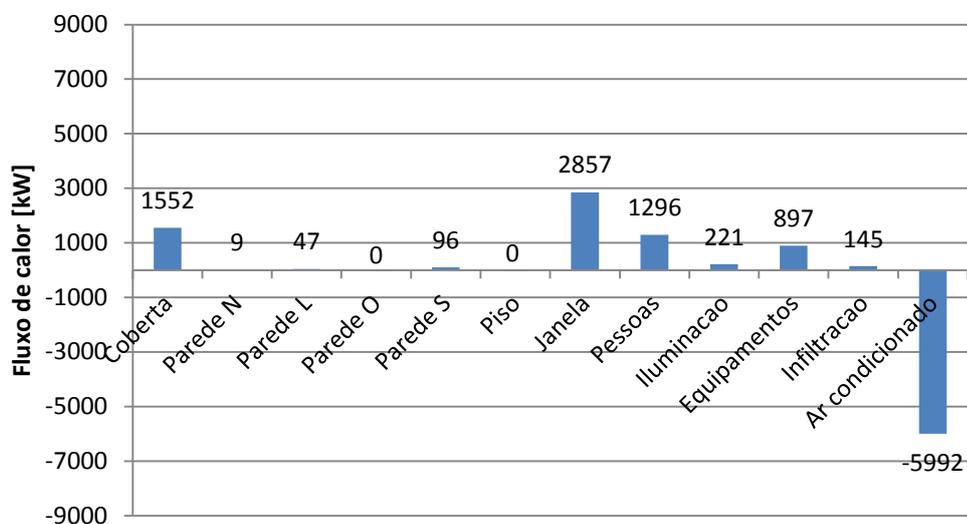
Fonte: Autora, 2016.

No balanço térmico em que há substituição do PAF da janela de 100% para 25%, 50% e 75%, há a diminuição de 2004kW, 1258kW e 568kW, respectivamente. Consequentemente aumenta a eficiência do ar-condicionado, a medida que o PAF é menor.

4.3.2.4 Análise do Balanço térmico com a substituição do COP

A Figura 68 apresenta o balanço térmico da suíte alterando o COP do ar-condicionado de 2,77 W/W para 3,23 W/W.

Figura 68: Balanço térmico da suíte alterando o COP



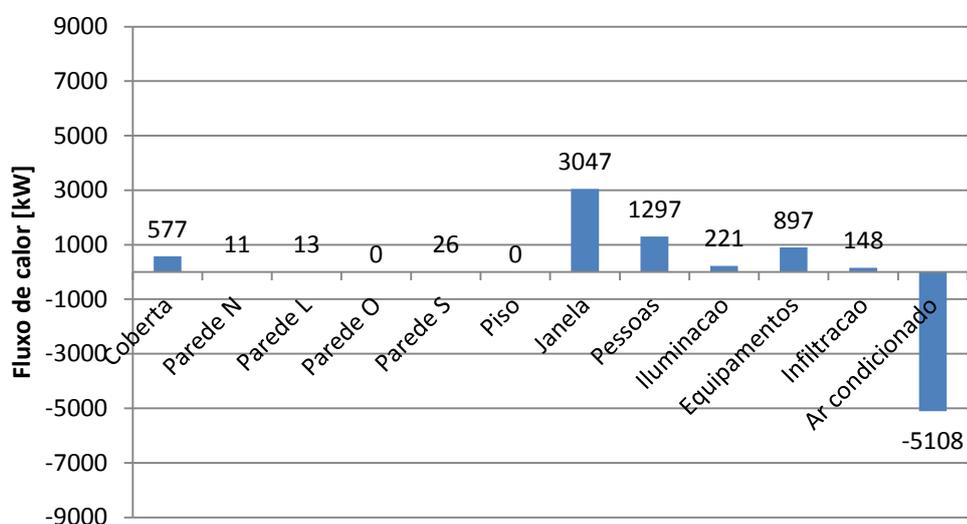
Fonte: Autora, 2016.

O balanço térmico permaneceu igual à situação atual, uma vez que o ganho de calor das superfícies manteve-se o mesmo. A eficiência energética aumentou, pois com a alteração do COP para um mais eficiente, há menos consumo de energia do ar-condicionado.

4.3.2.5 Análise do Balanço térmico com a alteração da cor da cobertura

A cor da cobertura foi alterada de cinza para branco. A Figura 69 apresenta os resultados do balanço térmico com a cor proposta.

Figura 69: Balanço térmico da suíte alterando a cor da cobertura



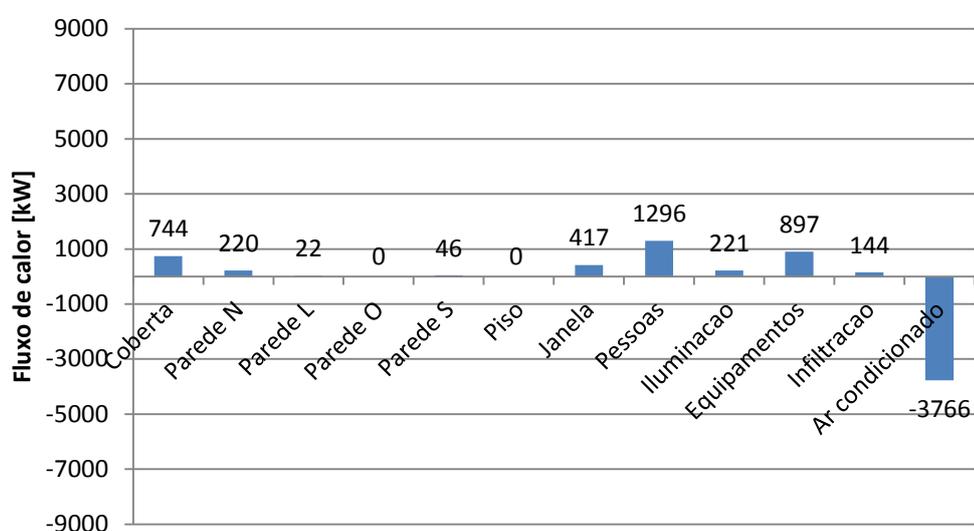
Fonte: Autora, 2016.

A mudança de cor da cobertura para branco diminuiu o fluxo de calor de 1.553kW para 577kW, uma redução de 976kW, o que resultou em uma diminuição de 889kW do ar-condicionado. Menor fluxo de calor adentrando através da cobertura no ambiente, maior eficiência do ar-condicionado em 37%, considerando apenas a cobertura.

4.3.3 Síntese das análises

A Figura 70 mostra comparativamente o fluxo de calor em cada superfície, pessoas, equipamentos, infiltração e ar-condicionado.

Figura 70: Balanço térmico da proposta



Fonte: Autora, 2016.

Observa-se que houve um menor ganho de calor pelas paredes internas e externas das suítes e janelas expostas à fachada principal do hospital, e também pela cobertura. Isso implica em uma redução do ar-condicionado de 2230kW, se comparado à situação atual que é de 5996kW, reduzindo energia e aumentando a eficiência energética do ambiente.

Tendo em vista o exposto, para o estudo de caso proposto os maiores benefícios observados quanto à diminuição da carga necessária para arrefecimento do ar na suíte são decorrentes da alteração conjunta de: colocação de proteção solar na envoltória, da substituição por branco na cor da cobertura, da alteração do COP do ar-condicionado e da redução da área envidraçada da fachada da edificação para PAF de 25%. A substituição da janela com vidro simples com película refletiva verde (situação atual) para janela com vidro duplo com camada de ar e película refletiva verde apresentou resultado similar, com uma diminuição de apenas 6,63kWh/ano. Já as outras duas janelas compostas por vidros – simples sem película e duplo com camada de ar sem película – apresentaram resultado 21% inferior à janela atual.

Nesse sentido, para o modelo em análise, a alternativa de projeto que apresenta melhor desempenho térmico e eficiência energética é a proposta, na qual contempla as análises que apresetaram melhor desempenho termoenergético. Isso

resultou em 31% de redução na carga necessária para arrefecimento do ar na suíte.

Dentre os melhores resultados obtidos com a simulação computacional, o brise aparece como a solução para conservação de energia de maior relevância. Quanto mais sombreadas forem as aberturas, maior o nível de eficiência atingido.

O percentual de abertura na fachada aparece como segundo fator de maior influência na eficiência energética da envoltória. Quanto maior o percentual de abertura, menor tende a ser o nível de eficiência da envoltória. A orientação das fachadas também é importante para dimensionar o tamanho das aberturas.

As janelas, neste estudo, apresentaram menor influência no aumento da eficiência da envoltória, ou seja, em duas situações propostas simuladas aparecem com desempenho 21% inferior à janela atual, não sendo recomendando a substituição delas.

A utilização da janela adequada para o projeto pode elevar o nível de eficiência de um edifício, principalmente se utilizado concomitantemente com as demais estratégias mencionadas. Na suíte, a janela existente apresentou resultado melhor que as duas primeiras propostas, janela com vidro simples sem película e janela com vidro duplo sem película, em 1130,41kWh/ano e 1118,87 kWh/ano, que corresponde a 21%. As janelas com película da situação atual e da situação proposta, foram as que apresentaram melhores resultados e são mais eficientes energeticamente que as janelas propostas sem película.

5 CONCLUSÕES

Há uma discussão frequente acerca do desempenho térmico e energético das edificações. A depender do clima local e da época do ano, o uso do ar- condicionado é indispensável para retirar o excesso de calor. A exemplo disso, tem-se o balanço térmico realizado da suíte do Hospital do Coração, que demonstra que algumas alternativas de projeto influenciam no conforto do ambiente, sendo indicado o uso do ar-condicionado, como explicitado em entrevista com o responsável pela hotelaria e ouvidoria do Hospital do Coração.

Os resultados obtidos a partir das simulações realizadas para o presente trabalho demonstram que mesmo em situações desta natureza, edificações hospitalares, um projeto arquitetônico que aproveite os meios disponíveis para reduzir os ganhos de calor através da envoltória certamente contribuirá para reduzir o consumo energético do sistema de climatização artificial. Em lugares mais quentes, ou em projetos com orientações da edificação distintas, esses meios podem ser ainda mais eficazes.

A utilização do programa EnergyPlus 8.3 (DOE, 2015) para as simulações computacionais permitiu que diferentes situações fossem analisadas e comparadas, contribuindo para definir estratégias de projeto mais adequadas, diminuindo o ganho de calor, melhorando a eficiência energética e economizando energia elétrica com o ar- condicionado.

As reduções de carga de arrefecimento alcançadas, as quais chegam a 31%, são significativas e indicam a justificativa e importância da adoção de medidas de projeto tais como aquelas apresentadas. Resultados ainda mais significativos poderão ser alcançados caso as estratégias de redução da carga térmica dos ambientes forem consideradas desde as primeiras etapas de projeto.

O estudo realizado permitiu constatar ainda que materiais amplamente utilizados como meios de redução das temperaturas do ar interno nem sempre apresentam o efeito esperado. É o caso do vidro duplo com camada de ar e película, cuja adoção resultou em uma melhoria de apenas 0,1% no consumo de energia,

para o caso estudado. Assim, reforça-se a ideia de que é indispensável testar, comparar e avaliar as diversas opções disponíveis, antes da sua efetiva inclusão na edificação.

O uso de aparelhos mais eficientes, como no caso do ar-condicionado da suíte em estudo, contribui para economia de energia. Foi constatado na simulação computacional que há uma redução de 10% do consumo de energia da simulação com o COP de 3,23 W, comparado ao COP da situação atual de 2,77 W.

Em muitos casos, estudos e medidas simples podem implicar uma redução significativa do consumo de energia. A utilização de elementos para sombrear as aberturas, os materiais, o clima e o entorno são fundamentais na busca de melhores níveis de desempenho térmico e energético. A redução do uso dos sistemas de refrigeração mecânica é a consequência das variáveis quando pensadas conjuntamente.

É necessário, portanto, que planejadores especializados na área hospitalar reconheçam a importância do conforto dos usuários e incorporem soluções adequadas proporcionando aos seus usuários conforto físico e psicológico.

O estudo proposto surge como um alerta para que soluções arquitetônicas de edificações hospitalares sejam adotadas, empregando técnicas de projeto e estratégias bioclimáticas, a fim de tornar o ambiente mais eficiente energeticamente.

5.1 Dificuldades e limitações do trabalho

No desenvolvimento dessa dissertação surgiram dificuldades no que se refere a normas específicas para estabelecimentos de saúde, com relação ao desempenho térmico e energético. A RDC 50 (ANVISA, 2002) apesar de abordar condições de conforto, no que tange ao conforto térmico não utiliza critérios específicos para avaliações termoenergéticas. E as normas NBR 15575 e 15220 não falam especificamente de hospitais.

Outro aspecto limitador é o uso do ar-condicionado em tempo integral, nas suítes do Hospital do Coração, quando há ocupação, o que impossibilitou a verificação das condições térmicas internas do ambiente durante o período de análise.

Há uma escassez de trabalhos que abordem o estudo da fachada em hospitais situados em clima quente e úmido.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para um entendimento mais abrangente do desempenho térmico e energético de hospitais, os seguintes estudos são sugeridos:

- Ampliar o escopo da presente investigação, analisando o desempenho de tipologias distintas, como outros tipos de envoltórias e janelas;
- Analisar outros ambientes do hospital, quanto ao desempenho térmico e energético;
- Avaliar o impacto dos ganhos de calor no conforto térmico dos usuários de hospitais;
- Analisar as fachadas de hospitais em outros contextos climáticos, com exigências diferentes.

REFERÊNCIAS

ADAMU, Z.A.; PRICE, A.D.F.; COOK, M.J. **Performance evaluation of natural ventilation strategies for hospital wards e a case study of Great Ormond Street Hospital**. London: Elsevier, 2012.

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

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. 2003.

ARCHDAILY. Rey Juan Carlos Hospital. 2012. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/238728/rej-juan-carlos-hospital-rafael-de-la-hoz>>. Acesso em: 10 out. 2015.

ARCHDAILY. Sabacute Hospital of Mollet. 2014. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/477799/subacute-hospital-of-mollet-mario-corea-arquitectura>>. Acesso em: 2 nov. 2015.

ARCHDAILY. New Lady Cilento Children's Hospital. 2015. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/595827/new-lady-cilento-children-s-hospital-lyons-conrad-gargett>>. Acesso em: 2 nov. 2015.

ASHRAE. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, 2007.

ASHRAE. Advanced energy design guide for small hospitals and healthcare facilities. Achieving 30% energy saving toward a net zero energy. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Condition Engineers. USA: ASHRAE. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220**: Norma de Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **ABNT NBR 15220-1**: Norma de Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **ABNT NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

AUSTRÁLIA. **Clima da cidade de Brisbane**. 2015. Disponível em: <www.australia.com> Acesso em: 2 nov. 2015.

BANHAM, R. **La arquitectura del entorno bien climatizado**. Buenos Aires: Infinito, 1979.

BARDELIN, C. E. A. **Os efeitos do Racionamento de Energia Elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no Consumo de energia elétrica**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BITENCOURT, Fábio. **Arquitetura**: Ambiente de nascer. Reflexões e recomendações projetuais de arquitetura e conforto ambiental. Rio de Janeiro: Rio Books, 2008.

BITTENCOURT, Leonardo S. Clima e Repertório Arquitetônico. In: **Projetar 2003 – I Seminário Nacional sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura**, 2003, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 2003.

BRANDÃO, Helena Câmara Lacer. Artigo técnico: construção, meio ambiente e energia. **Revista do CREA RJ**, n. 47, nov./dez. de 2004.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia. **Normas climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, p.84, 1992.

BRASIL. Decreto no 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/decreto4059.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

BRASIL. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex:** Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 9 out. 2015.

CÂNDIDO, C. M., **Ventilação natural e Códigos de obras:** uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió/AL. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2006.

CARAM DE ASSIS, R.M.**Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações.** 1998.165p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 1998.

CARLO, J.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife. In: **ENTAC**, 2004. Disponível em <www.labee.ufsc.br>. Acesso em 15 jan. 2015.

CHIRARATTANANON S.; HIEN, V. D.; TUMMU, P. Thermal performance and cost effectiveness of wall insulation under Thai climate. **ELSEVIER**, 2012. Disponível em 22 fev. 2016.

CHVATAL, K. **Relação entre o Nível de Isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios e o Potencial de Sobreaquecimento no Verão.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Engineering Sciences, Université de Porto, Porto, 2007.

DIDONÉ, E. L.. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC.**2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Florianópolis, 2009.

DOE – DEPARTMENT OF ENERGY.**EnergyPlus.** v. 8.3. 2015.

DOYLE, D. Energy-efficient HVAC for labs in hot, humid climates. **Laboratory Designer**, p. 12 – 16, jul./aug. de 2015. Disponível em: <<http://www.labdesignnews.com/articles/2015/08/energy-efficient-hvac-labs-hot-humid-climates>>. Acesso em: 22 out. 2015.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Mercado de Energia Elétrica 2006-2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2005.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. **Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis**: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v10n2/a04.pdf?>>. Acesso em: 17 jun. 2015.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GHISI, E.; TINKER, J. A. An Ideal Window Area Concept for Energy Efficient Integration of Daylight and Artificial Light in Buildings. **Building and Environment**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 51-61, 2005.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. **Climate considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GÓES, Ronald de. **Manual prático de arquitetura hospitalar**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

_____. **Manual prático de arquitetura hospitalar**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2014.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção; UFSC, 1998.

GOULART, Solange V. G. AET N° 03/04 – **Levantamento da experiência internacional**: Experiência nos Estados Unidos. Relatório LabEEE – 200508. 2005. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 19 set. 2016.

HITCHCOCK, Henry Russell. **Modern Architecture**: Romanticism and Reintegration. Nova York: Payson and Clarke, 1929.

ILLUMINATION ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **IES Lighting Handbook**. New York. IESNA. 1981.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Aprova a revisão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ). **Anexo**. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf> Acesso em: 22 out. 2016.

INMETRO. Instituto Nacional de metrologia, qualidade e tecnologia. Portaria nº 50, de 28 de janeiro de 2014. **Anexo V**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/>> Acesso em: 22 out. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 8996**. Ergonomics – Determination of the metabolic heat production. International Standard, First Edition. Geneve, Switzerland, 1990.

KHAKZAR, Golrokh. **Evaluation of facade performance, in terms of thermal comfort for health center building, EMU**. 2014. Dissertation (Master of Science in Architecture) – Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus, 2014.

KHODAKARAMI, Jamal; KNIGHT, Ian. Measured thermal comfort conditions in Iranian hospitals for patients and staff. **HVAC&R RESEARCH**, mar. 2008.

KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos**

Climáticos. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Programa Computacional **Sol-AR**, Versão: 6.2. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/software/analysisSOLAR.htm>. Acesso em: 19 out. 2016.

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

LAMBERTS, R.; GOULART, S.; CARLO, J.; WESTPHAL, F. Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência de edifícios comerciais e públicos. **11º Congresso Brasileiro de Ciências Térmicas e Engenharia**, 5 a 8 de dez. Curitiba, Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/encit/2006/arquivos/Invited%20Speakers/CIT06-0104.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2015.

LAMBERTS R.; MELO A. **O método do balanço térmico através de simulação computacional no programa Energyplus.** LabEEE, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>> Acesso em: 22 ago. 2016.

LANHAM, A.; GAMA, P.; BRAZ, R. **Arquitetura Bioclimática: perspectivas de inovação e futuro.** Seminários de Inovação. Portugal, 2004.

LATORRACA, G. **João Filgueiras Lima, Lelé.** São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardij, Lisboa: Blau, 1999.

LUKIANCHUKI, M. A. **A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé:** Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. USP: São Carlos, São Paulo, 2010.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – PPGE. Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

MALKIN, Jain. **Hospital interior architecture**: creating healing environments for special patient populations. New York: John Wiley, 1992.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. Adequação bioclimática na arquitetura de Mato Grosso do Sul. In: **VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações – VII ENCAC e III COTEDI**. Curitiba, Paraná, 2003. p. 136-143.

MIQUELIM, L.C. **Anatomia dos edifícios hospitalares**. São Paulo: Cedas, 1992.

MOUSAVI, S. A.; ALIBABA, H. Z. A state of art for using Double skin facade in hot climate. In: **4th International Conference on Environmental, Energy and Biotechnology**, Volume 85 of IPCBEE (2015). Eastern Mediterranean University, 2015.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OSRAM. Catálogo Geral 2014. Disponível em: <<http://www.osram.com.br/media/resource/HIRES/349938/catalogo-geral-2014---lampadas-fluorescentes-compactas.pdf>>. Acesso em: 9 out. 2015.

OSRAM. Lâmpadas incandescentes. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/produtos/lampadas/lampadas-incandescentes/classic/classic-p/index.jsp>. Acesso em: 7 nov. 2015.

PECCIN, Adriana. **Iluminação hospitalar. Estudo de caso**: espaços de internação e recuperação. 2002. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PERÉN, J. I. M. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima "Lelé"**: estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energyconsumption information. **Energy and Buildings**, v.40, p. 394-398, 2008.

PETERMANN, L.; MENCHACA, A.; LOVE, A. **Glazing design and thermal comfort: It's more than being cool.** 2014. Disponível em: <<http://www.labdesignnews.com/articles/2014/08/glazing-design-and-thermal-comfort-its-more-being-cool>>. Acesso em: 5 nov. 2015.

PETERMANN, L. **The new frontier in glazing: Room-side low-e coatings?** 2015. Disponível em: <<http://www.labdesignnews.com/articles/2015/10/new-frontier-glazing-room-side-low-e-coatings>>. Acesso em: 5 nov. 2015.

PHILIPS. Centro de Projetos e Engenharia de Iluminação. **Manual de Iluminação.** 3. ed. Eindhoven: PHILIPS, 1986.

POIRAZIS H. **Single and Double Skin Glazed Office Buildings: Analyses of Energy Use and Indoor Climate.** Sweden: Division of Energy and Building Design, 2008. Disponível em: <http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Bok-EBD-R3-G5_alt_2_Harris.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.

PREFEITURA DE MACEIÓ. **Base Cartográfica de Maceió.** Maceió, 2000.

PREFEITURA DE MACEIÓ. **Bairro Gruta de Lourdes.** Maceió, 2000.

PROCEL/INFO. **Programa nacional de conservação de energia elétrica: áreas de atuação – edificações.** 2015. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 5 out. 2015.

RIBEIRO, G. P. (2004). **Conforto Ambiental e Sustentabilidade na Obra de João da Gama Filgueiras Lima (Lelé): Os Hospitais da Rede SARAH.** 2004. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.

ROMERO, M.A. O peso das decisões arquitetônicas no consumo de energia elétrica em edifícios de escritórios. In: NUTAU' 1998, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo: 1998.

RORIZ, M. **Zona de conforto térmico: um estudo comparativo de diferentes abordagens.** 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

SAMPAIO, Ana Virginia Carvalhaes de Faria. **Arquitetura hospitalar**: projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade; proposta de um instrumento de avaliação. 2005. 402f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANTA CASA. Hospital Santa Casa de Misericórdia de Maceió. Disponível em: <www.santacasademaceio.com.br>. Acesso em: 5 out. 2015.

SOMFY. Disponível em: <http://www.somfy.com.sg/downloads/sea/development_of_bioclimatic_facade.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

TALEB, H. M. **Simulation Study on the Heat Transfer by Improving the Skin of Hospital Buildings in the UAE**. Faculty of Engineering. British University in Dubai; P.O. Box 299585 Dubai, United Arab Emirates, 2015.

TODESCO, G. Super-Efficient Buildings: How low can you go? ASHRAE Journal. Atlanta, dez. 1996.

WINDOWS 7. Berkeley (CA): Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division. Disponível em: <<https://windows.lbl.gov/software/window/window.html>>. Acesso em: 9 out. 2015.

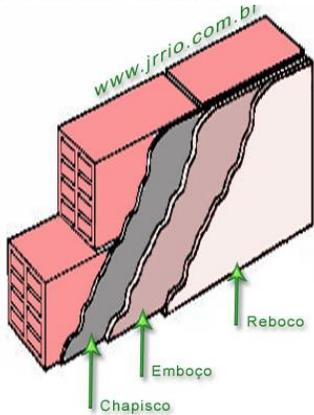
WIGGINTON, Michael; HARRIS, Jude. **Intelligentskins**. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002. Disponível em: <<https://disegnodiezunibe.files.wordpress.com/2011/05/intelligentskins.pdf>> Acesso em: 15 out. 2015.

APÊNDICE A

ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS		
OBRA	HOSPITAL DO CORAÇÃO DE ALAGOAS	
INTERNAÇÃO		
AMBIENTE →	Suíte	W.C.B.'S
ESPECIFICAÇÃO ↓		
ESPECIFICAÇÃO DO PISO	Porcelanato do tipo retificado antiderrapante fosco resistente, na cor bege e de tamanho 40 cm x 40 cm. Rejunte aplicado com material à base de epóxi. Rodapés do mesmo material, embutidos na parede e alinhados com a face externa da parede, tendo 08 cm de altura. Soleiras de Granito Everest.	Porcelanato do tipo retificado antiderrapante fosco resistente, na cor bege e de tamanho 40 cm x 40 cm. Rejunte aplicado com material à base de epóxi. Rodapés do mesmo material, embutidos na parede e alinhados com a face externa da parede, tendo 08 cm de altura. Soleiras de Granito Everest.
ESPECIFICAÇÃO DA PAREDE	Pintura acrílica semi-brilho na cor salmão.	Paredes revestidas com porcelanato do tipo retificado polido resistente, na cor bege (igual piso), com tamanho de 40 cm x 40 cm. Rejunte aplicado com material à base de epóxi.
ESPECIFICAÇÃO DAS ESQUADRIAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Portas Internas: com caixa de madeira e portas de madeira revestidas em melamínico. Maçanetas do tipo alavanca. 2. Janelas Externas: Pele de vidro. Vidro 10mm com película refletiva verde. 3. Janelas Internas: Esquadria de alumínio anodizado na cor preta e vidro pontilhado 4mm incolor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Portas Internas: com caixa de madeira e portas de madeira revestidas em melamínico. Maçanetas do tipo alavanca. 2. Janelas Externas: pele de vidro (fachada principal) com película refletiva (manter o mesmo padrão existente). 3. Janelas Internas: com esquadria de alumínio anodizado na cor preta e vidro incolor. 4. Janelas Externas: pele de vidro (fachada principal) com película refletiva (manter o mesmo padrão existente).
ESPECIFICAÇÃO DO TETO	Pintura lavável fosca na cor branco neve sobre gesso acartonado.	Pintura lavável fosca na cor branco neve sobre gesso acartonado.

ESPECIFICAÇÃO DAS BANCADAS	Bancadas de Granito Everest com rodarão embutido na parede e alinhado com a face externa da parede, tendo 08 cm de altura. Testeira com 10 cm.	Bancadas de Granito Everest com rodarão embutido na parede e alinhado com a face externa da parede, tendo 08 cm de altura. Testeira com 10 cm.
ESPECIFICAÇÃO DOS ACESSÓRIOS	SEM ACESSÓRIOS.	Bacia Sanitária de cor branca; Ducha Higiénica; Cuba de embutir de louça na cor branca; Chuveiro de inox. Cuba retangular de embutir em aço inox polido no tamanho de 40 cm x 34 cm; Tanque retangular de encaixe em aço inox acetinado no tamanho de 50 cm x 40 cm.
ESPECIFICAÇÃO DAS LUMINÁRIAS	1. Embutido quadrado em alumínio no tamanho de 22 cm x 22 cm com 02 lâmpadas eletrônicas corrigidas (cor amarela) PL – 2x20w,e com 02 lâmpadas 2x15w, com altura de embutir 09 cm. Borda de alumínio com pintura microtexturizada na cor branca. Potência: 15W e 20W Ver modelo abaixo:  2. Arandela com base alumínio pintada em branco, difusores em vidro curvo acetinado e fixação por parafusos niquelados com 1x40w. Mesmo modelo existente nos apartamentos. Ver modelo abaixo:	1. Embutido quadrado em alumínio no tamanho de 22 cm x 22 cm com 02 lâmpadas eletrônicas corrigidas (cor amarela) PL – 2x15w com altura de embutir 09cm. Borda de alumínio com pintura microtexturizada na cor branca. Ver modelo abaixo: 

		
AR-CONDICIONADO	<p>Ar-condicionado split, 12.000btus, marca springer. COP: 2.77 W</p> <p>Ver modelo abaixo:</p> 	SEM AR-CONDICIONADO.
FRIGOBAR	<p>Frigobar da marca consul, 220 V, Modelo CRC08A88NA. Potência: 70W (Fonte: www.procel.com.br)</p> <p>Ver modelo abaixo:</p> 	SEM FRIGOBAR.

<p>COMPOSIÇÃO DAS PAREDES</p>	<p>Bloco cerâmico (tijolo com 6 furos)</p> <p>Ver modelo abaixo:</p>  <p>Fonte: http://www.jrrio.com.br</p>	
<p>COMPOSIÇÃO DA LAJE</p>	<p>Laje nervurada</p> <p>Ver modelo abaixo:</p>  <p>Fonte: http://www.impactoprotensao.com.br</p>	
<p>TV</p>	<p>TV LCD 32 polegadas, Samsung. Potência: 56 W e em espera 0.3 W</p>	<p>SEM TV.</p>

	<p>Ver modelo abaixo:</p> 	
<p>EQUIPAMENTOS MÉDICOS</p>	<p>Régua de gases medicinais Ver modelo abaixo:</p> 	<p>SEM EQUIPAMENTOS MÉDICOS.</p>

Fonte: Hospital do Coração adaptado pela autora.