

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

MARIANA EMIDIO GUIMARÃES

**Uma análise para *retrofit* da envoltória tombada visando a eficiência energética do Aeroporto Santos Dumont - Rio de Janeiro**

Brasília  
2017

MARIANA EMIDIO GUIMARÃES

**Uma análise para *retrofit* da envoltória tombada visando a eficiência energética do Aeroporto Santos Dumont - Rio de Janeiro**

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

Área de Concentração: tecnologia, ambiente e sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana

Brasília  
2017

Ficha catalográfica elaborada pela biblioteca central da  
Universidade de Brasília.

EG963a      GUIMARÃES, Mariana Emidio.  
Uma análise para *retrofit* da envoltória tombada  
visando a eficiência energética do Aeroporto Santos  
Dumont – Rio de Janeiro / Mariana Emidio Guimarães;  
orientador Daniel Richard Sant'Ana. -- Brasília, 2017.  
143 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e  
Urbanismo) -- Universidade de Brasília, 2017.

1. Edificações tombadas. 2. eficiência energética,  
retrofit de envoltória, simulação termo energética,  
Aeroporto Santos Dumont. 3. retrofit de envoltória,  
simulação termoenergética, Aeroporto Santos Dumont..  
4. simulação termo energética. 5. Aeroporto Santos  
Dumont. I. Richard Sant'Ana, Daniel, orient. II.  
Título.

## **Uma análise para *retrofit* da envoltória tombada visando a eficiência energética do Aeroporto Santos Dumont - Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado submetida à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: tecnologia, ambiente e sustentabilidade.

Orientador:

---

**Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

Comissão Examinadora:

---

**Prof. Dr. Caio Frederico Silva**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

---

**Prof. Dr. Leonardo Pinto de Oliveira**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo,  
UniCEUB

Brasília - DF, 23 de junho de 2017

A minha família,  
onde sempre me apóio e  
encontro incentivo para expandir meus limites.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Edgar e Marisa, que com muito esforço sempre valorizaram a educação como nossa maior herança e cuja fé e as orações se fazem sempre presentes. Ao meu cunhado e minha irmã, companheira na vida e ouvinte incansável. A minha querida Clarinha, cujos sorrisos e brincadeiras recarregaram as energias desta dindinha.

Ao professor Daniel Sant'Ana pela orientação e correções, e a todos meus professores por auxiliarem no meu amadurecimento acadêmico. Em especial aos professores Caio e Leonardo, sempre gentis e solícitos, referências de profissionalismo.

Agradeço as experiências trocadas com colegas, mas também amigos, os antigos e os conquistados ao longo desta jornada, Pammila, João Francisco, Franciele, Priscila, Orlando e Patrícia, meus revisores e parceiros nas alegrias e angústias.

Agradeço a compressão e sensibilidade das minhas chefes Caroline e Laura sem as quais a anuência não tornaria este projeto possível. E a colega e também amiga Luciana pela parceria nas atividades do trabalho e pelas longas horas de terapia.

Por fim agradeço a Infraero pela disponibilização dos dados necessários para esta pesquisa, em especial aos colaboradores Rafael Oliveira, Leandro da Silva, Francisco Pereira e Cristiano Brito.

Mesmo que este trabalho concentre um esforço individual, como muitos outros já disseram, ninguém vence sozinho.

“Não avançar é o mesmo que retroceder.  
Viver é avançar, progredir sempre em todas as frentes.”

Daisaku Ikeda

## RESUMO

No Brasil, órgãos de proteção do patrimônio histórico e artístico como o IPHAN são responsáveis pela identificação e proteção de edifícios considerados de grande valor arquitetônico, histórico e cultural. Atualmente, são tombados cerca de 45 mil imóveis, dentre eles representantes do movimento modernista brasileiro, adotado em importantes edifícios públicos nas décadas de 40 a 60. Características dessa linguagem, como a simplicidade e clareza formal aliada a experimentação de novos materiais, mostraram ao longo dos anos grande impacto sobre a conservação física, o comportamento energético e ambiental destas edificações. Tem sido desafiadora a realização adequações que atendam as dinâmicas da sociedade atual sem com isso descaracterizar a envoltória destas edificações.

Esta pesquisa investiga possíveis medidas de atualização da envoltória tombada com foco na eficiência energética aplicados ao Terminal de Passageiros do Aeroporto do Santos Dumont, projetado pelos irmãos Roberto, inaugurado em 1945 e protegido pelo tombamento em 1998. Em primeiro lugar foi examinada a literatura para identificação de critérios para intervenção em bens tombados e de eficiência energética em envoltórias. Com base nestes princípios e na caracterização da edificação foi elaborada uma matriz para seleção materiais e configurados seis cenários, alternando tipos de isolamento de coberturas e de vidros. Estes foram então simulados no software *Design Builder*.

Os vidros monolíticos incolores e isolamento da cobertura em lã de rocha, especificados no projeto de reforma aprovado, foram comparados com vidros solares incolores laminados e insulados, e com cobertura com isolamento em PIR. Os resultados mostram que os tipos de cobertura analisadas influenciam pouco no consumo energético da edificação. Com relação aos vidros, os solares insulados apresentaram os melhores resultados quando comparados aos demais.

Palavras-chave: Edificações tombadas, eficiência energética, retrofit de envoltória, simulação termoenergética, Aeroporto Santos Dumont.

## ABSTRACT

In Brazil, federal public entities for protection of historical and artistic heritage such as IPHAN are responsible for the identification and preservation of buildings considered of great architectural, historical and cultural value. Currently, there are about 45,000 buildings listed as heritage, with some icons of the Brazilian Modernist movement among them. This style was adopted in most important public buildings between the 1940s and 1960s decades. Some project attributes of this architectural language, such as simplicity and formal clarity associated with the experimentation of new materials, showed, throughout the years, a great impact over the physical conservation and both the energetic and environmental behaviour of these facilities. It has been challenging to make the building suitable for the dynamics of the present society without adulterating its envelope.

This research analyses possible measures to refurbish the preserved envelope with focus on the energetic efficiency at the Passenger Terminal of Santos Dumont Airport, which was designed by Roberto Brothers and started operating in 1945. It has been protected as a heritage since 1998. First, the literature was examined in order to identify the criteria of intervention in protected heritage and energetic efficiency applied to envelopes. Based on these principles and on the identity of the building, a matrix to select materials was developed. In addition, six scenarios were configured, alternating different types of roof isolation and glass. Later, these settings proceeded to simulation in *Design Builder* software.

The materials specified in the approved renovation project – clear monolithic glass and roof with stone wool insulation – were compared to laminated insulated clear solar glass and to PIR insulated roof. Results show that the analysed types of roof influence little in the energy consumption of the building. Concerning the glass, the insulated solar ones presented the best results when compared to the others.

Keywords: Heritage buildings, energetic efficiency, renovation of envelopes, thermal energetic simulation, Santos Dumont Airport.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPITULO 1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	2
1.2. JUSTIFICATIVA.....	7
1.3. OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS .....	11
1.4. METODOLOGIA .....	11
1.4.1. O software .....	13
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	14
<b>CAPITULO 2. PATRIMÔNIO HISTÓRICO EDIFICADO</b> .....	<b>16</b>
2.1. PATRIMÔNIO, PATRIMÔNIO CULTURAL, HISTÓRICO E ARQUITETÔNICO.....	17
2.2. PRESERVAÇÃO E TOMBAMENTO.....	19
2.3. TOMBAMENTO DE BENS HISTÓRICOS E LEIS NO BRASIL .....	20
2.4. DIRETRIZES GERAIS PARA A CONSERVAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESTAURO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO .....	24
2.4.1. Princípios teóricos .....	26
2.4.2. As cartas patrimoniais e a proteção de edificações históricas. ....	28
2.5. PRINCÍPIOS IDENTIFICADOS .....	30
<b>CAPITULO 3. ENERGIA E EFICIÊNCIA</b> .....	<b>32</b>
3.1. GERAÇÃO E CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL.....	33
3.2. GERAÇÃO E CONSUMO ENERGÉTICO NACIONAL .....	35
3.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	36
3.3.1. Eficiência energética em edificações .....	39
3.3.2. Eficiência energética em envoltórias.....	42
3.4. PRINCÍPIOS IDENTIFICADOS .....	46
<b>CAPITULO 4. TÉCNICAS PARA RETROFIT DE ENVOLTÓRIAS</b> .....	<b>48</b>
4.1. MATERIAIS OPACOS .....	49
4.1.1. Aplicação de isolamento em camadas externas.....	50
4.1.2. Aplicação de isolamento em camadas internas.....	52
4.1.3. Inserção de materiais isolantes em cavidades de paredes duplas.....	54
4.1.4. Coberturas Frias.....	55
4.1.5. Telhados ventilados.....	57
4.2. COMPONENTES TRANSLÚCIDOS .....	58
4.2.1. Caixilhos de esquadrias .....	58
4.2.2. Vidro .....	59
4.2.3. Película de controle solar .....	62
4.3. RESUMO DE TÉCNICAS PARA RETROFIT DE ENVOLTÓRIAS .....	63

<b>CAPITULO 5. OBJETO DE ESTUDO.....</b>	<b>64</b>
5.1. CONJUNTURA HISTÓRICA.....	68
5.1.1. Características importantes.....	68
5.1.2. O projeto original, o construído e as adequações ao longo dos anos.....	71
5.2. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DA EDIFICAÇÃO.....	76
5.2.1. Clima, localização e geometria solar.....	76
5.2.2. Levantamento das dimensões e Rotinas de uso e ocupação dos ambientes.....	78
5.2.3. Caracterização de materiais da envoltória.....	78
5.2.4. Consumo energético.....	79
5.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	80
5.3.1. O modelo.....	80
5.3.2. Configuração do sítio.....	81
5.3.3. Arquivo climático.....	81
5.3.4. Construção dos elementos internos do modelo.....	82
5.3.5. Definição das zonas térmicas.....	83
5.3.6. Inserção de janelas, portas, vãos e venezianas.....	83
5.3.7. Construção de elementos externos do modelo.....	84
5.3.8. Configuração dos materiais construtivos.....	85
5.3.9. Configuração dos materiais das aberturas.....	86
5.3.10. Configuração da iluminação artificial.....	86
5.3.11. Configuração do tipo de Ar condicionado e ventilação.....	87
5.3.12. Configuração de uso, cargas térmicas e rotinas de ocupação.....	88
5.3.13. Calibração do modelo.....	89
5.4. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE INTERVENÇÃO.....	90
<b>CAPITULO 6. RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>94</b>
6.1. EVOLUÇÕES HORÁRIAS DE FLUXOS DE CALOR DO DIA TÍPICO DE INVERNO E VERÃO 95	
6.2. PERCENTUAL DAS HORAS EM CONFORTO (POC) DOS AMBIENTES NÃO CLIMATIZADOS.....	97
6.3. FONTES DE GANHO INTERNO DE CALOR MENSAL E ANUAL.....	99
6.4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL, ANUAL E ANUAL POR USO FINAL.....	100
6.5. DIFERENÇAS ENTRE FORMAS DE INSERÇÃO DE DADOS DOS VIDROS NO SOFTWARE.....	102
<b>CAPITULO 7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>104</b>
7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
7.2. LIMITAÇÕES, APLICAÇÃO DOS RESULTADOS E TRABALHOS FUTUROS.....	109
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE - Relatório de Levantamento das Características da Edificação.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO - Projeto de reforma do Terminal de Desembarque do Aeroporto Santos Dumont</b>	
<b>136</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Brighton City Airport, Reino Unido. ....	4
Figura 2: Dulles International Airport, Estados Unidos. ....	4
Figura 3: Fluxograma da metodologia utilizada. ....	12
Figura 4: Gráfico de geração mundial de eletricidade por fonte de energia (%). ....	34
Figura 5: Consumo mundial de eletricidade por setor. ....	34
Figura 6: Gráfico de oferta interna de energia elétrica por fonte (%). ....	35
Figura 7: Gráfico do consumo brasileiro de eletricidade por setor. ....	36
Figura 8: Gráfico percentual de empresas por tempo de retorno para projetos de eficiência Energética .....	40
Figura 9: Gráfico de distribuição do consumo por uso final. ....	41
Figura 10: Gráfico do percentual de empresas que dispõem de sistemas de ar condicionado e/ou ventilação. ....	41
Figura 11: Esquema de fenômenos de trocas térmicas secas atuantes na envoltória. ....	44
Figura 12: Radiação solar em materiais opacos e translúcidos. ....	45
Figura 13: Esquema de fenômenos de radiação em materiais opacos e translúcidos. ....	46
Figura 14: Composição do sistema ETICS. ....	50
Figura 15: Composição e exemplo de aplicação em sistema de fachada em sistemas de painel de isolamento térmico externo. ....	51
Figura 16: Aplicação de gesso isolante e exemplo de gesso isolante acabado com tinta. ....	51
Figura 17: Composição e ventilação em sistema de fachada ventilada. ....	52
Figura 18: Composição da placa laminada e exemplo aplicação. ....	53
Figura 19: Composição da sobreposição de camadas de isolamento e camadas de gesso acartonado .....	53
Figura 20: Composição da sobreposição de camadas de isolamento revestido por argamassa. ....	54
Figura 21: Composição de sistema com placas de isolamento com cavidade de ar. ....	54
Figura 22: Enchimento da cavidade com grânulos isolantes. ....	55
Figura 23: Conceito de coberturas frias. ....	56
Figura 24: Composição de telhados ventilados. ....	57
Figura 25: Croqui ganho solar em vidros low-e. ....	60
Figura 26: Composição de vidros laminados. ....	60
Figura 27: Composição de vidros insulados. ....	61
Figura 28: Mapa de localização do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro. ....	65
Figura 29: Vista aérea atual do conjunto de edifícios do Terminal de Passageiros do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro. ....	65
Figura 30: Localização da Ponta do Arcabouço no centro da cidade do Rio de Janeiro. ....	66
Figura 31: Gráfico histórico de passageiros/ ano. ....	67
Figura 32: Mapa de locação das edificações do Aeroporto Santos Dumont. ....	68
Figura 33: Circulação saguão do atual saguão de desembarque. ....	69
Figura 34: Vista da fachada principal voltada a cidade. ....	69
Figura 35: Vistas da fachada voltada para a Baía de Guanabara. ....	70
Figura 36: Saguaão Central, entrada principal. ....	70
Figura 37: Maquete do projeto dos arquitetos Marcelo e Milton Roberto vencedor do Concurso para o do anteprojeto do Terminal de Passageiros. ....	71
Figura 38: Vista da fachada principal do projeto executado. ....	72
Figura 39: Detalhe do brises instalados na década de 80. ....	72
Figura 40: Fotografias do incêndio do Terminal ocorrido em 13 de fevereiro de 1998. ....	73
Figura 41: Maquete da ampliação do terminal de passageiros projetada em 2006 concluída em 2007. .....	74
Figura 42: Imagem da fachada oeste do terminal de desembarque atual. ....	75
Figura 43: Linha do tempo com as transformações ocorridas na edificação. ....	75
Figura 44: Gráfico de temperatura e zona de conforto. ....	76
Figura 45: Gráfico de umidade relativa. ....	77
Figura 46: Gráfico rosa dos ventos. ....	77
Figura 47: Planta de locação do edifício. ....	78
Figura 48: Gráfico histórico de consumo mensal de energia de 2015 em KWh. ....	80
Figura 49: Captura da tela software Design Builder - configuração do sitio. ....	81
Figura 50: Captura da tela software Design Builder - configuração do arquivo climático. ....	82
Figura 51: Captura da tela software Design Builder - construção dos elementos internos do modelo. ....	82

Figura 52: Captura da tela software Design Builder - definição das zonas térmicas. ....	83
Figura 53: Captura da tela software Design Builder - inserção de janelas, portas, vãos e venezianas	84
Figura 54: Captura da tela software Design Builder - construção de elementos externos do modelo.	85
Figura 55: Captura da tela software Design Builder - Configuração dos materiais construtivos.....	85
Figura 56: Captura da tela software Design Builder - configuração dos materiais das aberturas.....	86
Figura 57: Captura da tela software Design Builder - configuração da iluminação artificial.....	87
Figura 58: Captura da tela software Design Builder - configuração do tipo de Ar condicionado e ventilação .....	87
Figura 59: Captura da tela software Design Builder - configuração de uso, cargas térmicas e rotinas de ocupação. ....	88
Figura 60: Instalação de data logger de temperatura e umidade no saguão central, andar térreo.....	89
Figura 61: Gráfico de temperatura simuladas e medidas no saguão central no dia 9 de fevereiro de 2017, obtidas após a calibração. ....	90
Figura 62: Ganhos solares horários de janelas exteriores no dia típico de verão em kWh do saguão central - térreo.....	95
Figura 63: Ganhos solares horários de janelas exteriores no dia típico de inverno em kWh, do saguão central - térreo.....	96
Figura 64: Temperatura operativa no dia típico de verão em kWh, do saguão central – térreo .....	96
Figura 65: Temperatura operativa no dia típico de inverno em kWh, do saguão central - térreo .....	97
Figura 66: Gráfico do percentual de horas em conforto (POC) de todos os Cenários .....	98
Figura 67: Gráficos de comparação do POC e POD por hora.....	99
Figura 68: Fontes de ganho interno de calor mensal e anua , em kwh.....	100
Figura 69: Ganho solar das janelas exteriores, em kwh.....	100
Figura 70: Gráfico de consumo de energia elétrica mensal , em kWh.....	101
Figura 71: Gráfico de consumo de energia elétrica anual em kWh.....	101
Figura 72: Consumo de energia elétrica anual segregado por uso final, em kWh.....	102
Figura 73: Comparação do ganho solar das janelas exteriores no cenário VI, em kwh, com formas de inserção de dados do vidro diferentes .....	103
Figura A-1: Fachada oeste – lado terra. ....	122
Figura A-2: Fachada norte - lado ar. ....	122
Figura A-3: Fachada norte - lado ar. ....	123
Figura A-4: Fachada sul - lado terra. ....	123
Figura A- 5: Fachada leste – lado ar. ....	124
Figura A- 6: Fachada leste – lado ar. ....	124
Figura A- 7: Fachada leste – lado ar. ....	125
Figura A- 8: Esquadria do saguão central, pé direito duplo não climatizado.....	125
Figura A- 9: corredor central, não climatizado. ....	126
Figura A- 10: Sala de recolhimento de bagagens.....	126
Figura A- 11: Levantamento pavimento térreo.....	127
Figura A- 12: Levantamento mezanino .....	128
Figura A- 13: Levantamento 1º pavimento.....	129
Figura A- 14: Levantamento 2º pavimento.....	130
Figura A- 15: Levantamento cobertura. ....	131

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Iluminação predominante por tipo de área. ....	42
Tabela 2: Comparação opções de materiais aplicados em telhados frios. ....	57
Tabela 3: Influência do material dos caixilhos na transmitância térmica total das esquadrias. ....	58
Tabela 4: Propriedades dos vidros monolíticos transparentes e coloridos. ....	59
Tabela 5: Propriedades dos vidros laminados de controle solar. ....	61
Tabela 6: Propriedades dos vidros laminados transparentes, coloridos e de controle solar.....	62
Tabela 7: Técnicas para retrofit de envoltórias pesquisadas .....	63
Tabela 8: Característica térmicas dos materiais atuais. ....	79
Tabela 9: Comparação templates de atividades software Design Builder. ....	88
Tabela 10: Classificação das soluções para retrofit de envoltórias quanto atendimento ou não aos princípios para preservação do patrimônio histórico e concervação de energia. ....	91
Tabela 11: Propriedades dos tipos de vidros selecionados.....	92
Tabela 12: Composição dos cenários simulados.....	93
Tabela 13: Característica térmicas dos materiais simulados.....	93
Tabela 15: Diferença das características dos vidros conforme a fonte utilizada na simulação.....	102
Tabela 16: Comparação propriedades dos vidros, consumo de energia elétrica e ganho de calor solar nas janelas exteriores anuais. ....	107
Tabela 17: Dados anuais de consumo de energia elétrica e ganho de calor solar nas janelas exteriores. ....	108
Tabela A- 1: Levantamento de rotina e uso andar térreo .....	132
Tabela A- 2 Levantamento de rotina e uso andar mezanino .....	133
Tabela A- 3: Levantamento de rotina e uso 1º pavimento.....	134
Tabela A- 4: Levantamento de rotina e uso 2º pavimento.....	135

## LISTA DE SIGLAS

CNI	Confederação Nacional da Indústria
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
CAC	Coeficiente de Admissão de Calor
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CT	Capacidade Térmica
CRRC	<i>Cool Roof Rating Council</i>
DAC	Departamento de Aviação Civil
DOE	<i>U.S. Department of Energy</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite Systems</i>
EWC	<i>Efficient Windows Collaborative</i>
FS	Fator solar
HSG	<i>Hight Solar Gain</i>
ICOMOS	Conselho Internacional de Monumentos e Sítio
IEA	Agência Internacional de Energia
INEPAC	Instituto Estadual de Patrimônio Cultural
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPHAN	Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IPM	Inspetoria de Monumentos Nacionais
IWFA	<i>International Window Film Association</i>
NBR	Norma Brasileira
LSG	<i>Light Solar Gain</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEC	<i>Organization of the Petroleum Exporting Countries</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PVB	Polivinil Butiral
RE	Reflexão de Energia,
RLe	Reflexão Luminosa Externa
RLi	Reflexão Luminosa Interna
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SPHAN	Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
SHGC	<i>Solar Heat Gain Coefficient</i>
TE	Transmissão de Energia Absorção de Energia
TL	Transmissão Luminosa
U	Transmitância
Unesco	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

# CAPÍTULO 1 | INTRODUÇÃO

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A pesquisa desenvolvida neste trabalho toca tanto as questões que afetam ao envelhecimento e conservação das edificações de interesse histórico modernistas, quanto às ligadas ao impacto ambiental gerado pelas mesmas nos dias atuais. Sendo assim, ambas as conjunturas são apresentadas e relacionadas em busca do retrofit de envoltória capaz de contribuir para a diminuição do consumo energético.

O Brasil apresenta um natural e progressivo envelhecimento de seu parque edificado classificados como bens culturais. Dados do Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) relatam que existem mais de 45 mil bens imóveis tombados no país. Outras centenas de edificações são registradas em órgãos municipais de proteção ao patrimônio histórico, como o Instituto Estadual de Patrimônio Cultural (INEPAC) no Rio de Janeiro. Neste espólio estão representadas edificações responsáveis pela formação da identidade cultural do país entre 1930 a 1960, classificadas como arquitetura Moderna Brasileira (MAHFUZ, 2002).

Reconhecido mundialmente pela singular nacionalização do estilo, o modernismo brasileiro<sup>1</sup> foi escolhido como linguagem que representaria o momento de desenvolvimento e industrialização do Brasil. Razão pela qual muitos edifícios públicos brasileiros mais representativos foram edificados durante este período (MAHFUZ, 2002).

Gutiérrez (1992) ressalta a importância de defesa desta herança arquitetônica deixada às gerações futuras, uma vez que o patrimônio construído é o capital concentrado, resultado dos esforços de uma sociedade, expressão do desenvolvimento e do envolvimento da comunidade através do tempo, testemunho da relação entre o homem e o seu ambiente.

Até a década de 1960 as manifestações em prol da preservação de edificações enquanto bens culturais foi concentrada em edificações anteriores ao século XIX, a discussão sobre preservação da arquitetura moderna passa a ser considerada apenas no final do século XX. A morosidade na preservação destas edificações permitiu a

---

<sup>1</sup> Em “*Architecture and Modernity*” Heyen (1999) apud Carvalho (2005) define modernização como o termo usado para descrever o processo de desenvolvimento social, cujas as principais características são o avanço tecnológico e a industrialização. Modernidade se refere aos aspectos típicos dos tempos modernos e a maneira pela qual estes aspectos são experimentados pelos indivíduos. Já o Modernismo se aplica a tendências culturais e movimentos artísticos que respondem à experiência de Modernidade.

destruição de obras relevantes do patrimônio recente e ações que visem a preservação de edifícios do movimento modernista no Brasil ainda são pontuais (OBA e SCHMID, 2014).

Passados mais de sessenta anos é notório o envelhecimento desses prédios. Além da degradação natural dos materiais ao longo destes anos houveram mudanças na cultura, usos e costumes sociais, evoluções científica e tecnológica fazendo com que sejam necessárias adequações para satisfação das necessidades dos usuários (CASTELNOU NETO, 1992). A degradação construtiva, padrões de conforto ambiental e a obsolescência destas edificações se tornam mais evidentes quando permanecem sendo utilizadas com a função para a qual foi concebida.

A discussão da valorização cultural e requalificação do ambiente urbano através do projeto arquitetônico ainda é limitada, assim se faz necessário investigar como proceder quanto as intervenções atuais em imóveis degradados, como manter o patrimônio renovado e reintegrar edifícios disfuncionais às dinâmicas urbanas (SILVA, 2013). Menicone e Benitez (2011, p.69) reforçam que: “no Brasil, não obstante os avanços da conscientização quanto à importância da proteção do patrimônio edificado, persiste ainda uma visão tradicional e conservadora das operações e propósitos de sua preservação”. Esta postura submete esses bens a um congelamento histórico, entretanto a melhor ação para preservação deste patrimônio é a sua utilização (FARRET, 2006).

Dotar de uso e integrar uma edificação histórica à vida cotidiana de uma cidade é a maneira mais eficiente de conservá-la. Lemos (1981) destaca como primeira conduta ligada a preservação de edificações sua utilização constante e, sempre que possível, satisfazendo os usos originais, já que a manutenção do uso original requer menor número de alterações reduzindo os custos das intervenções (CHOAY, 2001). O Aeroporto da cidade de Brighton no Reino Unido (Figura 1) e o *Dulles International Airport* em Chantilly (Figura 2), nos Estados Unidos, este último projeto de Eero Saarinen são exemplos bem-sucedidos desta estratégia de conservação.

Figura 1: *Brighton City Airport*, Reino Unido.



Fonte: <http://www.brightoncityairport.com>.

Figura 2: *Dulles International Airport*, Estados Unidos.



Fonte: <http://www.dullesinternationalairport.com>.

A linguagem modernista é caracterizada pela inovação no uso de materiais, industrialização da construção, expressão da estrutura, simplicidade e clareza das formas, ausência de ornamentos, na utilização de fachadas com panos de vidro contínuos entre outras (ALMEIDA, 2013). Estas soluções têm impacto no comportamento das edificações e muitas vezes é necessário maior uso de energia para manter a temperatura interior confortável (IRIGOYEN *et. al*, 2013).

O consumo e a produção de energia, a preocupação com o atual grau de degradação ambiental provocado pela ação do homem sob a natureza se constitui como tônica do século XXI. O Relatório de Avaliação, Alterações Climáticas confirma

a necessidade da preocupação com a preservação do meio ambiente, como forma de manutenção da sobrevivência humana no planeta (IPCC, 2014).

A gestão dos recursos naturais passa a ser essencial e as cidades são evidenciadas como grandes responsáveis pelo consumo de materiais. Ceotto (2008) relata que a indústria da construção civil gera 40% de todo resíduo produzido na atividade humana, e consome 40% da energia mundial produzida. Estima-se que 16% da água potável mundial seja consumida para construção, operação e manutenção de edifícios. “Dada a importância do setor da construção civil e seu impacto na geração de resíduos e consumo de matéria-prima, é primordial a necessidade de o setor se desenvolver de maneira sustentável” (MENDONÇA, 2014, p. 25).

De acordo com o Atlas de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2008) a geração de energia é o principal elemento de degradação ambiental dentre os agentes poluidores. Cerca de 76% das emissões de CO<sub>2</sub>, óxidos de nitrogênio e metano responsáveis pelo efeito estufa são decorrentes da produção e o uso de energia (NORDHAUS, 1991 *apud* OBA, 2014).

Dados da ANEEL (2008) confirmam a tendência de expansão do consumo de energia elétrica no país. Os números mostram crescimento acelerado de desde 2003, com 6,5%. Em 2007 esta foi a modalidade de energia mais consumida no país e correspondeu a 17,6% no volume total, com aumento de 5,7% sobre o ano anterior.

O esforço realizado nos últimos 40 anos para o aumento da produção e o desenvolvimento de energias alternativas como álcool, gás natural, energia eólica, carvão vegetal e energia nuclear, não foram suficientes para impedir a carência energética nacional. O aumento de demanda, a má gestão de investimentos e a falta aperfeiçoamento dessas tecnologias continuam a impulsionar a crise energética brasileira (SOUZA, 2008).

Segundo EPE (2014), 47% da eletricidade disponível no país é consumida pelas edificações, Thormark (2002) *apud* Lobo *et al.* (2010) ressalta que no decorrer da vida útil das edificações o consumo de energia é o gasto mais significativo. O aumento do consumo energético nas edificações está relacionado a longo prazo com fatores como as zonas climáticas, o entorno construído e o planejamento urbano. Há previsão que este tipo de consumidor passe por grandes transformações nos próximos anos, buscando a redução de consumo através da adoção de equipamentos

mais eficientes, mudanças nos projetos, nos tipos de materiais e principalmente das envoltórias (EPE, 2014).

O MMA (2015) compara a envoltória à pele da edificação, responsável por promover as trocas de energia entre o exterior e o interior de uma edificação. Estudos realizados por Mori (2012) mostram que envoltórias adequadas podem reduzir em alguns casos, até 30,54% do consumo energético das edificações. O envelope é composto por elementos construtivos que promovem o fechamento dos ambientes internos em relação ao ambiente externo, expostos à radiação solar incidente e estão a cima do nível do solo, em contato com o exterior ou com outro edifício, como coberturas, paredes, fachada e aberturas (INMETRO, 2013).

Envoltórias energeticamente mais eficientes são capazes de diminuir substancialmente o consumo das edificações, estudos demonstram que é possível gerar economia de até 30% no consumo energético de prédios que tenham passado por *retrofit* (MMA, 2015). Para alcançar melhores resultados é preciso que estas sejam adaptadas a zona bioclimática, apresentem rigor na distribuição das aberturas e no uso de proteções adequadas a cada orientação solar da fachada (MMA, 2015; GRILLO, 2005).

Estudo realizado por Cianciardi *et al.* (2004) declara que o *retrofit* executado de forma adequada, através da aplicação de tecnologias e materiais eficientes, é capaz de contribuir para recuperação e preservação das edificações, apontando também a eco alfabetização e o desenvolvimento socioeconômico da cidade como ganhos indiretos.

A prática do *retrofit* foi criada na década de 90 na Europa e nos Estados Unidos de forma a corresponder as rígidas legislações de preservação, permitindo a utilização apropriada do acervo arquitetônico. O termo é originado na expressão latina *retro*, que significa movimentar-se para trás acompanhada da inglesa *fit*, interpretada como ajuste ou adaptação (BARRIENTOS, 2004).

O *retrofit* propõe a adequação da edificação existente às necessidades dos atuais usuários, sendo incorporadas tecnologias, não só de automação, economia energética, sistemas de dados, proteção e combate a incêndio, sistemas elétricos e hidráulicos como também renovação ou reforma de materiais e revestimentos, aumentando sua vida útil sem com isso alterar as características originais em edificações históricas (CIANCIARDI *et al.*, 2004).

Como complementam Cianciardi *et al.* (2004, p. 2) o *retrofit*:

Busca pela sincronidade do edifício com o tempo presente, de modo a vitaliza-lo com novos materiais e tecnologias, evitando que se torne obsoleto e permitindo que acompanhe o desenvolvimento tecnológicos dos grandes centros urbanos.

Por este motivo o termo se distingue dos conceitos de reforma, como ação que busca a melhoria da edificação sem compromisso com suas características anteriores e restauração, interpretada como um conjunto de intervenções que proporcionam a recuperação da imagem, da concepção original ou do momento áureo da história da edificação (VALE, 2006).

Cianciardi *et al.* (2004) concluem que de certa forma, o *retrofit*, a manutenção ou a restauração de edifícios são naturalmente instrumentos para implantação da sustentabilidade ecológica do sítio arquitetônico, por propiciarem a maximização do ciclo de vida dos edifícios existentes e a requalificação da estrutura urbana ao seu redor.

Barrientos e Qualharini (2004) reforçam que o *retrofit* de envoltórias de edificações tombadas merece cuidado redobrado. Para os autores é importante avaliar a estética original das edificações e como as inovações incorporadas as fachadas se comportam não só quanto ao prédio, mas também em relação ao contexto arquitetônico da vizinhança. Além das questões estéticas, o conforto e as características climáticas devem ser estudadas para que a reabilitação das fachadas e coberturas proporcionem também maior eficiência energética à edificação (VALE, 2006).

## 1.2.JUSTIFICATIVA

Mendonça (2014) expõe que no Brasil existem poucos estudos que enfoquem a preocupação com o uso racional de energia elétrica na preservação de edificações históricas e que há carência de itens aprofundados nestas edificações nas normas nacionais de eficiência energética.

Em buscas nas plataformas de pesquisas acadêmicas nacionais foram encontrados alguns trabalhos que abordam a preservação de edificações históricas ou especificamente do movimento modernista, *retrofit* e eficiência energética em envoltórias.

Taralli e Campêlo (2007) discutem a rearquitetura e a descaracterização em intervenções realizadas nos prédios da Universidade Federal do Ceará. Carvalho (2005) se concentra nas intervenções realizadas nos últimos vinte anos em edifícios de escritórios da cidade do Rio de Janeiro, estabelecendo referências para sua preservação. Já Lira (2010) realiza o exame do arcabouço legal e referenciais teóricos internacionais afetos a preservação do patrimônio histórico sítio histórico de Olinda, Pernambuco. Porém nestes estudos não se discutem as adaptações sustentáveis ou tecnológicas destas edificações.

Outros estudos enfocam as questões de eficiência e sustentabilidade na atualização das edificações em geral. Cianciardi *et al.* (2004) delineiam parâmetros, como o aproveitamento e a economia dos recursos naturais, a incorporação de materiais ambientalmente corretos e o tratamento de resíduos para implantação da sustentabilidade no *retrofit* arquitetônico. Barrientos e Qualharini (2004), Moraes e Quelhas (2012) discorrem sobre as metodologias europeias de diagnóstico de intervenção para o *retrofit* em edificações habitacionais, EPIQR, MER HABITAT e TEST HABITAGE. Nas pesquisas de Ghisi (1997) e Grasso *et al.* (2000) são abordadas especificamente o *retrofit* em sistemas de iluminação.

Poucas pesquisas tratam da eficiência energética nas envoltórias de edificações históricas. Mendonça (2014) caracteriza o estoque de edificações históricas de uso institucional ou público de Florianópolis - Santa Catarina, a fim de identificar parâmetros de envoltória de diversos estilos arquitetônicos, que influenciam no desempenho energético.

Alguns estudos discorrem especificamente sobre intervenções em envoltórias visando à eficiência energética de edificações modernistas de uso institucional e escritórios. Grillo (2005) desenvolve estudo sobre reabilitação de edifício do Palácio do Itamaraty avaliando a implantação de dispositivos atingiram os níveis de conforto ao usuário e diminuição do consumo energético do prédio através de medições *in loco* de protótipos.

Nicoletti (2009) e Esteves (2010) desenvolvem pesquisa utilizando o método do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) para determinação de eficiência energética em edifícios modernistas. Nicoletti (2009) analisa a viabilidade técnica e financeira da proposição de *retrofit* de envoltória, de edifício da esplanada dos

ministérios, em Brasília, apontando a diminuição no percentual de abertura das fachadas e do fator solar (FS) dos vidros para melhora a eficiência energética da envoltória. Esteves (2010) apresenta o estudo de caso comparando o edifício original, as intervenções já realizadas e propostas de intervenções nas fachadas avaliando seu desempenho acústico e térmico sede do Instituto de Resseguros do Brasil (IRB) no Rio de Janeiro.

Avaliando o contexto internacional, nos Estados Unidos e Europa as discussões sobre a eficiência energética já estão bastante avançadas. Na Europa, onde o parque edificado é muito mais antigo, é acrescentado a este debate questões sobre conservação e intervenções em edificações históricas. Em pesquisa nas plataformas acadêmicas internacionais foram encontrados alguns trabalhos que abordam especificamente o *retrofit* da envoltória com foco na eficiência energética e na preservação das edificações históricas, principalmente na Inglaterra, Espanha e Itália.

Irigoyen *et al.* (2013) realiza um diagnóstico minucioso e pré-avaliação das possíveis intervenções no envelope em edifício residencial modernista em Pamplona Espanha. Propõe dois níveis de intervenção, o primeiro afeta elementos específicos e de execução mais viável e o segundo com intervenções globais com maior investimento.

Vallati *et al.* (2016), Pisello *et al.* (2016) e Cornaro *et al.* (2016) utilizam *softwares* de simulação termo energética para avaliar eficiência energética soluções de remodelação de edifícios históricos italianos. Vallati *et al.* (2016) apresenta que a substituição das janelas com vidros duplos e gás Krypton aliada a aplicação de camada isolante de 4 cm para as paredes e 6 cm para os pisos proporcionam melhorias no desempenho energético da edificação. Pisello *et al.* (2016) alcança redução de 69,2% da demanda de energia primária através da substituição de equipamentos para aquecimento e resfriamento. Cornaro *et al.* (2016) conclui que restaurando os caixilhos das janelas e isolamento de paredes o consumo de energia é reduzido para 42,2 kWh /m<sup>2</sup>, representando uma economia de 38%.

Rodrigues e Kacel (2013) e Evangelisti *et al.* (2015) estudam edifícios construídos entre 1920 e 1950, também com auxílio de *softwares* de simulação termo energética. Rodrigues e Kacel (2013) alcançam redução de mais de 50% no consumo de energia, com a instalação de claraboia, janelas de vidro duplo e isolamento

das paredes e do telhado, sem alterar o caráter externo da fachada de edifício inglês construído em 1923. Evangelisti *et al.* (2015) avalia a influência a pintura fria do telhado, isolamento de diferentes espessuras em paredes e telhado na eficiência energética de edifício construído na década de 1950 em Roma, Itália. O estudo conclui que no inverno as melhores soluções são as mais isolantes, entretanto no verão demandam grande quantidade de energia de resfriamento.

É importante observar que estes trabalhos abordam a temática por meio de objetos de estudo específicos com soluções individualizadas, adequadas às características de cada edificação. Outra similaridade observada é a utilização de ferramentas de simulação termo energética para comparação e mensuração dos benefícios alcançados. Quanto aos materiais analisados, há predominância de materiais que contribuam para o isolamento da edificação, mais adequados as rigorosas temperaturas no inverno europeu.

Até onde vai a literatura pesquisada nenhum estudo nacional abordou a análise dos referenciais teóricos de intervenções arquitetônicas a fim de orientar o *retrofit* e preservação de envoltórias tombadas voltado à economia energética, especificamente em edificações de tipologias pavilhonares<sup>2</sup> modernistas em climas tropicais.

O terminal de desembarque do Aeroporto Santos Dumont, na cidade do Rio de Janeiro foi eleito como objeto de estudo desta pesquisa. Este edifício, construído em 1945, possui sua representatividade dentre o patrimônio do modernismo brasileiro reconhecida pelo INEPAC através de seu tombamento. Em sua arquitetura são identificadas características comuns aos edifícios pavilhonares de tipologias horizontais modernistas. Sua localização, proporciona uma singular permeabilidade com a cidade, atípica em terminais aeroportuários desta escala.

Além disso a edificação permanece sendo utilizada para o uso o qual foi projetado, expondo de forma clara suas necessidades de adaptação. Nas últimas

---

<sup>2</sup> Apesar de muito usual na arquitetura o termo tipologia pavilhonar, não possui uma definição morfológica consolidada, sendo recorrente a sua utilização em usos diversos como hospitais, escolas, habitações, museus, rodoviárias e aeroportos. Neste trabalho será adotado o conceito de Sampaio (2005) empregado na arquitetura hospitalar: blocos horizontais, com altura de no máximo quatro pavimentos, conectados por circulações ou isolados.

décadas o prédio passou por muitas readequações sejam estéticas, estruturais e funcionais, desprovidas de estratégias globais de intervenção, que põem em risco a caracterização da linguagem formal da proposta inicial como alertado pelo INEPAC.

### 1.3.OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar medidas para o *retrofit* da envoltória tombada do Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro com o intuito de melhorar seu desempenho energético, resguardando sua importância histórica.

Como objetivos específicos se pretende:

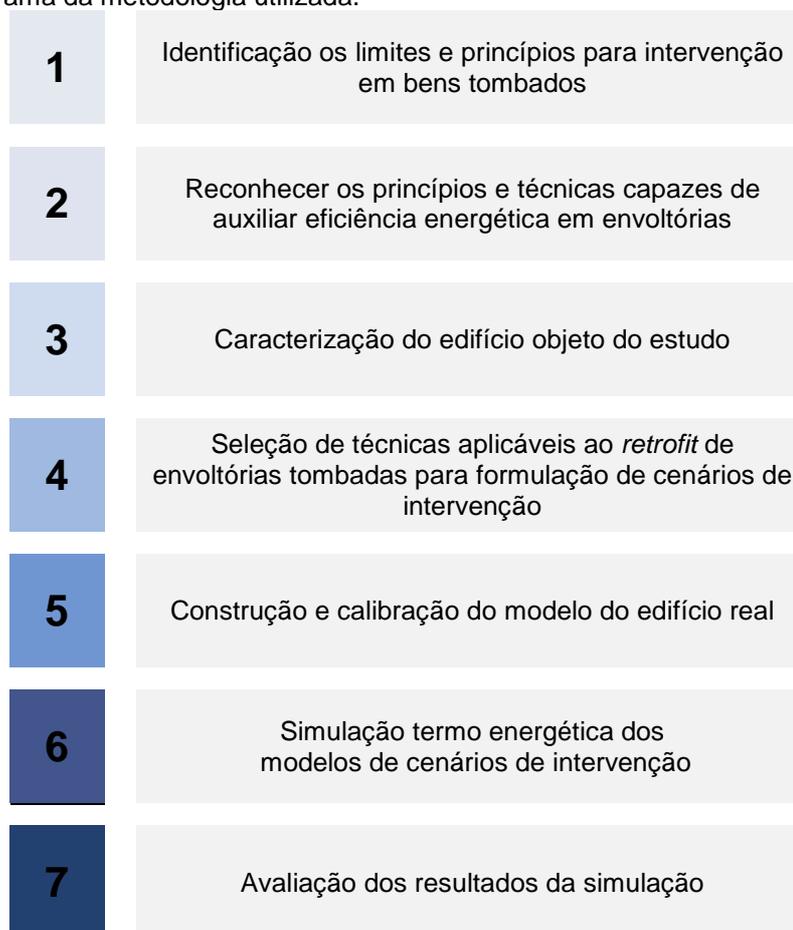
1. Detectar os limites e princípios para intervenção em bens tombados baseados nas posturas teóricas de preservação;
2. Averiguar princípios e técnicas capazes de auxiliar na eficiência energética nas edificações através das envoltórias;
3. Caracterizar a edificação tombada do Aeroporto Santos Dumont;
4. Selecionar técnicas e compor cenários para o *retrofit* da envoltória, que considerem a eficiência energética e o tombamento;

### 1.4.METODOLOGIA

Segundo Pedrini (1997) os protótipos experimentais e os modelos computacionais têm sido adotados como instrumentos para avaliação energética de envoltórias em objetos de estudo. Os protótipos geram dados de grande precisão, entretanto os modelos computacionais necessitam de menor interferência no ambiente real, o que os tornam mais exequíveis em pesquisas em objetos de estudo de interesse histórico e com grande número de usuários como o Aeroporto Santos Dumont. Além disso a utilização de modelos computacionais possibilita o teste de diversas possibilidades em menor tempo e com custos reduzidos.

Nesta pesquisa serão empregados modelos simulados no *software Design Builder* do Aeroporto Santos Dumont, apresentado como ferramenta ágil na avaliação de opções para *retrofit*. A metodologia do estudo consiste nos seguintes passos sintetizados na Figura 3 e detalhados em seguida.

Figura 3: Fluxograma da metodologia utilizada.



Inicialmente foi examinada a literatura sobre o tombamento de patrimônio histórico edificado, como conceitos, leis, teorias de conservação e cartas patrimoniais, identificando limites e princípios para intervenção em bens tombados. Em seguida foi estudada a literatura sobre a energia e eficiência energética em edificações e envoltórias identificando princípios critérios a serem considerados para incorporação da eficiência energética no *retrofit* de envoltórias. Logo após foram pesquisados técnicas disponíveis no mercado aplicáveis no *retrofit* que proporcionem maior eficiência energética das envoltórias.

Posteriormente foram levantadas as características do terminal tombado do Aeroporto Santos Dumont, através de projetos, fotos, livros, visita técnica e entrevistas com responsáveis pela manutenção auxiliando na identificação da forma, materiais e problemas da envoltória, além de rotinas de ocupação da edificação, densidades de potência de iluminação e equipamentos, verificação de consumo de faturas de energia

ou sistemas de automação, aspectos de ocupação do entorno, orientação e exposição à radiação solar e características climáticas locais.

No passo seguinte, foi realizada uma matriz de decisão, baseada no diagnóstico da edificação, nos critérios identificados para intervenção em bens tombados e de eficiência energética em envoltórias. O banco de componentes e soluções construtivas foi pontuado e classificado, formulando os cenários a serem simulados.

Foram extraídos desta fase 2 tipos de vidros e 1 tipo de cobertura a serem avaliados, além dos materiais originais especificados no projeto de reforma. No total foram simulados 6 cenários, sendo o primeiro deles configurado com os materiais especificados no projeto aprovado pelo INEPAC em 2004.

Em seguida a edificação de referência foi modelada no *software Design Builder* versão 4.7.0.027, de forma que fossem reproduzidas as características da edificação através da inserção no programa de dados do edifício existente, definido o modelo do edifício real;

Este modelo foi então calibrado através da comparação dos dados de temperatura simulados e medidos in loco, ajustando os parâmetros até que fosse alcançado o erro quadrático médio aceitável. Somente então foram configurados e simulados os cenários, com o funcionamento da edificação para as 8.760 horas do ano, para posterior apresentação dos resultados.

Na última fase, os resultados foram comparados e avaliadas as evoluções horárias de fluxos de calor do dia típico de inverno e verão, o consumo de energia anual, mensal e por uso final bem como o percentual das horas em conforto dos ambientes não climatizados, identificando os melhores cenários de intervenção.

#### 1.4.1. O software

Os modelos computacionais utilizados para avaliação energética de envoltórias possibilitam a formulação de propostas de melhorias também em edificações já construídas. É possível testar alterações na envoltória, usos, iluminação, equipamentos, sistema de condicionamento de ar e prever a economia de energia elétrica em cada proposta indicando a solução energeticamente mais eficiente, evitando os custos de testar as alternativas na edificação (PEDRINI, 1997).

Diversos *softwares* têm sido utilizados para avaliação energética de envoltórias em pesquisas de estudo de caso, existem cerca de 56 programas de simulação energética de todo o edifício cadastrados no Departamento de Energia dos Estados Unidos. O *software Virtual Environment* foi utilizado por Leardinia *et al.* (2015) na modernização nas casas na Austrália, Rodrigues e Kacel (2013) empregaram o Bentley TAS no estudo de medidas de eficiência energética em edifício inglês já Vallati (2016) e Evangelisti *et al.* (2015) empregaram o TRNsys em estudos edifícios de Perugia e Roma na Itália.

O *software* de simulação adotado nesta pesquisa foi o *Design Builder* versão 4.7.0.027. Eleito tanto por Venâncio e Perini (2008) em estudos das edificações do campus da UFRN quanto por Nicoletti (2009) e Japiassú *et al.* (2016), que o utilizaram no estudo de intervenções em edifícios em Brasília, na esplanada dos ministérios e no campus da universidade respectivamente. Os trabalhos já realizados fundamentam sua escolha devido a versatilidade de modelagem, interface gráfica e confiabilidade do seu algoritmo baseado na ferramenta *Energy Plus* versão 8.3.0 desenvolvida pelo U.S. Department of Energy's (DOE) (NICOLETTI, 2009).

## 1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

### CAPÍTULO 1 – Introdução.

Inicialmente é apresentada a contextualização e em seguida a justificativa do tema. São expostos os objetivos geral e específicos além da descrição sucinta metodologia, detalhada a medida que é desenvolvido o trabalho.

### CAPÍTULO 2 – Patrimônio histórico edificado.

Este capítulo discorre sobre os conceitos e instrumentos que devem ser considerados nas intervenções no patrimônio edificado e que serviram de base para o trabalho, que são: patrimônio, cultural, histórico e arquitetônico, preservação, tombamento de bens históricos e leis no Brasil, diretrizes gerais para a conservação, manutenção e restauro do patrimônio histórico edificado.

### CAPÍTULO 3 – Energia e Eficiência.

É abordada a energia e eficiência a partir da geração e consumo mundial e nacional, eficiência energética nas edificações e nas envoltórias identificando

princípios critérios a serem considerados para incorporação da eficiência energética no *retrofit* de envoltórias.

#### CAPÍTULO 4 – Técnicas para *retrofit* de envoltórias.

São apresentadas técnicas disponíveis no mercado para *retrofit* em envoltórias compreendendo tanto materiais opacos, como translúcidos.

#### CAPÍTULO 5 – Objeto de estudo.

Contém a descrição do objeto de estudo, seus aspectos históricos, caracterização a edificação, construção do modelo no *software Design Builder*, explicada a definição dos cenários de intervenção e sua configuração do modelo.

#### CAPÍTULO 6 – Resultados.

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações dos cenários, comparados e discutidos os resultados.

#### CAPÍTULO 7 – Conclusão.

For fim são apontadas as conclusões, limitações do trabalho, aplicabilidade dos resultados e indicações para trabalhos futuros.

**CAPÍTULO 2**

**PATRIMÔNIO HISTÓRICO EDIFICADO**

Dias (2005) salienta que, nos dias atuais em que as cidades se modificam tão rapidamente a preservação adquire importância social e cultural, através da perpetuação da identidade cultural de uma sociedade, suas histórias e modos de vida. Este trabalho é calcado na adaptação do patrimônio edificado e na utilização adequada dos edifícios históricos de forma que sejam úteis a sociedade.

Soares e Oliveira (2013) relatam que infelizmente existem raros casos onde há a reflexão teórica acerca das intervenções em bens culturais edificados no Brasil e ressaltam a necessidade do embasamento teórico consistente ao propor intervenções em edifícios históricos. Em sua visão tal embasamento deve resgatar as singularidades da obra e estabelecer condições práticas da intervenção:

É necessário facilitar o caminho entre a teoria e a prática. Para tanto, algumas iniciativas são bem-vindas, dentre elas, a disseminação da cultura e o esclarecimento sobre os conceitos próprios da preservação, inclusive seu significado (SOARES e OLIVEIRA, 2013, pag. 141).

Diante do exposto fica claro que a apreensão da proposta de adaptação do patrimônio edificado apresentada neste trabalho pressupõe a compreensão dos conceitos e instrumentos apresentados a seguir.

## 2.1. PATRIMÔNIO, PATRIMÔNIO CULTURAL, HISTÓRICO E ARQUITETÔNICO.

Baltazar (2011) define o patrimônio como o conjunto de todos os bens, materiais ou imateriais, que, pelo seu valor próprio, devem ser considerados de interesse relevante para a permanência e para a identidade da cultura de um povo.

Em sua gênese latina a palavra patrimônio, *patrimonium*, se referia aos bens de propriedade do pater famílias ou pai de família, dotado de um valor privado e aristocrático da sociedade romana antiga. Com a difusão do cristianismo na idade medieval e a valorização de relíquias religiosas o conceito passa a ser dotado de caráter coletivo, existente atualmente através da valorização de lugares, objetos e rituais coletivos (FUNARI e PELEGRINI, 2006).

Entretanto segundo Funari e Pelegrini (2006) o significado contemporâneo de patrimônio que incorpora a esfera de todo um povo, sua origem e território foi desenvolvido pós a revolução francesa, com formação dos estados nacionais e a partir da criação de uma cultura unificada que apoia um patrimônio nacional concreto como

monumentos, edifícios ou objetos belos e exemplares de alto valor simbólico para a nação.

Após a segunda guerra mundial com a criação da ONU e fundação da Unesco em 1945 este conceito é expandido para além da cultura a partir da inserção da natureza e em abrangência com a adoção da noção de legado mundial, de toda a humanidade. Em 1972 a Unesco promove a primeira convenção sobre o patrimônio mundial, cultural e natural e amplia a valorização também do comum, de bens que se repetem, mas sem os quais não pode existir o excepcional (FUNARI e PELEGRINI, 2006).

Oliveira (2011) observa que excepcionalidade exigida por séculos para incorporação ao patrimônio ocasionou a perda de referências significativas, como por exemplo as dos estilos arquitetônicos eclético e *art nouveau*, que até então não eram considerados autênticos ou excepcionais.

A evolução do conceito e expansão do escopo dos bens patrimoniais é acompanhada pelo aumento de países envolvidos. Na primeira conferência internacional para conservação dos monumentos históricos, em 1931 na cidade de Atenas compareceram apenas representantes europeus, passados quinze anos os efeitos negativos do turismo, a inflação patrimonial, o custo de manutenção, a inadequação aos usos atuais e a paralização de outros projetos de organização do espaço urbano levam 85 países a discutirem a convenção de patrimônio mundial (CHOAY, 2001).

Dias (2005) ressalta a evolução constante do significado de patrimônio cultural, e apresenta uma definição contemporânea do significado de patrimônio cultural.

Podemos definir patrimônio cultural como tudo aquilo que o homem criou e que por questões culturais inerentes ao meio em que se insere, se muniu de valor para aquela sociedade. Cada bem cultural tem o seu próprio valor local e alguns adquirem também um valor mundial se tornando dessa maneira patrimônio cultural da humanidade. (DIAS, 2005, p. 123)

Para Choay (2001) o patrimônio Histórico é uma parte do patrimônio cultural, constituído pela acumulação contínua de uma diversidade de objetos que congregam o passado comum de uma comunidade, produtos de todos os saberes e *savoir-faire* dos seres humanos.

O IPHAN (2003) descreve o patrimônio arquitetônico ou edificado como as construções que adquiriram significação histórica e cultural em determinada sociedade, exemplares mais expressivos e representativos de determinado estilo arquitetônico. Choay (2001) acrescenta que o patrimônio histórico representado pelas edificações é o mais visível e concreto, que se relaciona mais diretamente com a vida de uma determinada coletividade.

## 2.2. PRESERVAÇÃO E TOMBAMENTO.

Ghirardello e Spisso (2008) conceituam que preservação é a manutenção de um bem no estado físico em que se encontra e a desaceleração de sua degradação, visando prolongar e salvaguardar o patrimônio cultural. Lemos (1981) o ressalta a preservação como a maneira de garantir a percepção da memória social resguardando elementos significativos do patrimônio cultural, com finalidade de guardar para futuras gerações informações cuja permanência não é garantida. Segundo o mesmo a preservação não se restringe a guarda de objetos, deve-se também levantar sítios variados ou gravar depoimentos, sons, músicas além de procurar manter vivos os usos e costumes.

Durante muito tempo as intervenções em edifícios já existentes, em geral, tiveram como objetivo apenas adaptação às necessidades da época, orientados pelas exigências práticas e de uso (KÜHL, 2009). Choay (2001) expõe que a preservação de edificações históricas se inicia na Itália do século XV, no período conhecido como *Quattrocento*, entre o fim da idade média e o renascimento, denominada por ela como fase “antiguizante”, já que os monumentos preservados pertenciam somente à antiguidade Romana. A fase dita pela autora como “consagração” emerge no século XVII após a revolução francesa, quando as preservações dos monumentos históricos são utilizadas para construção de uma identidade nacional. Nesta fase a conservação dos edifícios históricos é institucionalizada sendo criado também um arcabouço jurídico de proteção.

A palavra *tombo* significa registro, o tombamento é uma imposição legal, que resulta em conjunto de ações realizadas pelo poder público e alicerçadas por legislações específicas, visando a preservação e impedindo a destruição ou descaracterização de bens de valor histórico, cultural, arquitetônico, ambiental e

afetivo, aplicável apenas a bens materiais que sejam de interesse para a preservação da memória coletiva (RABELLO, 2015; GHIRARDELLO e SPISSO, 2008).

O tombamento como instrumento de reconhecimento e proteção do patrimônio cultural pode ser instituído pelos órgãos e conselhos de defesa do patrimônio internacional, federal, estadual e municipal, de forma independente dos demais. Compete ao órgão que realizou o tombamento declarar os limites e as diretrizes para as intervenções nos bens tombados sob sua subordinação (RABELLO, 2015).

Os bens tombados podem ser divididos em bens imóveis e móveis, os primeiros compreendem às edificações e os segundos os objetos de arte, fotografias, mobiliários, coleções de documentos e etc. A primeira ação para proteção dos bens imóveis é o tombamento porém a preservação somente é viável quando estes encontram-se em bom estado de conservação, propiciando sua utilização. Em geral é delimitada uma área de projeção do imóvel tombado em sua vizinhança com objetivo de preservar a ambiência e impedir a obstrução da sua visibilidade (DIAS, 2005).

### 2.3. TOMBAMENTO DE BENS HISTÓRICOS E LEIS NO BRASIL

No Brasil a institucionalização da preservação do patrimônio cultural se inicia apenas por volta 1930 com a criação da Inspeção de Monumentos Nacionais (IPM), culminando com a instituição do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN) em conjunto ao Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, conhecido como Lei do Tombamento, conhecido como o primeiro instrumento legal de proteção do patrimônio cultural Brasileiro.

O conceito inicial de patrimônio cultural brasileiro foi vinculado apenas os bens móveis e imóveis, representativos da história do país ou de valor excepcional claramente expresso no texto do Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937.

Art. 1º Constitui o patrimônio histórico e artístico nacional o conjunto dos bens móveis e imóveis existentes no país e cuja conservação seja de interesse público, quer por sua vinculação a fatos memoráveis da história do Brasil, quer por seu excepcional valor arqueológico ou etnográfico, bibliográfico ou artístico.

§ 1º Os bens a que se refere o presente artigo só serão considerados parte integrante do patrimônio histórico e artístico nacional, depois de inscritos separada ou agrupadamente num dos quatro Livros do Tombo, de que trata o art. 4º desta lei.

§ 2º Equiparam-se aos bens a que se refere o presente artigo e são também sujeitos a tombamento os monumentos naturais, bem como os sítios e paisagens que importe conservar e proteger pela feição notável com que tenham sido dotados pela natureza ou agenciados pela indústria humana. (BRASIL, 1937).

O mesmo decreto lei institui ainda o instrumento do tombamento e em seu artigo 4º a classificação em quatro livros, onde segundo Oliveira (2011) é exposto o entendimento oficial da restrição do patrimônio como o conjunto de bens materiais de natureza arquitetônica, urbanística, histórica, artística, arqueológica e documental.

Art. 4º O Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional possuirá quatro Livros do Tombo, nos quais serão inscritas as obras a que se refere o art. 1º desta lei, a saber:

- 1) no Livro do Tombo Arqueológico, Etnográfico e Paisagístico, as coisas pertencentes às categorias de arte arqueológica, etnográfica, ameríndia e popular, e bem assim as mencionadas no § 2º do citado art. 1º.
- 2) no Livro do Tombo Histórico, as coisas de interesse histórico e as obras de arte histórica;
- 3) no Livro do Tombo das Belas Artes, as coisas de arte erudita, nacional ou estrangeira;
- 4) no Livro do Tombo das Artes Aplicadas, as obras que se incluírem na categoria das artes aplicadas, nacionais ou estrangeiras. (BRASIL, 1937)

Ainda hoje o mais importante instrumento jurídico de preservação do patrimônio cultural nacional é considerado o Decreto-Lei nº 25 de 1937, mesmo sendo criticado pelo fato de apresentar uma definição limitada do que seja patrimônio cultural e por fundamentar a proteção dos bens apenas no tombamento (OLIVEIRA, 2011).

Oliveira (2011) relata que apoiado no Decreto-Lei nº 25 a primeira fase do SPHAN foi reconhecida pelo trabalho de pesquisa, registro e tombamento do patrimônio brasileiro, sob o comando de Rodrigo Melo Franco de Andrade. Neste período são tombados igrejas, casarões e engenhos, bens que estão vinculados à história oficial do Brasil e representam o modo de viver da classe dominante.

Nas décadas seguintes já sob o nome de Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e seguindo a tendência mundial, é ampliada a definição dos bens a serem protegidos, bem como dos grupos sociais contemplados. Neste período é inserida a ideia de bem cultural, não só histórico e artístico do qual fazem parte as manifestações populares. Tal evolução é consolidada no artigo Art. 216 da

constituição de 1988, no qual insere como patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, referenciais à identidade, ação e memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira. (DIAS,2005)

Art. 216. Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem:

I - As formas de expressão;

II - Os modos de criar, fazer e viver;

III - as criações científicas, artísticas e tecnológicas;

IV - As obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais;

V - Os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico

§ 1º O Poder Público, com a colaboração da comunidade, promoverá e protegerá o patrimônio cultural brasileiro, por meio de inventários, registros, vigilância, tombamento e desapropriação, e de outras formas de acautelamento e preservação. (BRASIL, 1988)

A abrangência do conceito de patrimônio cultural brasileiro é novamente alterada no início do século XX, por meio da institucionalização da proteção e promoção do patrimônio imaterial constituído pelas festas, tradições, lugares, modos de fazer, estabelecida no Decreto nº 3.551, de 04 de agosto de 2000.

Art. 1º Fica instituído o Registro de Bens Culturais de Natureza Imaterial que constituem patrimônio cultural brasileiro.

§ 1º Esse registro se fará em um dos seguintes livros:

I - Livro de Registro dos Saberes, onde serão inscritos conhecimentos e modos de fazer enraizados no cotidiano das comunidades;

II - Livro de Registro das Celebrações, onde serão inscritos rituais e festas que marcam a vivência coletiva do trabalho, da religiosidade, do entretenimento e de outras práticas da vida social;

III - Livro de Registro das Formas de Expressão, onde serão inscritas manifestações literárias, musicais, plásticas, cênicas e lúdicas;

IV - Livro de Registro dos Lugares, onde serão inscritos mercados, feiras, santuários, praças e demais espaços onde se concentram e reproduzem práticas culturais coletivas. (BRASIL, 2000).

A mais recente evolução da proteção do patrimônio cultural brasileiro foi em 2009, através da Portaria nº 127, de 30 de abril, nela adicionada o conceito de paisagem cultural.

Art. 1º. Paisagem Cultural Brasileira é uma porção peculiar do território nacional, representativa do processo de interação do homem com o meio natural, à qual a vida e a ciência humana imprimiram marcas ou atribuíram valores.

Parágrafo único – A Paisagem Cultural Brasileira é declarada por chancela instituída pelo IPHAN, mediante procedimento específico (IPHAN, 2009).

Oliveira (2011) ressalta que dentre os bens culturais tanto o patrimônio imaterial quanto a paisagem cultural, estão em constante evolução reflexo da cultura e da ação humana sobre o ambiente e são aplicados apenas o Registro como patrimônio cultural e chancela de Paisagem Cultural respectivamente.

A regulamentação do tombamento foi instituída pelo Decreto-Lei Nº 25 de 30 de novembro de 1937, segundo o mesmo os bens protegidos são inscritos nos livros do Tombo, sendo que o patrimônio histórico edificado é comumente registrado nos livros do Tombo Histórico, das Belas Artes ou das Artes Aplicadas. O tombamento pode ser voluntário ou compulsório, provisório ou definitivo, parcial ou integral e após o ato qualquer modificação deve ser previamente aprovada pelo IPHAN (BRASIL, 1937).

Cabe salientar que além das medidas de tombamento a ordem jurídico-constitucional atual prevê outras formas de proteção do patrimônio cultural como inventários e registros (DIAS, 2005).

A Constituição Federal estabelece no artigo 23 que a proteção do patrimônio histórico é de competência da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Na esfera da união o IPHAN é o órgão responsável pela identificação, registro, chancela, tombamento e fiscalização dos bens de interesse nacional. Bens de interesse estadual, tombados por órgão estadual e bens de bens de interesse local, tombados por órgãos de defesa do patrimônio existentes no município.

Dias (2005) observa que atualmente o poder público nas esferas da União, dos Estados e dos Municípios dispõem de instrumentos legais dedicados à preservação do patrimônio cultural edificado e criaram órgãos especializados junto às secretarias

de cultura ou então nas secretarias de planejamento urbano para executar as ações preservacionistas.

No âmbito do estado do Rio de Janeiro estão em vigor os seguintes instrumentos legais:

- Decreto-Lei nº 2, de 11 de abril de 1969 - Define os Bens Integrantes do Patrimônio Histórico, Artístico e Paisagístico do Estado da Guanabara e institui medidas para a sua proteção. Regulamenta o tombamento na esfera estadual;
- Lei nº 509, de 3 de dezembro de 1981 - Dispõe sobre o Conselho Estadual de Tombamento e dá outras providências. Atribui ao Conselho Estadual de Tombamento a tarefa de emitir parecer prévio sobre os atos de tombamento, as práticas de quaisquer atos que de alguma forma alterem a aparência, a expedição de licença para obra e a instalação de atividade comercial ou industrial em bem tombado pelo Estado;
- Decreto nº 23.055, de 16 de abril de 1997 - Dispõe sobre a Tutela do Patrimônio Cultural do Estado. Delega ao INEPAC a competência do Estado, relativo à prevenção, controle e repressão de atividades que ponham em risco ou causem dano aos bens culturais. Estabelece ainda a atribuição de vigilância, tutela, fiscalização e imposição de penalidades ao órgão e determina que reparações, modificações, restaurações pinturas ou remoções em de bens protegidos pelo tombamento necessitam da prévia autorização do órgão competente.

#### 2.4. DIRETRIZES GERAIS PARA A CONSERVAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESTAURO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO

As diretrizes para a conservação, manutenção e restauração do patrimônio cultural são fundamentadas em princípios teóricos e Cartas Patrimoniais propagadas por instituições acadêmicas e órgãos internacionais. KÜHL (2006) adverte sobre o caráter indicativo das Cartas, nunca normativo e ressalta que os seus conteúdos necessitam ser ajustados e interpretados para as realidade e legislação brasileira o que não colabora para aplicabilidade dos atuais instrumentos teóricos do restauro para guiar intervenções concretas nesses bens tombados.

Segundo KÜHL (2006) a legislação brasileira em suas diferentes esferas não define ou instrui acerca dos princípios de restauro e das modalidades de intervenção, atribuindo esta missão às Cartas Patrimoniais. Coelho (2003) expõe que além das preocupações projetuais habituais com gestão urbana, viabilidade de implantação e mitigação dos impactos ambientais a proposição de alterações em edificações tombadas demanda atenção extra com programa de necessidades e técnicas construtivas. São ainda frequentes as lacunas sobre a manutenção da autenticidade do bem, atualidade da intervenção proposta, escolha do que deve ou não ser mantido e preservado ou ainda sobre como preservar a representação da memória coletiva.

O resultado é que poucos são os casos em que os projetos de intervenção no patrimônio histórico brasileiro apresentam reflexão teórica que seja aplicada nas ações práticas. A existência de uma legislação que fundamente os conceitos de restauro aliada a ações de disseminação da cultura de preservação abordaria de forma mais direta o público interessado diminuindo julgamentos enganosos e consequentemente melhorando a qualidade das intervenções implantadas. (SOARES e OLIVEIRA, 2013)

Alois Riegl foi uns dos primeiros teóricos a defender conceitos mais amplos com relação as ações em patrimônios históricos, segundo o mesmo as intervenções não devem ser entendidas em sentido único, sustentando que mesmo em um único contexto histórico, não existe uma solução única e universal mas sim várias soluções cuja pertinência é relativa, sem com significar que a decisão seja arbitrária, deve se trabalhar sob um metodologia sólida que respeite a complexa estrutura e estratificações históricas da obra (KÜHL, 2006)

Coelho (2003) expõe que embora o termo restauração seja usado para a maioria das intervenções executadas nos bens culturais, a intervenção no bem imóvel arquitetônico de valor cultural pode dar-se de diversas formas e classifica os tipos de intervenção com intuito de preservação como sendo restauração, conservação, Reconstituição, *retrofit*, reconstrução ou réplica. A restauração é definida como ação que proporciona a devolução da unidade potencial da obra, preenche as lacunas, que recompõe a imagem. A conservação é a intervenção com intenção de garantir a integridade física seja ela estrutural ou estética da obra. A reconstituição também é conhecida como Anastilose e objetiva a reunião de fragmentos dispersos. A

reconstrução é a recriação de um edifício desaparecido no local original e a réplica é a cópia exata de um original ainda existente (COELHO, 2003).

Mesmo que abrangente o intuito de manter o patrimônio edificado original dentro da diversidade das manifestações culturais, expresso nos princípios de restauro e modalidades de intervenção discutidos atualmente, são fruto de reflexões desenvolvidas ao longo de séculos e resultado da consciência histórica cuja trajetória é necessária para compreensão dos conceitos contemporâneos.

#### 2.4.1. Princípios teóricos

KÜHL (2006) descreve que as primeiras ações de preservação de bens culturais datam do século XV e XVIII a partir do momento em que as reformas em obras de épocas anteriores deixam de ser motivadas apenas por questões essencialmente práticas e utilitárias e passam a ter preocupações culturais. Assim como no período do renascimento no iluminismo há um grande interesse pela cultura clássica, em ambos era corrente a reutilização de partes de edificações da Antiguidade greco-romana em edificações recentes. Entretanto é apenas no século XX que a preservação se consolida como campo disciplinar autônomo.

Ainda no século XVIII são criadas duas correntes de preservação opostas representadas pelo francês Eugène Viollet-le-Duc e pelo britânico John Ruskin. O trabalho de Viollet-le-Duc se desenvolve no contexto da revolução francesa e do movimento eclético onde todos os estilos arquitetônicos são utilizados, assim suas intervenções tinham como objetivo o estado completo idealizado da obra representante de unidade de estilo, mesmo que para alcançá-lo fossem realizadas adições ou substituições extemporâneas e desconsideradas o histórico da obra (KÜHL, 2006).

Ruskin por outro lado critica os “falsos históricos” criados por Viollet-le-Duc, e defende respeito absoluto pela matéria original e pelo estado atual, as edificações históricas deveriam resguardar suas condições originais, sem que fossem realizados complementos. William Morris compartilhou dos conceitos de Ruskin enfatizando a questão do tempo histórico e a autenticidade da obra original e recomendando manutenções para prolongar vida do edifício (BRAGA, 2003) (KÜHL, 2006).

Influenciados pelos conceitos ingleses os italianos Camillo Boito, Giacomo Bonni e posteriormente, Gustavo Giovannoni. Apesar de crítico à postura

inglesa Boito esboçou um tratado italiano de restauração que promovia uma conservação estrita, que recomendava a mínima intervenção e prezava pelo respeito a matéria original, pelas marcas da passagem do tempo e pelas várias fases da obra, no caso de acréscimos contemporâneos estes deveriam ser distinguíveis da ação original. Giovannoni seguidor de Boito amplia o conceito de conservação do monumento para conservação do seu entorno. (KÜHL, 2006).

Neste mesmo período na Áustria Alois Riegel enfatiza no valor documental dos monumentos sobre o papel dos monumentos históricos e suas formas de apreensão por uma dada sociedade e englobando também os aspectos normativos que se constituem como passos fundamentais para consolidação da preservação de bens culturais como um campo disciplinar autônomo (KÜHL, 2006).

No século XIX em Roma, são desenvolvidos dois métodos coincidentes e destinados à preservação dos edifícios históricos, mas com objetivos divergentes. O método denominado anastilose buscava a reconstrução dos monumentos arquitetônicos usando elementos originais de forma identificável a distância, já o da reintegração que consistia na recomposição de partes faltantes desde que não modifiquem o aspecto (BRAGA, 2003).

Como consequência da destruição de várias edificações de caráter histórico durante a Segunda Guerra Mundial surgem novas proposições no campo da restauração evidenciando a inadequação de se trabalhar com "neutros" no complemento de edifícios ou com o tratamento de conjuntos. Cesare Brandi, Roberto Pane, Renato Bonelli e Paul Philippot promovem o chamado "restauro crítico", reformulam as teorias de restauração afirmando que toda intervenção constitui um caso em si, não possível de classificar em categorias, não responde a regras prefixadas mas deve ser reinventado com originalidade observando a sensibilidade histórico-crítica. A restauração deve ter em vista a distinguibilidade, a reversibilidade e a mínima intervenção. (BRAGA, 2003).

Dentre as teorias atuais de destaca uma corrente "crítico-conservativa e criativa" desenvolvida por Carbonara e a "posição central" de Miarelli Mariani, ambas são releitura do restauro crítico, e adotam uma posição conservativa, prudente, que não significa congelamento. As ações de intervenção devem ser fundamentadas no juízo histórico-crítico, nos valores documentais e formais da obra como imagem figurada (KÜHL, 2006).

Paolo Torsello, Marco Dezzi Bardeschi, Amedeo Bellini, Anna Lucia Maramotti representam uma outra vertente intitulada "pura conservação" ou "conservação integral". Nela é privilegiada a visão histórica retomando a discussão Ruskin, Morris, Boito e Riegl e preservadas as edificações tal qual estão atualmente, sem intervenções de juízos de valor, a limpeza, manutenção e remoção de patologias são consideradas primordiais para preservação (KÜHL, 2006).

#### 2.4.2. **As cartas patrimoniais e a proteção de edificações históricas.**

As Cartas patrimoniais são redigidas em encontros nacionais e internacionais promovido pelo Conselho Internacional de Monumentos e Sítio (ICOMOS) vinculado a UNESCO. KÜHL (2006) ressalta as instâncias nacionais e internacionais e os diversos documentos produzidos pelo conselho alertando que apenas as Cartas Patrimoniais são fruto da Assembleia Geral, ou seja, são documentos sucintos que reúnem os pontos de consenso e possuem caráter indicativo ou prescritivo.

Soares e Oliveira (2013, p. 143) ressaltam que as cartas não se configuram como um conjunto homogêneo e coerente de documentos, sua importância é notória, entretanto dentre elas existe inclusive incoerências e até contradições. Em duas palavras: "Sua função é de orientar a reflexão teórica e crítica que propicie o debate dos aspectos teórico e metodológicos e técnico operacionais da restauração."

Existem atualmente cerca de 40 cartas Patrimoniais, continuamente complementadas. Braga (2003) seleciona como as principais no tocante a restauração e conservação do patrimônio histórico edificado a Carta de Atenas 1930, Carta de Veneza 1964, Carta do Restauo 1972. É ainda relevante o registro brasileiro Compromisso Brasília 1970.

A primeira carta foi elaborada em 1931 como resultado de reunião do Escritório Internacional dos Museus Sociedade das Nações, em Atenas. No tocante à preservação e ao restauro dos patrimônios históricos são ressaltados a necessidade tanto de organizações que trabalhem na atuação e consultas, quanto de legislações que amparem tais ações, expõe ainda a responsabilidade do poder público em inventariar os seus bens, garantindo assim o direito coletivo.

Fruto do II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos em 1964, a Carta de Veneza é considerada um dos documentos de maior importância para as questões de conservação e restauro. Segundo KÜHL (2006)

mesmo após décadas nenhuma outra carta foi elaborada em sua substituição, não por inaptidão, mas porque seus princípios são considerados fundamentalmente válidos ainda hoje. Para abranger a expansão do conceito de bem cultural ao longo deste período foram produzidos documentos integrativos e de aprofundamento.

A carta de Veneza está embasada na teoria do Restauro Crítico, enfatiza a restauração como uma ação excepcional e que a manutenção constante deve proporcionar a conservação da edificação. Expõe ainda que ao serem dotados de destinações úteis para a sociedade a conservação de edifícios históricos é favorecida, desde que sejam respeitados certos limites nas adaptações. O caráter de documento histórico dos bens culturais é ressaltado:

Portadoras de mensagem espiritual do passado, as obras monumentais de cada povo perduram no presente como o testemunho vivo de suas tradições seculares. A humanidade, cada vez mais consciente da unidade dos valores humanos, as considera um patrimônio comum e, perante as gerações futuras, se reconhece solidariamente responsável por preservá-las, impondo a si mesma o dever de transmiti-las na plenitude de sua autenticidade (ICOMOS, 1964, p. 1).

Logo os bens culturais não devem ser reproduzidos e deslocados apenas em caso indispensável para sua preservação. Recomenda-se que nos casos em que seja necessária a substituição de partes faltantes estes sejam integrados harmoniosamente, entretanto distinguindo as partes originais (anastilose). A carta defende ainda a formulação plano internacional onde sejam reunidos princípios de preservação e restauração cuja a aplicação seja adaptada por cada nação adequando ao contexto cultural local (ICOMOS, 1964).

Em 1970 foi realizado em Brasília o 1º Encontro dos governadores de Estado, secretários estaduais da área cultural, prefeitos de municípios interessados, presidentes e representantes de instituições culturais. A principal contribuição deste encontro é a indicação de criação de órgãos estaduais ou municipais ligados aos Conselhos Estaduais de Cultura e ao Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional transformado em IPHAN anos depois (MEC, 1970).

Na Itália em 1972 o Ministério da Instrução Pública divulga a documento chamado de Carta do Restauro, apesar de direcionada à sociedade italiana possui grande relevância, pois se constitui como um exemplo da adaptação dos conceitos sintetizados na Carta de Veneza em orientações praticas para restauração, nela são

expressas diretrizes para intervenções de restauração em todos os tipos de obra de arte. Define atribuições e distribui responsabilidades entre a estrutura italiana de Instituições responsáveis pela conservação do patrimônio histórico artístico e cultural. Proíbem aditamento de estilo, remoções ou demolições que apaguem a trajetória da obra através do tempo exceto quando alterem os valores históricos da obra ou aditamentos de estilo que a falsifiquem, remoções, reconstruções ou transladações para locais diferentes dos originais, alteração das condições de acesso, ambientais (ITÁLIA, 1972).

## 2.5. PRINCÍPIOS IDENTIFICADOS

Em primeiro lugar foi possível compreender que no âmbito da preservação do patrimônio histórico não é pertinente a instauração de leis restritas, definitivas e demasiadamente específicas, cada edifício possui características particulares e a sua preservação deve ser analisada individualmente. Isso não significa que as intervenções sejam realizadas de forma infundada, as cartas patrimoniais e princípios teóricos apresentam os preceitos gerais a serem seguidos.

Outro ponto a destacar é que a preservação não deve ser entendida como imobilismo, a falta de regras específicas pode gerar insegurança, mas não deve levar ao congelamento histórico destas edificações. Como manifestado por KÜHL (2006), a preservação representa um ato de respeito ao passado inserido no tempo presente.

Para nortear as intervenções nestas edificações existem orientações e princípios fundamentados em séculos de propostas teóricas e experiências práticas. Mesmo possuindo algumas diferenças foi possível identificar nas tendências contemporâneas alguns princípios fundamentais:

- O respeito pelo objeto original por meio da mínima intervenção;
- A distinguibilidade da intervenção, adotando a ruptura entre o passado e o presente como meio de ressaltar verdade e a autenticidade do objeto original;
- A reversibilidade, as técnicas utilizadas não devem impedir as intervenções futuras, ou retorno a sua forma anterior;
- A adoção do uso como um meio de preservação dos edifícios e não como a finalidade da intervenção;

- A utilização de técnicas de manutenção e limpeza para conservação da edificação.

As intervenções devem ainda atender às medidas e características já elencadas pelos de órgãos de proteção como essenciais para preservação do valor histórico e artístico da edificação.

Avaliando a de manutenção e durabilidade da edificação podem ainda ser acrescentados:

- Atendimento aos critérios normativos de estanqueidade, resistência e durabilidade;
- Simplicidade de limpeza e manutenção.

# CAPÍTULO 3 | ENERGIA E EFICIÊNCIA

Este capítulo expõe dados sobre a geração e consumo de energia em escala mundial e nacional com fim de contextualizar e conceituar a eficiência energética nas edificações. É abordado o papel da envoltória no consumo de energia predial e por fim são identificados os princípios a serem adotados na seleção de materiais para intervenções em fachadas e coberturas que proporcionem maior a eficiência energética das edificações.

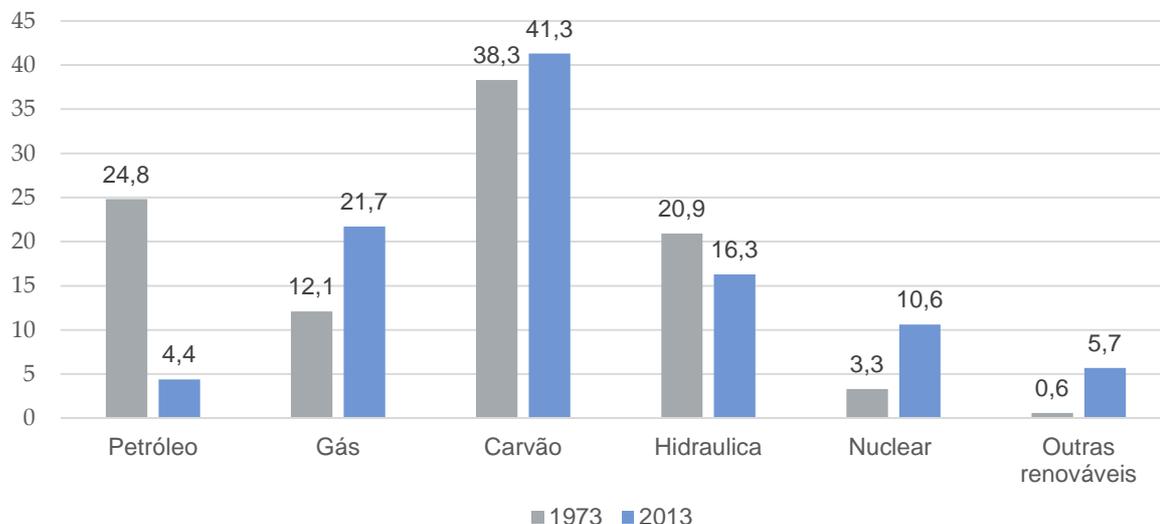
### 3.1. GERAÇÃO E CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL

O relatório *Key World Energy Statistics* de 2015 produzido pela Agência Internacional de Energia (IEA) expõe que fornecimento de energia mundial mais que duplicou nos últimos 30 anos. Em 1973 foram produzidos 6100 Mtoe, em 2013 esse número era de 13.541 Mtoe (IEA, 2014), segundo a CNI (2007) este aumento foi alavancado pelo crescimento das economias emergentes como a China e a Índia.

Entre os anos 70, auge da crise energética mundial e os dias atuais foram significativas as alterações na matriz energética mundial, principalmente pelo incremento da participação da fonte nuclear e de fontes renováveis. Dados da IEA (2014) demonstram que o petróleo, o gás natural e o carvão continuam sendo as principais fontes energéticas mundiais, porém o alto preço do petróleo, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias, fizeram com que seu consumo fosse diminuído frente as demais fontes. Em contrapartida, houve avanço da fonte nuclear, hidráulica e outras renováveis; em 1973 estas somavam 2,8 % do consumo total por energia primária, aproximadamente 170 Mtoe, ao passo que em 2013, o consumo foi de 8,4%, aproximadamente 1.137 Mtoe.

Especificamente com relação a geração de energia elétrica, conforme dados da IEA (2014), nos últimos 30 anos a produção mundial aumentou de 6.131 TWh em 1973 para 23.322 TWh em 2013. Fontes tradicionalmente utilizadas como carvão e petróleo vem perdendo importância frente a novas alternativas com menor emissão de CO<sub>2</sub>. O gás natural e a energia nuclear vêm assumindo maior importância, embora haja relatos de acidentes, como o ocorrido na usina de Fukushima (Japão) em 2011. Outras fontes de energia renováveis como biocombustíveis, biomassa, geotérmica, eólica e solar cresceram significativamente conforme sinalizado na Figura 4.

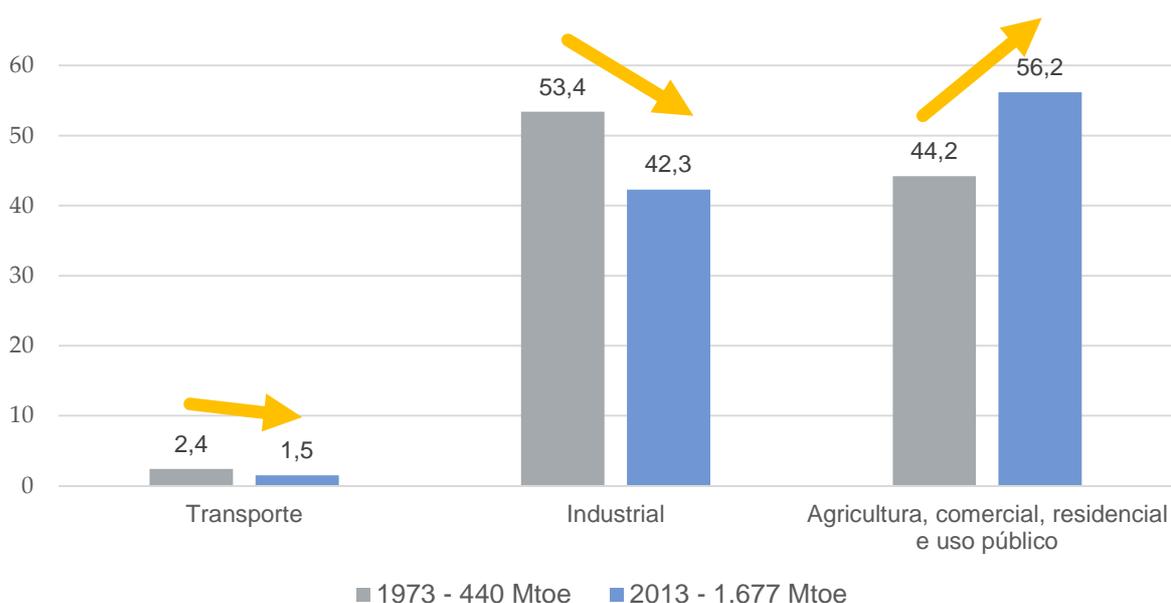
Figura 4: Gráfico de geração mundial de eletricidade por fonte de energia (%).



Fonte: Key World Energy Statistics, IEA (2014)

Por outro lado, quando comparados dados da utilização mundial de energia elétrica a década de 70, nota-se uma inversão entre dos setores com maior consumo. O IEA (2014) relata que em 1973 o setor Industrial era o maior consumidor energético, com 234 Mtoe representando cerca de 53,4% do total de consumo. Em 2013, a maioria do consumo foi oriundo dos setores agrícola, comercial, residencial e uso público, correspondendo a 56,2 % do consumo total, como demonstra a Figura 5.

Figura 5: Consumo mundial de eletricidade por setor.



Fonte: Key World Energy Statistics, IEA (2014)

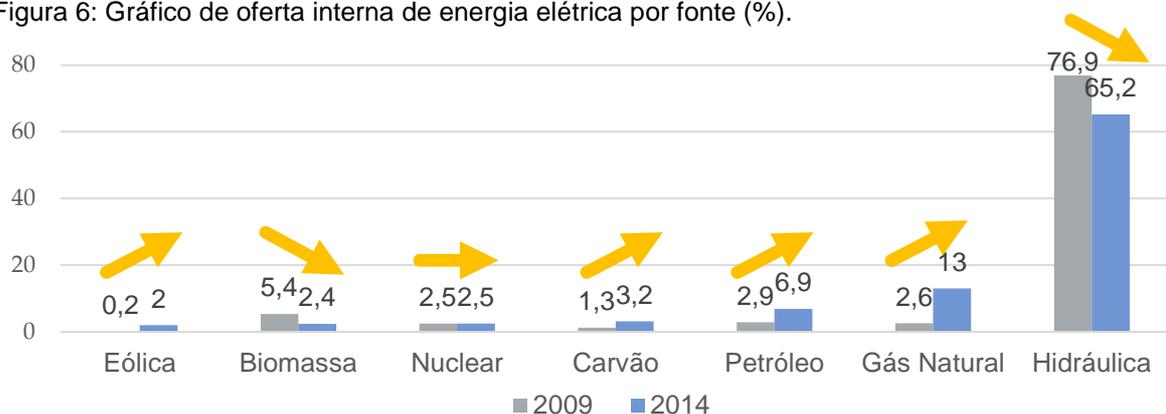
### 3.2. GERAÇÃO E CONSUMO ENERGÉTICO NACIONAL

No Brasil, dados do EPE (2015) refletem que na década de 70 a produção total de energia do país estava em torno de 50.000 Ktoe, em 2009 este número foi para 240.567 Ktoe e em 2014 272.633 Ktoe.

Mesmo com a predominância do petróleo, a matriz energética brasileira possui características bastante peculiares em comparação a geração energética global. As fontes renováveis representam cerca de 39,4% da geração nacional, enquanto a média mundial é de apenas 14%. A segunda maior fonte de energia corresponde aos produtos da cana de açúcar, como etanol e biomassa, que representam 18,1% da geração total, seguidos do gás natural com 11,6%, hidráulica com 11,8% e lenha 9,1%. (EPE, 2015).

O EPE (2015) afirma que a geração de energia elétrica no Brasil em 2014 foi de 590,5 TWh, apesar de caracterizada pela geração por fonte hidráulica, há uma clara tendência de aumento da geração por fontes não renováveis. A fonte hidráulica foi responsável por 65,2 % da geração em 2014, embora no comparativo entre 2009 e 2014 tenha ocorrido diminuição de 11,7%, conforme aponta Figura 6. Justificado por questões climáticas e a conseqüente expansão da operação de usinas termoenergéticas movidas por petróleo, carvão e gás natural. Para CNI (2007, p.13) a expansão da geração por fonte hidráulica esbarra em dificuldades para licenciamento ambiental e segundo o mesmo “vem sendo mais fácil obter licenças ambientais para usinas termoelétricas a óleo diesel, ou que utilizam outro combustível, que para usinas hidroelétricas”.

Figura 6: Gráfico de oferta interna de energia elétrica por fonte (%).



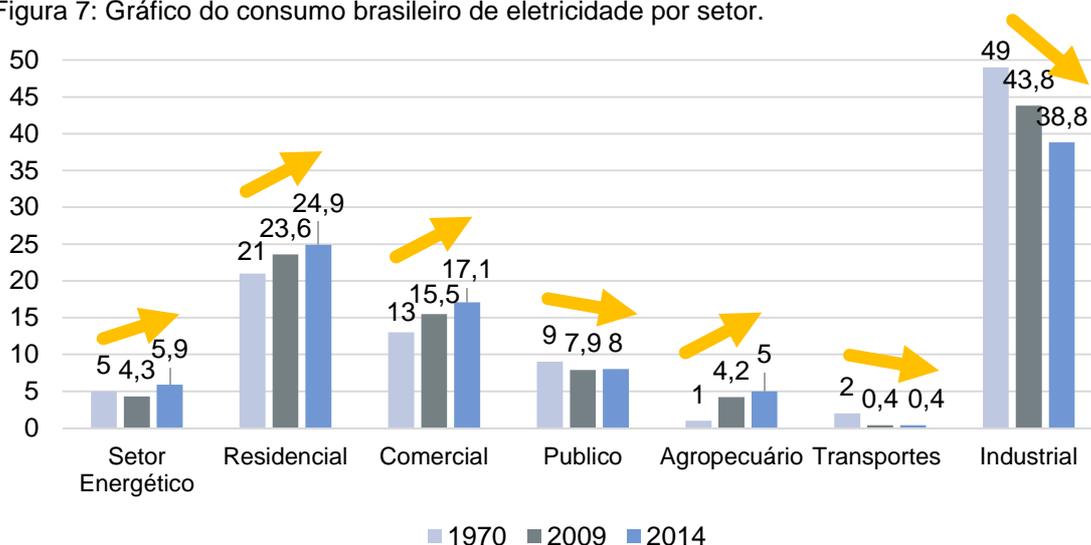
Fonte: Balanço Energético Nacional 2015, EPE (2015)

O consumo total de energia elétrica no Brasil no ano de 2014 foi de 39.673 GWh, nota-se que corroborando a tendência mundial, há uma diminuição da participação Industrial quando comparados com os dados dos anos de 1970.

Os setores agrícola, comercial, residencial e uso público correspondem a 61 % do total nacional em detrimento da menor participação dos setores industriais com 38,8% e de transportes com 0,4% (EPE, 2006; EPE, 2015).

Com urbanização do país, adensamento das cidades o setor de edificações vem assumindo grande importância no consumo de energia elétrica. Dados do EPE (2015) relatam que em 2014 as edificações representam 50% da utilização nacional, o setor residencial 24,9%, o Comercial 17,1% e público 8% (EPE, 2015), conforme apresentado pela Figura 7.

Figura 7: Gráfico do consumo brasileiro de eletricidade por setor.



Fonte: Balanço Energético Nacional 2015, EPE (2006) (2015)

### 3.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência energética pode ser conceituada como o uso de menor energia para fornecer o mesmo produto ou serviço (PATTERSON,1996 apud EPE, 2010). A definição do MME (2011), acrescenta que são ações que resultam na diminuição da energia para atender as demandas por luz, calor/frio, transportes, processos indispensáveis à sociedade, atendendo às necessidades da economia com menor uso de energia primária e menor impacto da natureza.

A crise energética mundial de 1970 foi a grande motivadora do desenvolvimento de novas fontes e de tecnologias para eficiência energética. Segundo Dias (1984), naquele momento o petróleo era a base da matriz energética de grande parte dos países, correspondendo a 40% da energia primária usada no mundo e influenciava também no preço das demais fontes. O embargo da *Organization of the Petroleum Exporting Countries* (OPEC) fez com que a cotação do barril de petróleo disparasse, alertando para a limitação deste recurso. Desde então novas fontes foram desenvolvidas, renováveis e menos poluentes, novas tecnologias para maior eficiência no uso da energia. Entretanto, no contexto nacional a “crise do apagão” foi fator impulsionador da eficiência energética, focada principalmente em energia elétrica. Causada por poucas chuvas, em uma matriz baseada maciçamente em fonte hidroelétrica, mudanças no modelo de gestão e falta de planejamento e investimentos em geração e transmissão de energia, a crise de 2001 ocasionou a necessidade de diminuição em 20% do consumo de eletricidade no país.

A meta de economia foi alcançada através de políticas públicas severas que impunham aos consumidores bonificações, multas e até mesmo interrupção no fornecimento. Graças às campanhas governamentais, em pouco tempo o tema da eficiência energética já fazia parte do cotidiano de grande parte da sociedade (BARDELIN, 2004).

Bardelin (2004), ressalta a reação da população como um dos fatores positivos do racionamento. Os consumidores adquiriram maior conhecimento de métodos de economia de energia elétrica, bem como conscientização sobre seus benefícios. O autor acrescenta que, em pesquisa realizada naquele ano pela CNTSensus, 90% da população pretendia continuar poupando energia.

Outros reflexos positivos da “crise do apagão” foram: a criação de leis de incentivo a geração de fontes alternativas, investimentos estatais em programas de eficiência energética, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), financiamentos dirigidos a substituição de máquinas obsoletas de alto consumo, além da diversificação de fontes da matriz energética brasileira, com investimentos em usinas termoelétricas movidas a carvão, óleo e gás.

O impacto da construção da rede de novas usinas termoelétricas, foi percebido pelos consumidores brasileiros apenas início de 2015, quando entrou em vigor o reajuste das taxas do sistema de bandeiras tarifárias que transfere os custos de geração de energia para as faturas. A geração de energia pelas termoelétricas movidas a óleo diesel em 2013, foi 66% mais onerosa que o da energia produzida em hidrelétricas desde 2005. A quantidade de termelétricas saltou de 53 em 2001 para 1100 usinas em 2012, com aumento produção de 16400 megawatts (MW) neste período (CCEE, 2014).

Diante deste cenário, a curto prazo resta aos consumidores brasileiros novamente reduzir o desperdício de energia. Os principais benefícios do uso eficiente e do combate ao desperdício de energia, consiste na proteção e na melhoria do meio ambiente, na economia de recursos financeiros e na maior competitividade produtiva (LORA e TEIXEIRA, 2006). Com relação ao meio ambiente, todas as fontes de geração de energia elétrica causam impactos ambientais. O petróleo, carvão e gás contribuem para a emissão dos gases de efeito estufa e poluição atmosférica. Mas mesmo fontes renováveis, como hídricas, solar e eólica, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna e interferem no clima (INATOMI e UDAETA, 2007).

A economia de recursos financeiros é obtida pela possibilidade de postergação de investimentos em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia. Ao adotar a eficiência energética, se cria a chamada “usina virtual” de energia, na qual o que se evita consumir acaba por ser utilizado por outros clientes, afinal “A energia mais barata é aquela que não se usa” (MMA,2015, p. 19). O terceiro benefício, pode ser justificado pela redução de gastos do setor público repassados aos fabricantes e consumidores, reduzindo assim custos de produção de materiais e aumentando competitividade (GELLER e COSTA, 1991 apud LAMBERTS *et al.*, 2014).

O governo brasileiro, por meio do Plano Nacional de Eficiência Energética, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2011), expõe como prioritário o aperfeiçoamento de tecnologias eficientes bem como de mecanismos de conservação e gestão do uso da energia para alcançar a meta de redução de 10% do consumo de energia ao final de 2030.

Como citado pelo MMA (2015), a arquitetura pode contribuir para reduzir o consumo através da utilização de técnicas bioclimáticas, uso de materiais,

equipamentos e tecnologias que permitem um melhor uso da eletricidade, sem abrir mão do conforto dos usuários.

### 3.3.1. Eficiência energética em edificações

A adaptação da definição de eficiência energética aplicada a arquitetura apresentada por Lamberts *et al.* (2014, pag. 5) possui maior coerência com o objetivo desse trabalho. Segundo os autores:

A eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente a edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Ainda segundo Lamberts *et al.* (2014), as edificações residenciais, comerciais e públicas são as mais propícias para contribuições dos arquitetos em ações de eficiência energética, uma vez que, grandes partes do consumo industrial provem de máquinas e motores.

O MME (2011), relata que as tecnologias desenvolvidas após a revolução industrial propiciaram a criação de um estilo internacional na arquitetura, no qual a mecanização de soluções possibilita sua reprodução em lugares com diferentes condições ambientais. Sistemas de iluminação e de climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima.

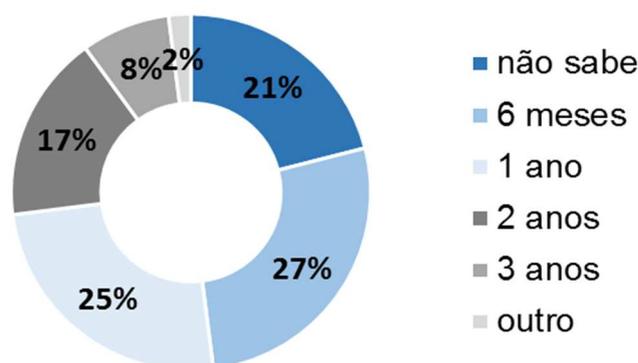
O atual contexto de eficiência energética faz com que profissionais repensem tais soluções, as quais necessitam de grande aporte de energia, primando garantir o conforto humano através de práticas regionalistas, adaptadas ao clima e as características locais, potencializando os recursos naturais existentes.

Em edificações existentes o *retrofit* energético, ou seja, reformas para melhoria da eficiência energética, podem oferecer ganhos significativos. Estudos do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), demonstram que uma edificação pública que tenha passado por *retrofit* pode ter o consumo de energia reduzido em até 30% ao ano (MMA, 2015). O MME (2011) afirma que nestes casos, o potencial de redução de consumo de energia nas edificações brasileiras seria de 50% nas novas e 30% nas já existentes.

Por meio da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, realizada pelo Procel (2009), foi possível perceber a importância, o grau de conscientização e a disponibilidade em investimento das empresas e instituições, com relação eficiência energética. Na ocasião, 65% das empresas comerciais e 52% das instituições públicas pesquisadas, afirmaram que a eficiência energética foi colocada entre as duas prioridades para a instalação em ampliação ou reforma das instalações ou aquisição de novos equipamentos. A propensão de investimento em medidas de eficiência energética, foi observada através de 2 dados: 48% das empresas públicas realizam alguma avaliação da utilização da energia nas instalações e nas empresas comerciais, o custo com energia elétrica representa cerca de 14% do custo total das empresas.

Grande parte das empresas ainda avaliam a maior vantagem competitiva representada em reduzidos custos de operação e menores impactos ambientais na avaliação da viabilidade dos investimentos em eficiência energética. As empresas também foram questionadas sobre tempo razoável para retorno dos investimentos em eficiência energética, 52% das empresas consideraram desejável um retorno rápido, entre 6 meses a 1 ano (Figura 8), prazo maior que o afirmado no MMA (2015), de até quatro anos para auto pagamento dos investimentos em edifícios energeticamente eficientes.

Figura 8: Gráfico percentual de empresas por tempo de retorno para projetos de eficiência Energética

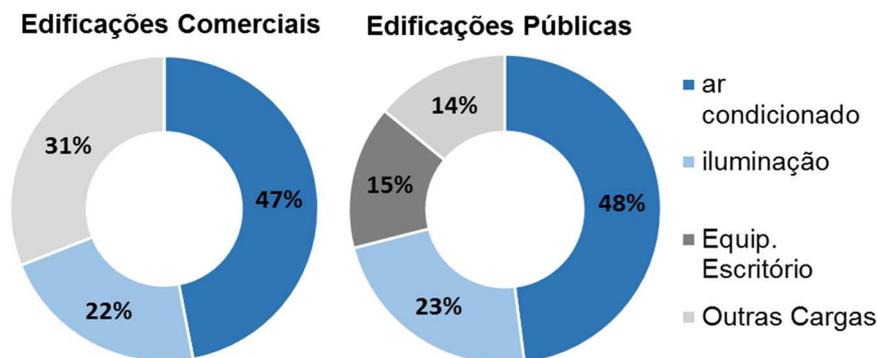


Fonte: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005, Procel (2009).

A pesquisa Procel (2009) afirma que a iluminação e o ar condicionado consistem nos maiores usos finais da energia de edificações públicas e comerciais (Figura 9), representando 69% do consumo total destas últimas, as demais cargas correspondem aos equipamentos específicos de cada negócio. Em edifícios públicos, o ar condicionado e a iluminação são responsáveis por 71% da energia elétrica

consumida, o restante está associado aos equipamentos de escritório, sistemas de bombeamento de água e de transporte vertical. Estes dados corroboram para a justificativa do MMA (2015) sobre a inversão do horário de pico no consumo elétrico no verão de 2009, quando nos meses de verão, ao invés de ocorrer no início da noite como de costume, sucedeu no meio da tarde graças ao aumento do uso de ar condicionado.

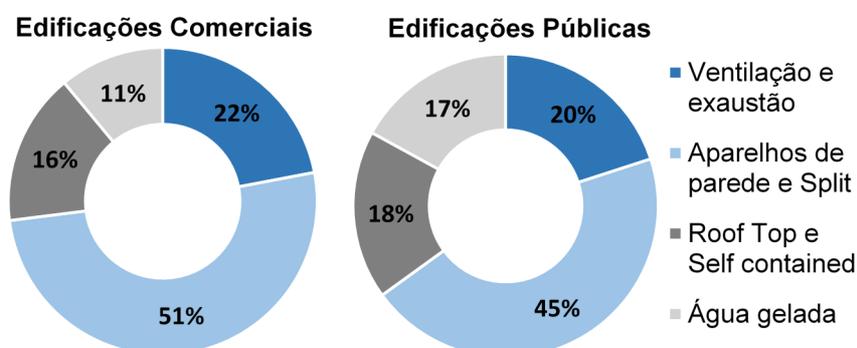
Figura 9: Gráfico de distribuição do consumo por uso final.



Fonte: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005, Procel (2009).

Na pesquisa Procel (2009) também foi identificado que o acondicionamento ambiental possui grande potencial de economia tanto em edificações comerciais quanto públicas. Observou-se um grande percentual de equipamentos obsoletos ou inapropriados ao uso, para os quais podem ser utilizadas tecnologias mais eficientes de geração de frio e melhor controle dos sistemas. Os sistemas individuais de parede e/ou split foram os mais encontrados nas instalações comerciais (76,6%) e públicas (82%), conforme Figura 10.

Figura 10: Gráfico do percentual de empresas que dispõem de sistemas de ar condicionado e/ou ventilação.



Fonte: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005, Procel (2009).

No que tange a iluminação, a pesquisa Procel (2009) identificou que é possível alcançar grande economia. Em ambos os tipos de edificações, as lâmpadas

fluorescentes tubulares são as mais comuns para iluminação interna e externa, nos comerciais somam 54% e nas públicas 54,6% (Tabela 1: ).

Tabela 1: Iluminação predominante por tipo de área.

Tipo de lâmpada	Comercias			Públicas		
	Interna (%)	Externa (%)	Total (%)	Interna (%)	Externa (%)	Total (%)
Incandescente	8,5	10,7	9,4	3,3	8,3	5,5
Fluorescente compacta	15,8	11,8	14,1	8,8	2,8	6,1
Dicroica	1,4	0,8	1,2	0,0	0,0	0,0
Fluorescente tubular	72,5	22,7	54,0	87,9	12,5	54,6
Mista	0,1	13,4	5,6	0,0	23,6	10,4
Vapor mercúrio	0,2	14	5,9	0,0	11,1	4,9
Vapor sódio	0,1	9	3,8	0,0	25,0	11,0
Vapor metálico	0,8	9,5	4,4	0,0	9,7	4,3
Outra	0,5	3,1	1,6	0,0	7,0	3,2
Total	100	100	100	100	100	100

Fonte: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005, Procel (2009).

### 3.3.2. Eficiência energética em envoltórias

No Brasil a adoção de ações de eficiência energética em sistemas de iluminação, ar condicionado e envoltória proporcionariam grande potencial de redução de consumo de energia em edificações novas e existentes (MME, 2011). Pessoa *et al.* (2013) ressaltam que as envoltórias ineficientes, não propiciam a utilização adequada da iluminação e climatização naturais, estimulam os gastos com iluminação artificial e ar condicionado durante a vida útil da edificação (PESSOA *et al.*, 2013).

É frequente a adoção de modelos de construção importados de países de climas frios sem a correta adaptação ao clima local, ocasionando assim maior gasto energético da edificação. Estes modelos são eficientes em ambientes onde o aquecimento é responsável por boa parte da energia consumida nas edificações, logo é priorizada a conservação do calor interno através de materiais de isolamento e a potencialização da captação de radiação solar através de extensas fachadas

translucidas. Tais medidas quando implantadas em climas de altas temperaturas e grande insolação faz com que seja necessário o resfriamento artificial constante.

Em grande parte das zonas climáticas brasileiras, o maior consumo energético dos prédios provém de seu resfriamento; a redução da climatização artificial depende essencialmente das características da envoltória das edificações. Logo a solução de envoltória mais adequada é aquela que se adequa as características climáticas do local onde está implantada a edificação (PIRRÓ, 2015; VIEIRA, 2014).

Segundo Pirró (2015, p. 2) a envoltória: “se trata do elemento arquitetônico que separa, e ao mesmo tempo, relaciona o edifício com o meio externo”. Vieira (2014) acrescenta que os materiais e formas das envoltórias podem facilitar ou dificultar as trocas térmicas, sendo ainda capaz de controlar ganhos e perdas de calor, quantidade de luz natural e ventilação (PIRRÓ, 2015).

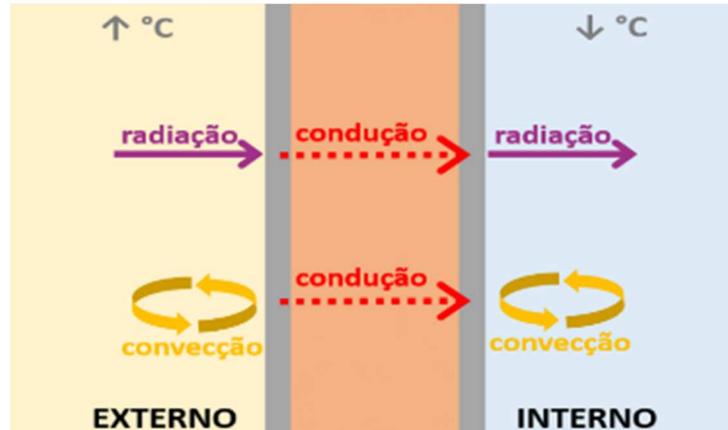
A definição do INMETRO (2013) é mais técnica e caracteriza a envoltória da edificação como os planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, englobando fachadas, coberturas e elementos que as compõem como empenas, aberturas, brises e marquises.

Tanto para Marques (2013) quanto para Frota e Schiffer (2001), a concepção de edificações confortáveis e eficientes energeticamente depende da compreensão do comportamento térmico das edificações. Esta compreensão e definição de estratégias bioclimáticas aplicáveis está relacionado a análise de três fatores: clima local, propriedades dos materiais e trocas térmicas.

As trocas de calor entre os corpos acontecem devido a presença de temperaturas diferentes entre estes, ou pela mudança do seu estado físico, também chamado de estado de agregação da matéria. No Primeiro caso, as trocas térmicas são consideradas secas, ocorrendo por convecção, condução e radiação. No segundo caso as trocas são consideradas úmidas e realizam-se por evaporação e condensação (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Nas trocas térmicas secas, explicadas na Figura 11, a energia transmitida é chamada de calor sensível. A convecção é a troca de calor entre um corpo sólido e um gás ou líquido, quando esta troca ocorre entre corpos em contato é denominada condução. Já a radiação é troca de calor entre corpos distantes através da capacidade de emitir e de absorver energia térmica por ondas eletromagnéticas (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Figura 11: Esquema de fenômenos de trocas térmicas secas atuantes na envoltória.



Fonte: Frota e Schiffer (2001), adaptado.

As trocas térmicas úmidas dispõem grande quantidade de energia e a energia transmitida é chamada de calor latente. A evaporação é a troca do estado líquido para o estado gasoso, durante este processo o calor é retirado do corpo. Na condensação, há mudança do estado gasoso para o estado líquido, onde durante o processo o corpo ganha calor. A condensação do vapor d'água contido no ar é o chamado ponto de orvalho (FROTA e SCHIFFER, 2001). Desta forma, Marques (2013) expõe que a intensidade das trocas de energia através de fechamentos depende das propriedades termo físicas dos materiais construtivos. Cada forma de troca térmica explicada nos parágrafos anteriores será influenciada por determinadas características.

Na condução são consideradas as diferenças de temperatura ( $\Delta T$ ) entre as superfícies que trocam calor, espessuras ( $e$ ), densidade ( $\rho$ ), calor específico ( $c$ ) e condutividade térmica ( $\lambda$ ) de cada material além da resistência ( $R$ ), transmitância ( $U$ ), capacidade ( $CT$ ), e atraso térmico ( $\phi$ ) dos componentes construtivos (FROTA e SCHIFFER, 2001), expressa matematicamente na Equação 1.

$$q = \frac{\Delta T}{R} \quad (1)$$

Onde:

$q$ : intensidade de fluxo de calor, em  $W/m^2$ ;

$R$ : resistência térmica do material [ $m^2 \cdot (^\circ C/W)$ ];

$\Delta T$ : diferença de temperatura entre exterior e interior ( $^\circ C$ ).

A convecção ocorre pela diferença de densidade dos fluidos. O ar ou líquido frio e, portanto, mais denso, desce e o ar ou líquido mais quente sobe gerando o movimento de massas. Neste processo é considerada a intensidade do processo convectivo ou coeficiente de trocas térmicas por convecção ( $h_c$ ). A quantidade de calor trocado é proporcional tanto a diferença de temperatura quanto a menor região do fluido não “perturbado”. Logo este tipo de troca pode ser potencializado com a utilização de ventiladores ou bombas hidráulicas (FROTA e SCHIFFER, 2001), expressa matematicamente na Equação 2.

$$q = h_c \cdot (T_{si} - T_{ar}) \quad (2)$$

Onde:

$q$ : intensidade de fluxo de calor ( $W/m^2$ );

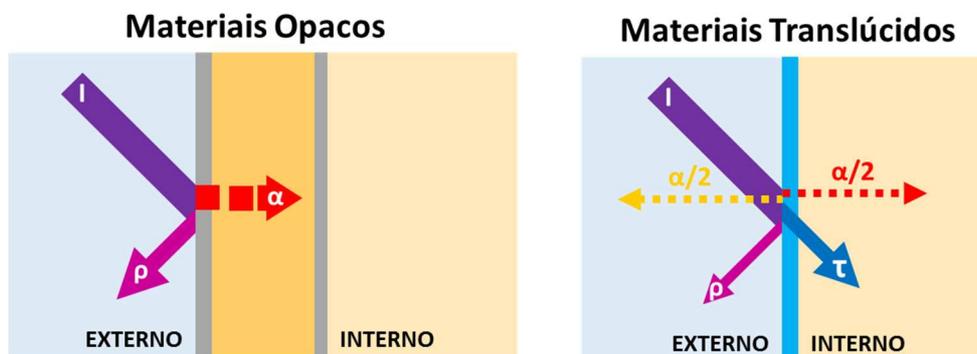
$h_c$ : coeficiente de convecção ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ );

$T_{si}$ : temperatura da superfície do sólido ( $^\circ C$ );

$T_{ar}$ : temperatura do fluido (ar) não perturbado, em ( $^\circ C$ ).

A radiação é uma consequência da natureza eletromagnética da energia que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos e não necessita de meios físicos para sua propagação, ocorrendo inclusive no vácuo. A radiação solar incidente ( $I$ ) é composta por uma parcela refletida ( $\rho$ , refletividade) e outra absorvida ( $\alpha$ , absorptância). Em materiais translúcidos parte da radiação solar incidente é ainda transmitida para o ambiente interno ( $\tau$ , transmissividade), exemplificada na Figura 12 (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Figura 12: Radiação solar em materiais opacos e translúcidos.

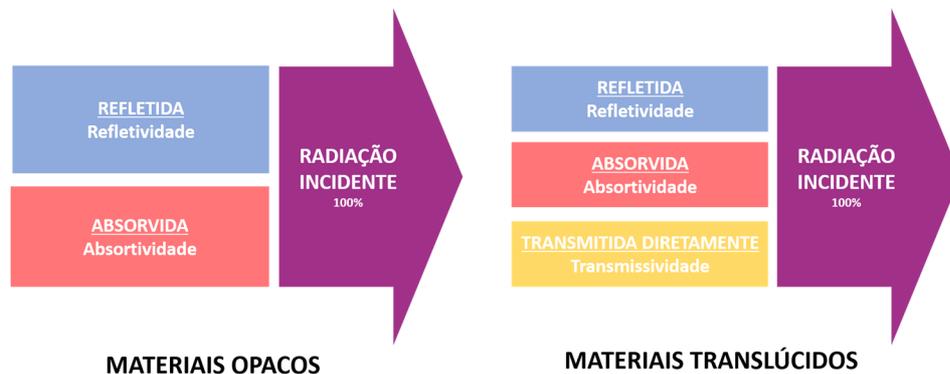


Fonte: Lamberts *et al.*(2014) adaptado.

Lamberts *et al.* (2014) esclarecem que no fenômeno radiação, a parte correspondente a reflexão e absorção do calor acontecem tanto em materiais opacos

como translúcidos, porém a transmissão direta é propriedade única dos translúcidos. Esta radiação transmitida diretamente para o interior do ambiente influenciará instantaneamente as condições de conforto constituindo-se como a principal contribuinte pelos ganhos de calor (Figura 13).

Figura 13: Esquema de fenômenos de radiação em materiais opacos e translúcidos.



Fonte: Lamberts *et al.*(2014) adaptado.

Como indicado por Michelato (2007), em materiais translúcidos devem ainda ser observados os parâmetros de ganho de Calor Solar ( $q$ ,  $W/m^2$ ), coeficiente de Admissão de Calor (CAC) e o Fator Solar (FS,  $J/m^2k$ ), também conhecido como Coeficiente de Ganho de Calor Solar ou *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC).

Os raios solares se transformam em calor quando entram em contato com qualquer superfície e todos os materiais possuem propriedades de isolamento térmico e termoacumulação. Assim, a avaliação de suas características é essencial para a definição de estratégias e métodos construtivos adequados as condições climáticas e funções de uma edificação (HEYWOOD, 2015).

### 3.4. PRINCÍPIOS IDENTIFICADOS

A eficiência energética nas edificações é relevante para diminuição da demanda por energia do país e sua implantação em prédios públicos deve envolver tanto os órgãos responsáveis pelo setor quanto clientes, projetistas e fabricantes.

As soluções adotadas necessitam de investigação e integração entre as questões, arquitetônicas, elétricas, eletrônicas e mecânicas, necessitando do conhecimento integrado de vários profissionais. O desenho adequado das envoltórias contribui substancialmente para a consumo energético das edificações, através dos ganhos com iluminação natural e principalmente com climatização dos ambientes. As intervenções em fachadas existentes são complexas e podem afetar a estética

projetada, sendo necessário conhecimento de materiais disponíveis a fim de selecionar a melhor e mais adequada opção.

Diante da disponibilidade de soluções no mercado e a singularidade com qual cada projeto de intervenção deve ser tratado e em função das características climáticas locais e construtivas individuais, devem ser observados os aspectos elencados abaixo na escolha de componentes construtivos da envoltória, que busquem aumentar a eficiência energética:

Existem no mercado vários componentes capazes de melhorar a eficiência energética das edificações através de suas envoltórias, contudo cada projeto de intervenção necessita ser tratado de forma singular, ajustado tanto as suas características climáticas locais quanto construtivas. Os aspectos identificados abaixo auxiliam na triagem das soluções aplicáveis:

- Adequação às limitações físicas da estrutura existente;
- Atender aos limites de atraso térmico, Fator solar e Transmitância térmica acordo com a zona bioclimática NBR 15220 ou pertinentes com o desempenho térmico a ser alcançado pela envoltória segundo a estratégia adotada;
- Baixa absorvância solar em climas quentes, maior absorvância solar em climas frios;
- Aproveitamento da iluminação natural;

# CAPÍTULO 4 | TÉCNICAS PARA *RETROFIT* DE ENVOLTÓRIAS

As alterações em envoltórias já construídas visando aumento do desempenho energético representam um grande desafio em ajustar a melhor técnica ao resultado estético pretendido. São encontrados diferentes materiais na constituição do edifício, dependendo do período, do local de construção e da tradição local. Nestas intervenções deve ser avaliada a pertinência em manter, acentuar ou minimizar certas propriedades físicas como inércia, isolamento, estanqueidade dentre outros. Existem soluções capazes de aumentar o isolamento, a capacidade térmica ou a refletância das superfícies de uma edificação, com isso a seleção do material da envoltória depende de vários fatores e a melhor solução deve considerar as características individuais do projeto (HÄKKINEN, 2012).

A atualização tecnológica é característica do *retrofit*, diante disso com o objetivo de compor um banco de dados com medidas de reabilitação térmica da envolvente de edifícios, foram pesquisados componentes construtivos, opacos e translúcidos, aplicáveis em fachadas e coberturas. Este capítulo não tem por objetivo exaurir as possibilidades existentes e sim apresentar uma visão geral das tecnologias de remodelação com base na revisão da literatura.

Os componentes construtivos foram divididos em opacos e translúcidos. Assim como organizado por Häkkinen (2012), as principais tecnologias de remodelação de elementos opacos foram agrupadas ainda em sistemas de aplicação de camadas externas, aplicação camadas internas, inserção de materiais em cavidades existentes, telhados frios, ventilação de telhados e por fim são apresentados alguns sistemas inovadores. Os componentes translúcidos foram agrupados em películas de controle solar, caixilhos de esquadrias e vidros.

#### 4.1. MATERIAIS OPACOS

Foram pesquisadas técnicas de aplicação de isolamento em paredes em camadas externas, internas e inserção de materiais em cavidade de paredes duplas. Em coberturas foram estudadas opções para coberturas frias e telhados ventilados.

Na aplicação de isolamento em camadas externas foram identificados o *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS), sistema de painéis isolantes, argamassas isolantes e fachadas ventiladas.

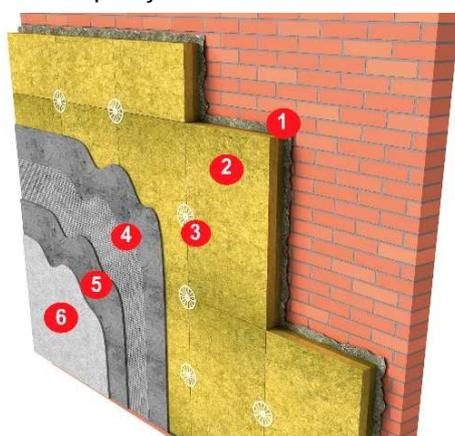
Para aplicação de isolamento em camadas internas foram encontrados sistemas que utilizam placas laminadas de Isolamento e gesso acartonado, placas de isolamento revestidas por argamassa e placas de isolamento com cavidade de ar.

#### 4.1.1. Aplicação de isolamento em camadas externas

Na aplicação de camadas externas os materiais adicionados (isolamento, barreiras de vapor, materiais de revestimento etc.) são geralmente fixados por meio de uma estrutura auxiliar diretamente sob fachada ou cobertura existente, permitindo assim algum grau de remoção, caso necessário. É uma solução que não gera perda do espaço interior e muitas vezes é possível realizar enquanto o edifício está em utilização, porém pode causar alterações estéticas.

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior geralmente conhecidos como *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS), são sistemas formados por camadas de isolamento fixada diretamente sob a parede por adesivos ou fixações mecânicas com camadas reforço e tratamento da superfície, como explicado Figura 14. O material isolante do ETICS é tipicamente poliuretano ou lã mineral (HÄKKINEN, 2012).

Figura 14: Composição do sistema ETICS.



1. Adesivo de fixação primária
2. Isolamento
3. Fixação mecânica
4. Camada de base
5. Malha de reforço
6. Revestimento em argamassa

Fonte: Rockwool (2016) adaptado.

Segundo Häkkinen (2012) são muito populares na melhoria a proteção térmica de paredes na Europa. Entretanto a pesquisa de Westphal *et al.* (2011) demonstra reduções de consumo de energia para resfriamento de edificações também em clima quente e úmido.

Os Sistemas de painel de isolamento térmico externos são formados a partir de painéis feitos em alumínio ou aço preenchidos por materiais isolantes como Poliuretano ou lã mineral. Como mostrado na Figura 15, os painéis podem ser

relativamente grandes e possuem montagem por encaixes que aceleram a instalação (HÄKKINEN, 2012).

Figura 15: Composição e exemplo de aplicação em sistema de fachada em sistemas de painel de isolamento térmico externo.



1. Base existente
2. Paineis de isolamento



Fonte: Häkkinen (2012) adaptado.

Este sistema é bastante utilizado na França. No Brasil vem sendo empregado como vedação única em galpões apoiado em estruturas metálicas (HÄKKINEN, 2012).

A utilização dos sistemas de argamassas isolantes consistem na aplicação de argamassa com esferas de poliestireno que possui propriedades isolantes diretamente sobre a parede existente, sem necessidade de adesivos adicionais e pulverizado na parede em várias camadas, que são niveladas e uma camada de revestimento em argamassa é aplicada antes de receber pintura, como demonstrado na Figura 16 (HÄKKINEN, 2012).

Este sistema é utilizado para corrigir irregularidades na superfície existente.

Figura 16: Aplicação de gesso isolante e exemplo de gesso isolante acabado com tinta.

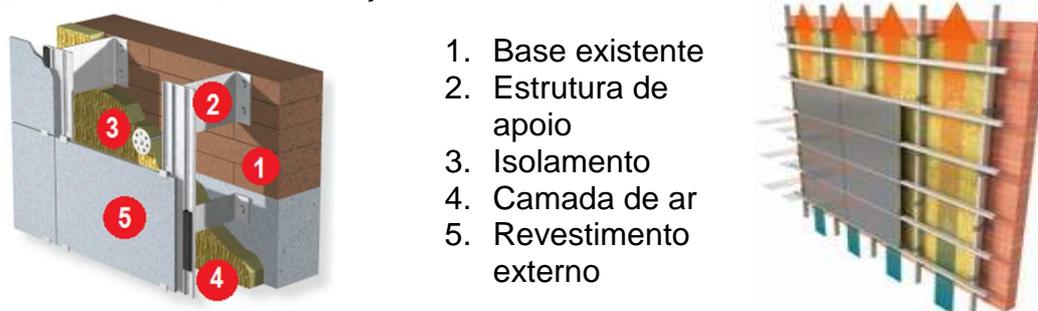


Fonte: Häkkinen (2012).

O sistema de Fachadas ventiladas cria uma segunda pele afastada em relação à vedação original do edifício, criando uma lâmina de ar entre os dois planos. Como mostra Figura 17, a estrutura pode ser feita em aço, alumínio ou madeira. Todas suas fixações são mecânicas e o material de superfície pode variar entre pedra, tijolo, cerâmica, concreto, metal, plástico e madeira (HÄKKINEN, 2012).

Essa cavidade, de espessura em média de 10 a 15 centímetros, formada entre a superfície externa e o material isolante ou a base existente, produz o efeito chaminé, possibilitando a troca de ar permanente na câmara onde como enfatiza Santos Filho (2015, p.64): "o fluxo de ar por convecção atua como isolante térmico entre o exterior e as paredes internas do edifício".

Figura 17: Composição e ventilação em sistema de fachada ventilada.



Fonte: Rockwool (2016).

O sistema de fachada ventilada é o segundo sistema de melhoria e proteção térmica de paredes mais utilizado na Europa (HÄKKINEN, 2012). No Brasil é crescente a utilização deste sistema, em diversos revestimentos como porcelanato, alumínio composto ou placas pétreas. O estudo realizado por Santos Filho (2015), demonstrou que fachadas de porcelanato aderido apresentaram temperaturas máximas internas maiores em cerca 1,4°C quando comparadas a fachadas ventiladas com porcelanato no clima de Brasília.

#### 4.1.2. Aplicação de isolamento em camadas internas

Esta solução é semelhante a aplicação de camadas externas, porém neste caso, estas são fixadas nas paredes existentes, apoiadas nas lajes. São preservadas as características estéticas da fachada ou cobertura presentes, entretanto há diminuição dos espaços externos e quando aplicadas em paredes ocorre a descontinuidade das camadas devido as lajes e paredes divisórias dos ambientes (HÄKKINEN, 2012).

Como explica Häkkinen (2012) existem placas em que o material isolante rígido e placa de gesso acartonado são laminadas em conjunto e a instalação pode ser realizada diretamente sobre as paredes existentes ou fixados ao sistema de fixação de *drywall* (Figura 18).

Figura 18: Composição da placa laminada e exemplo aplicação.



Fonte: Knauf (2016).

A fixação das placas é facilitada porem não apresenta estabilidade mecânica para sobreposição de outras camadas de materiais quando necessário e proporciona camadas contínuas (HÄKKINEN, 2012).

A diferença entre este sistema e a composição de isolamento laminado e gesso cartonado, é que os componentes do sistema são instalados separadamente. O isolamento acústico é instalado entre as travessas da estrutura de fixação das camadas de gesso acartonado de forma independente.,podendo ser realizado por material rígido ou em mantas (HÄKKINEN, 2012) ( Figura 19).

Figura 19: Composição da sobreposição de camadas de isolamento e camadas de gesso acartonado

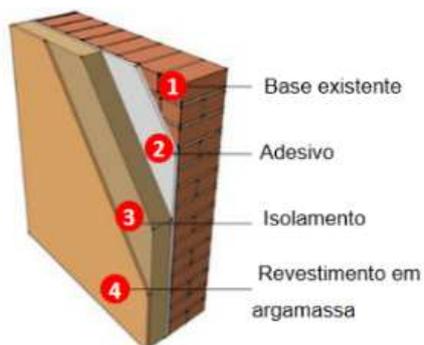


Fonte: Green lar.

Forma mais tradicional de isolamento, a instalação não é tão rápida, mas possui menor custo, possibilita a fixação de várias camadas de materiais quando necessário e a espessura de isolamento pode ser escolhida livremente. As camadas de isolamento são interrompidas (HÄKKINEN, 2012).

As placas de isolamento revestidas por argamassa são um sistema semelhante ao ETICS, onde as placas de isolamento rígido são fixadas por adesivos na superfície da parede existente e sobreposta de camadas de malha de reforço e argamassa com acabamento em pintura (HÄKKINEN, 2012) (Figura 20). Este sistema é mais leve que o anterior pois não necessita de estrutura de fixação.

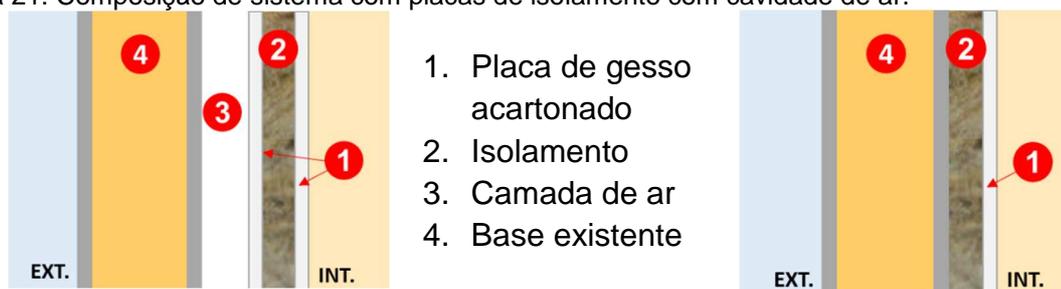
Figura 20: Composição da sobreposição de camadas de isolamento revestido por argamassa.



Fonte: Rockwool (2016)

O sistema de placas de isolamento com cavidade possibilita a criação de uma camada de ar entre a parede existente e o material isolante. As placas são fixadas em uma estrutura de alumínio ou madeira com montagens semelhantes as placas de isolamento revestidas por placas de gesso acartonado e placas laminadas de isolamento e gesso acartonado (HÄKKINEN, 2012) (Figura 21).

Figura 21: Composição de sistema com placas de isolamento com cavidade de ar.



Fonte: autora

Neste tipo de isolamento a camada de ar aumenta o atraso térmico, ele permite também a fixação de várias camadas de materiais e a espessura de isolamento pode ser escolhida livremente entretanto ocupa maior espaço interno (HÄKKINEN, 2012).

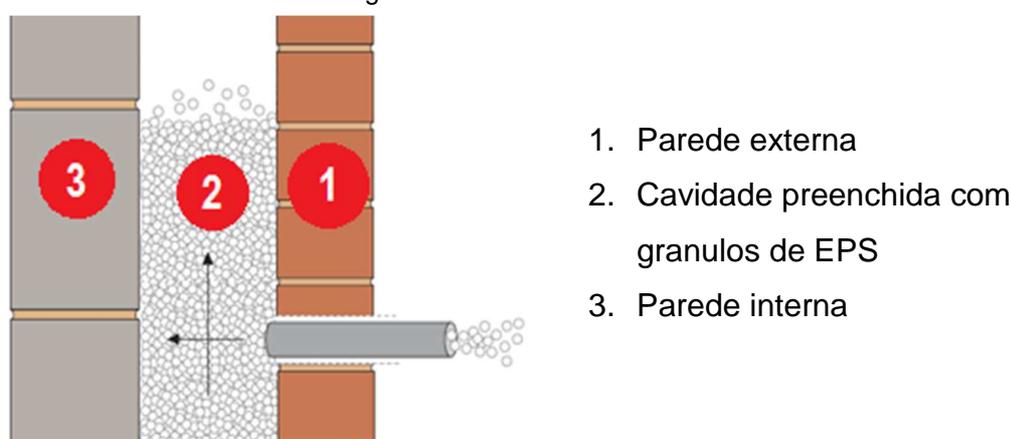
#### 4.1.3. Inserção de materiais isolantes em cavidades de paredes duplas.

Componentes que possuam cavidades podem melhorar suas propriedades térmicas com adição de materiais nestes espaços. Nestes casos podem ser insufladas

fibras ou injetadas espumas. Esta solução preserva o espaço interior e a estética externa, porém é de difícil execução. É provável a descontinuidade das camadas e poucos componentes usualmente utilizados no Brasil possuem cavidades contínuas que possibilitem seu uso (HÄKKINEN, 2012).

No isolamento com material a granel o EPS ou outro material isolante particulado é agregado a uma pequena quantidade de adesivo e insuflado para o interior da cavidade da parede, após a secagem formam uma massa única, mas preservado os espaços de ar entre as partículas (SPRINGVALE, 2016) (Figura 22)

Figura 22: Enchimento da cavidade com grânulos isolantes.



Fonte: Springvale (2016).

É o método mais utilizado para preenchimento de cavidades em reformas, a instalação é rápida e apresenta menor risco de deformação das paredes laterais. A condutividade térmica ( $\lambda$ ) é de 0.033 W/m.K.

O Isolamento com espuma, a espuma de poliuretano é injetada na cavidade em estado líquido e então se expande preenchendo o espaço, formando uma massa sólida (HÄKKINEN, 2012).

Sua instalação exige cuidado especial com resistência e estaquidade das paredes laterais para evitar que a pressão excessiva da expansão da espuma empurre a face da superfície para fora. Apresenta condutividade térmica ( $\lambda$ ) é de 0.027 W/m.K, em construções com cavidades de 6,5 cm a Transmitância térmica (U) é de 0.33 Wm<sup>2</sup>, em cavidades de 10 cm este valor cai para 0.22 Wm<sup>2</sup>K. (ISOTHANE, 2016).

#### 4.1.4. Coberturas Frias

O conceito explorado nas coberturas frias é potencializar a propriedade de refletância das superfícies, logo são projetados para refletir mais luz solar e absorver

menos calor do que um telhado padrão. Um telhado padrão que no verão alcançaria 65°C, poderia nas mesmas condições atingir 37°C se fosse composto por um tipo de pintura, membrana ou telha altamente reflexiva (DOE, 2010) (Figura 23).

Figura 23: Conceito de coberturas frias.



Fonte: CRRC (2016), adaptado.

A maior refletância espectral da superfície minimiza a transferência de calor para o edifício e conseqüentemente diminui os gastos com refrigeração. Além das propriedades de refletância solar e emitância térmica da camada superficial devem ser observadas na escolha das soluções a localização, o clima, a inclinação, as referências estéticas e as metas de economia a serem atingidas (CRRC, 2016).

Existem soluções aplicáveis a vários tipos de telhados. Para coberturas de baixa inclinação e lajes planas impermeabilizadas podem ser aplicadas membranas fixadas mecanicamente ou por adesivos ou a superfície pode ser pintada com tinta reflexiva. É possível ainda a aplicação de spray de espuma de poliuretano, formando uma camada isolante adicional sob a superfície refletora, porém não é recomendada em situações de trânsito sob a cobertura (CRRC, 2016).

Em coberturas inclinadas também podem ser aplicadas tintas ou betumes especiais com grânulos que proporcionam melhor reflexão solar ou ainda, utilizadas telhas que já possuam estas propriedades em seu material de composição. Algumas opções são citadas na Tabela 2 (CRRC, 2016).

Tabela 2: Comparação opções de materiais aplicados em telhados frios.

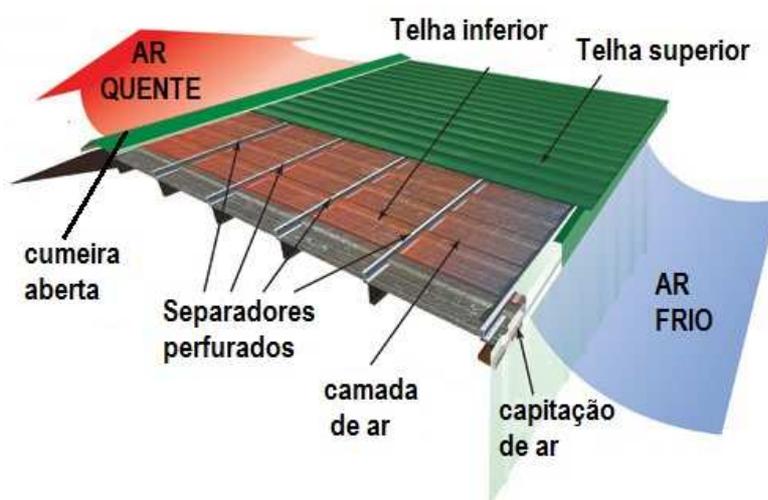
Produto	Cor	Refletância solar		Emitância térmica		SRI+	
		Inicia	3 anos	Inicial	3 anos	Inicial	3 anos
Emulsão acrílica	Branco	0.85	0.79	0.88	0.89	107	98
Tinta para metal	Branco	0.61	0.59	0.85	0.85	72	69
Membrana	Branco	0.74	0.59	0.84	0.88	90	70
Telhas	Branco	0.82	0.74	0.91	0.93	103	92

Fonte: CRRC (2016), adaptado.

#### 4.1.5. Telhados ventilados

Nestes telhados é estimulado o movimento da camada de ar existente no espaço de entre as telhas e o forro interno. Esta técnica além de auxiliar na redução da transferência do calor para o ambiente interno, estimula a dissipação do calor. Aparelhos mecânicos podem ser instalados para auxiliar na renovação do ar desta camada (CRRC, 2016).

Figura 24: Composição de telhados ventilados.



Fonte: CRRC (2016), adaptado.

O sistema se restringe as coberturas com telhados e pode ser instalado sobre telhados metálicos existentes, existe também solução para instalação sob telhados cerâmicos (CRRC, 2016).

## 4.2. COMPONENTES TRANSLÚCIDOS

Para compreender o desempenho térmico das aberturas é necessário ir além das propriedades dos vidros, é preciso avaliar as características caixilhos que os suportam e entender o sistema como um todo, absorvendo o grande desenvolvimento destes componentes nos últimos anos (EWC, 2016).

As tecnologias disponíveis ampliam as opções de aplicação das esquadrias, sejam em área de abertura, requisitos de sombreamento ou orientação e alteram alguns parâmetros de utilização pré-estabelecidos. Os caixilhos mais comuns, em aço ou alumínio, são grandes condutores de calor, enquanto os tradicionais de madeira são ótimos isolantes, os mais modernos fabricados em PVC também são reconhecidos por esta característica. Quanto aos vidros, atualmente no mercado podem ser encontrados os monolíticos, laminados com espessuras e características diferentes ou ainda insulados com camadas duplas ou triplas, preenchidas ou não de gás isolante. Existem ainda opções de películas de proteção solar capazes de melhorar o desempenho térmico dos vidros (EWC, 2016).

### 4.2.1. Caixilhos de esquadrias

Na especificação dos caixilhos de esquadrias devem ser consideradas suas características térmicas, acústicas bem como estanqueidade. Quando são utilizados vidros de alto rendimento os caixilhos são a parte menos isolante da esquadria, a Tabela 3 mostra a influência dos caixilhos na transmitância térmica (U) de toda a esquadria (EWC, 2016).

Tabela 3: Influência do material dos caixilhos na transmitância térmica total das esquadrias.

Material	U (W/m <sup>2</sup> K)
Apenas vidro duplo <i>low-e</i> com argônio	0,27
Esquadria com vidro e caixilho em Alumínio	0,60
Esquadria com vidro e caixilho em alumínio com tratamento térmico	0,48
Esquadria com vidro e caixilho em madeira	0,35
Esquadria com vidro e caixilho em PVC	0,35
Esquadria com vidro e caixilho em PVC com tratamento térmico	0,27

Fonte: EWC (2016).

#### 4.2.2. Vidro

Nos últimos anos houve uma grande evolução no desenvolvimento de novos vidros, cores, acabamentos e propriedades térmicas e luminosas. Os vidros de melhor performance em climas quentes, são os que contribuem para eficiência energética da edificação e ao mesmo tempo proporcionam penetração de luz. Ou seja, apresentam menor ganho de calor indicado pela baixa transmitância térmica (U), baixo coeficiente de sombreamento e baixo Fator solar (FS), aliados a alta transmissão visual de luz (EWC, 2016).

O vidro monolítico ou vidro *float* é a peça de vidro empregada na fabricação do produto final. Possuem substrato incolor, colorido ou com revestimento e passam por processamentos para ganhar resistência (têmpera) e atender a aspectos estéticos (serigrafia). Os vidros monolíticos são ainda utilizados na fabricação de vidros laminados e insulados (EWC, 2016).

Os vidros monolíticos fabricados em substrato colorido (verde, cinza, verde-escuro, bronze e azul) reduzem a quantidade de ganho de calor solar transmitido através do envidraçamento, entretanto tendem a reirradiar o calor absorvido (EWC, 2016). As propriedades de alguns vidros são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4: Propriedades dos vidros monolíticos transparentes e coloridos.

Aparência	Esp.	TL (%)	RLe (%)	RLi (%)	TE (%)	RE (%)	AE (%)	FS (%)	CS (%)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Incolor	6mm	90%	8%	8%	83%	8%	9%	85%	0,98	5,70
Azul	6mm	57%	6%	6%	44%	6%	51%	56%	0,64	5,69
Bronze	6mm	48%	6%	5%	44%	5%	51%	56%	0,64	5,69
Cinza	6mm	43%	5%	5%	45%	5%	50%	57%	0,65	5,69
Verde	6mm	75%	7%	7%	46%	6%	48%	57%	0,66	5,69

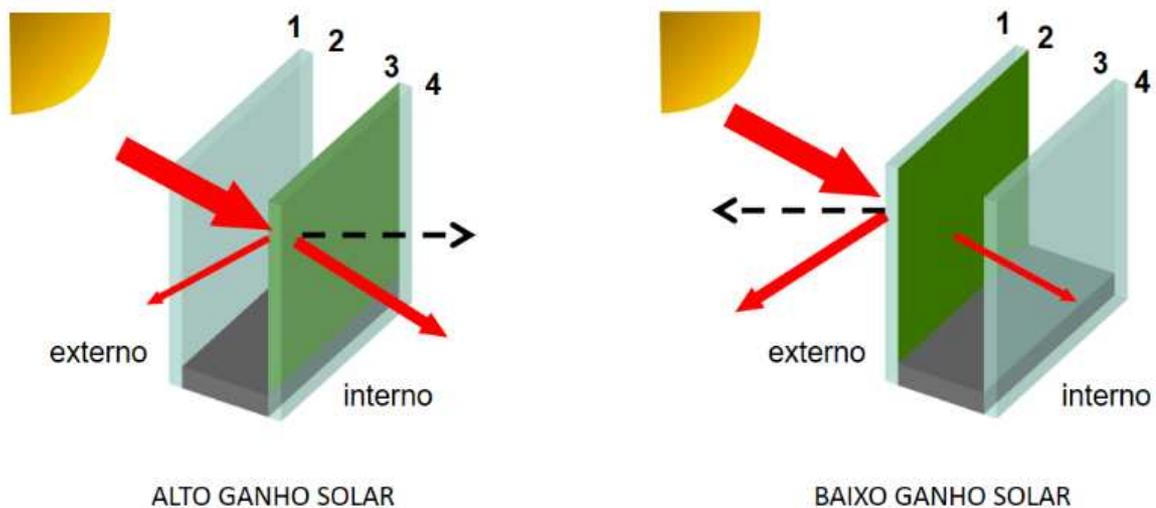
TL: Transmissão Luminosa, RLe: Reflexão Luminosa Externa, RLi: Reflexão Luminosa Interna, TE: Transmissão de Energia Absorção de Energia, RE: Reflexão de Energia, FS: Fator Solar

Fonte: Guardian Glass (2016).

Os vidros de controle solar seletivo também chamados de baixo-emissivos ou *Low-e*, possuem finas camadas de metal aplicadas a superfície do vidro, que melhoram sua capacidade de refletir a radiação infravermelha de ondas longas. Sua aplicação permite a redução dos custos de energia elétrica com ar-condicionado devido à alta capacidade de reflexão de radiação aliada a alta transmissão da luz solar (EWC, 2016).

Dentre os vidros *Low-e* existem os de alto ganho de calor solar, também conhecidos como *hard coat* ou *Hight Solar Gain* (HSG) e os de baixo ganho de calor solar chamados de *soft coat* ou *Light Solar Gain* (LSG). Essa diferença se dá pela localização da película metálica, nos vidros de alto ganho solar esta película é colocada na terceira face, permitindo a entrada das ondas infravermelhas e impedindo a sua reirradiação para o ambiente externo. Nos vidros de baixo ganho solar a película é colocada a segunda face impedindo a entrada de grande parte das ondas infravermelhas (EWC, 2016) (Figura 25).

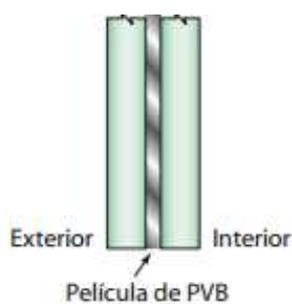
Figura 25: Croqui ganho solar em vidros low-e.



Fonte: Guardian Glass (2016), adaptado.

Nos vidros laminados camadas de polivinil butiral (PVB) são utilizadas para unir duas ou mais placas de vidros monolíticos, que podem variar em cor e espessura (Figura 26) As lâminas e as películas podem variar em cor e espessura. O vidro monolítico é usado para fabricar os vidros duplos insulados e os laminados (EWC, 2016) (Tabela 5).

Figura 26: Composição de vidros laminados.



Fonte: Guardian Glass (2016)

Tabela 5: Propriedades dos vidros laminados de controle solar.

Aparência	Esp.	TL (%)	RLe (%)	RLi (%)	TE (%)	AE (%)	FS (%)	CS (%)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Blue	4,6,8,10 mm	22	21	24	17	64	0,3	0,4	5,6
Blue	4,6,8,10 mm	35	18	14	29	58	0,4	0,5	5,6
Green	3,4,6,8,10 mm	19	25	22	12	72	0,3	0,3	5,6
Green	3,4,6,8,10 mm	41	14	11	23	65	0,4	0,4	5,6
Neutral	4,6,8,10 mm	62	14	12	49	39	0,6	0,7	5,6
Neutral	4,6,8,10 mm	50	24	26	24	38	0,3	0,4	5,6
Neutral	4,6,8,10 mm	56	20	21	28	39	0,4	0,4	5,6
Silver	4,6,8,10 mm	21	30	22	17	57	0,3	0,4	5,6
Silver Neutral	4 e 6 mm	14	34	33	12	58	0,3	0,3	5,6
Super Silver	4,6,8,10 mm	33	32	16	22	44	0,3	0,4	5,6

TL: Transmissão Luminosa, RLe: Reflexão Luminosa Externa, RLi: Reflexão Luminosa Interna, TE: Transmissão de Energia Absorção de Energia, RE: Reflexão de Energia, FS: Fator Solar

Fonte: Guardian Glass (2016).

Os vidros insulados são compostos por duas ou mais lâminas de vidro monolítico ou laminado seladas nas bordas e separadas com uma câmara que pode ser de ar ou outro gás de baixa emissividade como argônio (EWC, 2011) (Figura 27) (Tabela 6).

Figura 27: Composição de vidros insulados.



Fonte: Guardian Glass (2016).

Tabela 6: Propriedades dos vidros laminados transparentes, coloridos e de controle solar.

Aparência	Esp.	TL (%)	RLe (%)	RLi (%)	TE (%)	AE (%)	FS (%)	CS (%)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Blue	3,4,6,8,10mm	<b>20</b>	21	31	15	67	<b>0,2</b>	0,3	<b>2,7</b>
Blue	3,4,6,8,10mm	<b>35</b>	24	17	23	57	<b>0,3</b>	0,3	<b>1,8</b>
Green	3,4,6,8,10mm	<b>28</b>	18	22	16	73	<b>0,3</b>	0,3	<b>2,7</b>
Green	3,4,6,8,10mm	<b>48</b>	11	9	25	66	<b>0,3</b>	0,4	<b>1,9</b>
Neutral	3,4,6,8,10mm	<b>52</b>	21	23	42	41	<b>0,5</b>	0,6	<b>2,8</b>
Neutral	3,4,6,8,10mm	<b>56</b>	14	10	38	47	<b>0,5</b>	0,5	<b>1,9</b>
Neutral	3,4,6,8,10mm	<b>58</b>	16	17	29	40	<b>0,3</b>	0,4	<b>1,5</b>
Silver	3,4,6,8,10mm	<b>18</b>	32	29	13	62	<b>0,2</b>	0,2	<b>2,6</b>
Silver Gray	3,4,6,8,10mm	<b>33</b>	23	22	25	56	<b>0,3</b>	0,4	<b>2,7</b>
Blue	3,4,6,8,10mm	<b>20</b>	21	31	15	67	<b>0,2</b>	0,3	<b>2,7</b>

TL: Transmissão Luminosa, RLe: Reflexão Luminosa Externa, RLi: Reflexão Luminosa Interna, TE: Transmissão de Energia Absorção de Energia, RE: Reflexão de Energia, FS: Fator Solar

Fonte: Guardian Glass (2016).

#### 4.2.3. Película de controle solar

As películas de baixa emissividade são produtos próprios para aplicação sobre esquadrias, inclusive as já existentes alterando as propriedades transmitância térmica e absorvância das mesmas (IWFA, 2012).

A IWFA (2012) realizou um estudo comparativo para demonstração dos ganhos que as películas podem proporcionar, através de simulação computacional. Foram avaliadas edificações no clima californiano e considerados os períodos de retorno dos investimentos em isolamento térmico, trocas dos aparelhos de ar condicionado comparados a instalação de películas. O estudo concluiu que a aplicação de películas de baixo coeficiente de ganho solar e baixa transmitância térmica apresenta o menor período de retorno para o *retrofit* de edificações antigas frente as outras opções.

4.3. RESUMO DE TÉCNICAS PARA *RETROFIT* DE ENVOLTÓRIAS

Neste capítulo foram apresentadas as técnicas disponíveis no mercado, sejam materiais ou componentes construtivos aplicáveis no *retrofit* que proporcionem maior eficiência energética das envoltórias. As técnicas elencadas na Tabela 7 serão classificadas na Tabela 10 p.91 segundo princípios identificados no capítulo 2 e 3 bem como nas informações da edificação coletadas no capítulo 5.

Tabela 7: Técnicas para *retrofit* de envoltórias pesquisadas

Soluções e componentes construtivos	
Componentes opacos	Sistemas de isolamento térmico pelo exterior
	Fachadas ventiladas
	Sistemas de painel de isolamento térmico externo
	Placas laminadas de isolamento e gesso acartonado lado interno
	Placas de isolamento revestidas por argamassa lado interno
	Isolamento de câmara com material a granel
	Isolamento de câmara com espuma
Cobertura	Coberturas frias
	Telhados ventilados
Componentes translúcidos	Caixilho em alumínio preto
	Caixilho em alumínio preto com tratamento térmico
	Caixilho em madeira pintura preta
	Caixilho em PVC pintura preta
	Caixilho em PVC com tratamento térmico pintura preta
	Vidro monolítico incolor
	Vidro monolítico azul
	Vidro monolítico bronze
	Vidro monolítico cinza
	Vidro monolítico verde
	Vidros laminados incolores
	Vidros laminados azul
	Vidros laminados cinza
	Vidros laminados verde
	Vidros laminados controle solar
	Vidros insulados incolores
	Vidros insulados azul
	Vidros insulados bronze
	Vidros insulados cinza
	Vidros insulados verde
Vidros insulados controle solar	

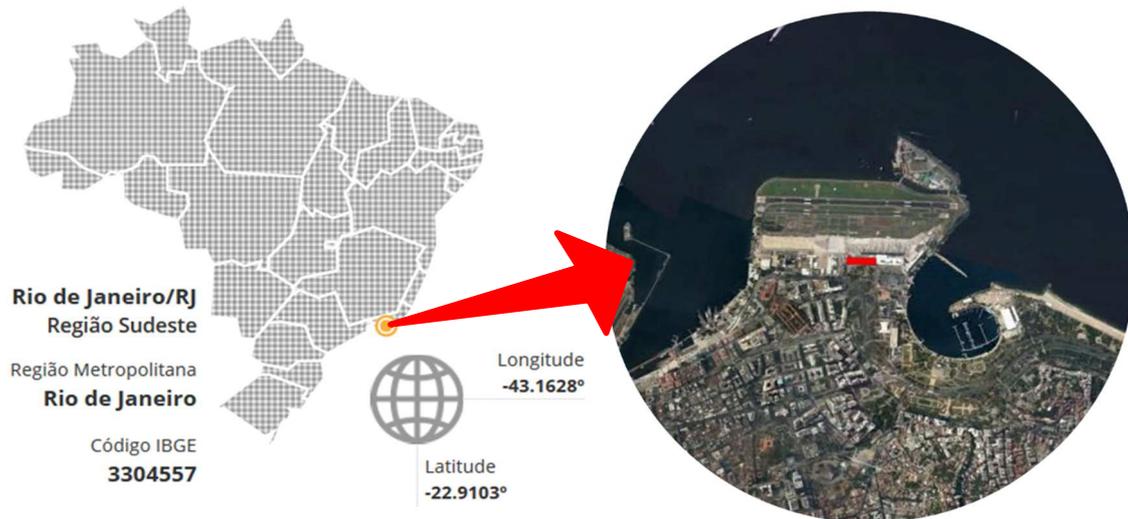
# CAPÍTULO 5



# OBJETO DE ESTUDO

O Aeroporto Santos Dumont está localizado na cidade do Rio de Janeiro (Figura 28) e foi o primeiro no país a construir um terminal de passageiros sendo responsável pela entrada do Brasil na aviação comercial, inicialmente operando voos nacionais e internacionais (Figura 29).

Figura 28: Mapa de localização do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro.



Fonte: horus.labtrans.ufsc.br e Google Maps, 2013, adaptado.

Figura 29: Vista aérea atual do conjunto de edifícios do Terminal de Passageiros do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro.



Fonte: Infraero (2006).

O aeroporto é implantado na Ponta do Calabouço, uma área aterrada sobre a Baía de Guanabara proveniente do desmonte do Morro do Castelo e fruto das intervenções urbanísticas realizadas na cidade na década de 20. Sua localização privilegiada permite fácil acesso ao Centro da cidade. O veículo leve sobre trilhos e as ruas próximas conectam a Praça Senador Salgado Filho às principais vias da região como as avenidas Rio e Presidente Vargas.

Do aeroporto se avistam pontos turísticos da cidade como o Pão de Açúcar e a própria Baía da Guanabara na qual está encrustado. Na direção sul seu quebra mar se conecta ao aterro do Flamengo, que abriga a marina da Glória e o parque urbano projetado pelo paisagista Burle Marx. No sentido oposto seguindo pela orla norte é possível chegar à Estação Aquaviária da Praça XV de Novembro e à região do Boulevard Olímpico e Museu do Amanhã (Figura 30).

Figura 30: Localização da Ponta do Arcabouço no centro da cidade do Rio de Janeiro.

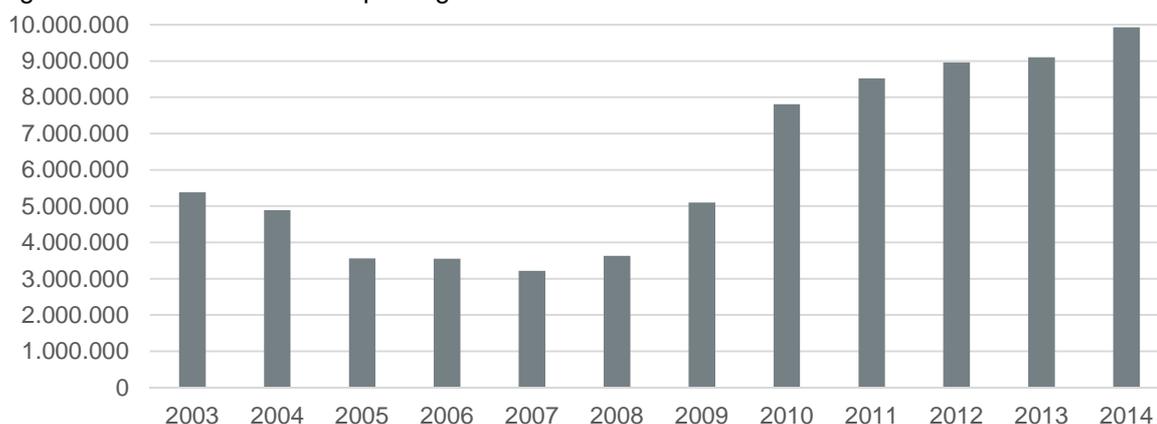


Fonte: Google Maps, 2013, adaptado.

Nas décadas seguintes à sua construção houve grande crescimento do setor aéreo no Brasil, puxado inicialmente pela transferência da capital do país para Brasília e já nos anos 90 pela popularização do transporte aéreo no país. Após a transferência dos voos internacionais para o Aeroporto Antônio Carlos Jobim – Galeão, na mesma cidade, o aeroporto se restringiu a voos nacionais e se consolidou como plataforma para ponte aérea entre as cidades Rio de Janeiro e São Paulo. Atualmente é o 4º

Aeroporto brasileiro em movimento de aeronaves, processando em média 9,9 milhões de passageiros por ano, Figura 31, em 19.000 m<sup>2</sup> de área de terminal de passageiros (INFRAERO, 2014).

Figura 31: Gráfico histórico de passageiros/ ano



Fonte: Infraero (2014).

O primeiro edifício do Terminal de Passageiros do Aeroporto Santos Dumont, projetado pelos arquitetos Marcelo e Milton Roberto foi inaugurado em 1945. Com o crescimento do setor aéreo nas décadas seguintes foi realizada a expansão do terminal e adaptação da edificação existente às atividades de desembarque de passageiros concluídas em 2007.

Atualmente o conjunto de edifícios do Terminal de Passageiros do Aeroporto Santos Dumont contempla três edificações: o prédio antigo concentra o desembarque de passageiros e o novo abriga o embarque, interligado a ele o volume do *concourse*<sup>3</sup> conecta as pontes de acesso às aeronaves e acomoda a sala de embarque. Neste estudo será explorado exclusivamente o edifício antigo construído em 1945 e tombado pelo INCEPAC em 1998, indicado na Figura 32.

<sup>3</sup> Segundo FAA (2016) o *concourse* é essencialmente uma passagem entre o terminal processador e os portões da aeronave. Normalmente compreendem os portões ou equipamentos de pontes de embarque e desembarque de passageiros, ambiente de espera do voo pelos passageiros, chamado também de sala de embarque, e corredores de circulação que conectam o terminal processador à sala de embarque.

Figura 32: Mapa de locação das edificações do Aeroporto Santos Dumont.



Fonte: Google maps, 2015 adaptado.

O edifício tombado pelo INEPAC em 1998, vivenciou ao longo dos anos várias transformações solicitadas tanto por novas demandas operacionais e comerciais, quanto por revisões normativas gerais e relatórios do setor aeronáutico. Além disso este uso exige a incorporação contínua de avanços tecnológicos, sejam novos equipamentos, redes e instalações. Todos estes fatores aliados ainda ao desgaste natural da própria construção com o passar do tempo.

## 5.1. CONJUNTURA HISTÓRICA

### 5.1.1. Características importantes

O projeto de autoria dos arquitetos Marcelo e Milton Roberto ressalta o desenvolvimento tecnológico da época e reforça o papel do movimento modernista como símbolo de progresso almejado pelo Estado Brasileiro. O Aeroporto era o “portal de entrada”, o lugar onde se apreenderia a primeira imagem do Brasil através do Rio de Janeiro, então a capital do país (MOTA, 2015).

O prédio apresenta os pontos da nova arquitetura propagados por Le Corbusier como planta livre, fachada livre e janelas em fita. É considerado um dos primeiros edifícios construídos com características da arquitetura modernista brasileira. (MOTA, 2015).

A volumetria do edifício se apresenta em uma barra horizontal com extensão de 90 por 35 metros cujas fachadas maiores são voltadas à cidade e à Baía da

Guanabara. O partido se organiza em retícula formada por pilares de seção circular de 65 centímetros, sendo 30 no maior e 6 no menor sentido (Figura 33).

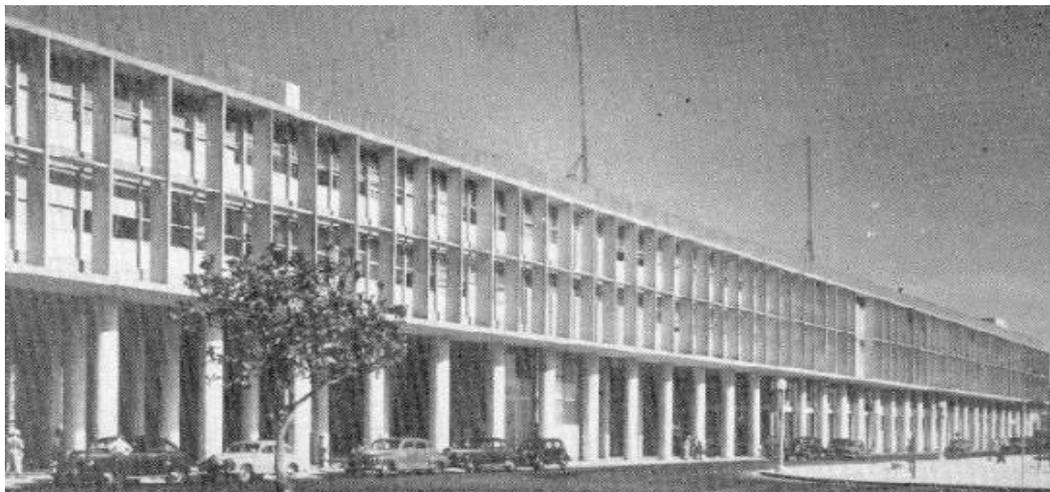
Figura 33: Circulação saguão do atual saguão de desembarque.



Fonte: Vespucci *et al.* (2006).

A linearidade da fachada principal voltada à cidade é reforçada pela partição vertical do volume, proporcionada pelo embasamento da edificação através do destacamento do limite dos pilares nos dois primeiros pavimentos. No corpo formado pelos dois andares superiores, os pilares recuam para atrás dos brises verticais e esquadrias e o coroamento por meio de platibanda oculta a cobertura metálica do edifício (Figura 34).

Figura 34: Vista da fachada principal voltada a cidade.



Fonte: Francalossi (2013).

A simetria da fachada voltada a pista é quebrada pelo volume da torre de controle, volume envidraçado do saguão principal e volume do restaurante, que

avançam sobre o limite dos pilares, a linearidade ainda é reforçada pelo avanço dos pilares, recuo do volume do quarto pavimento e marquises (Figura 35).

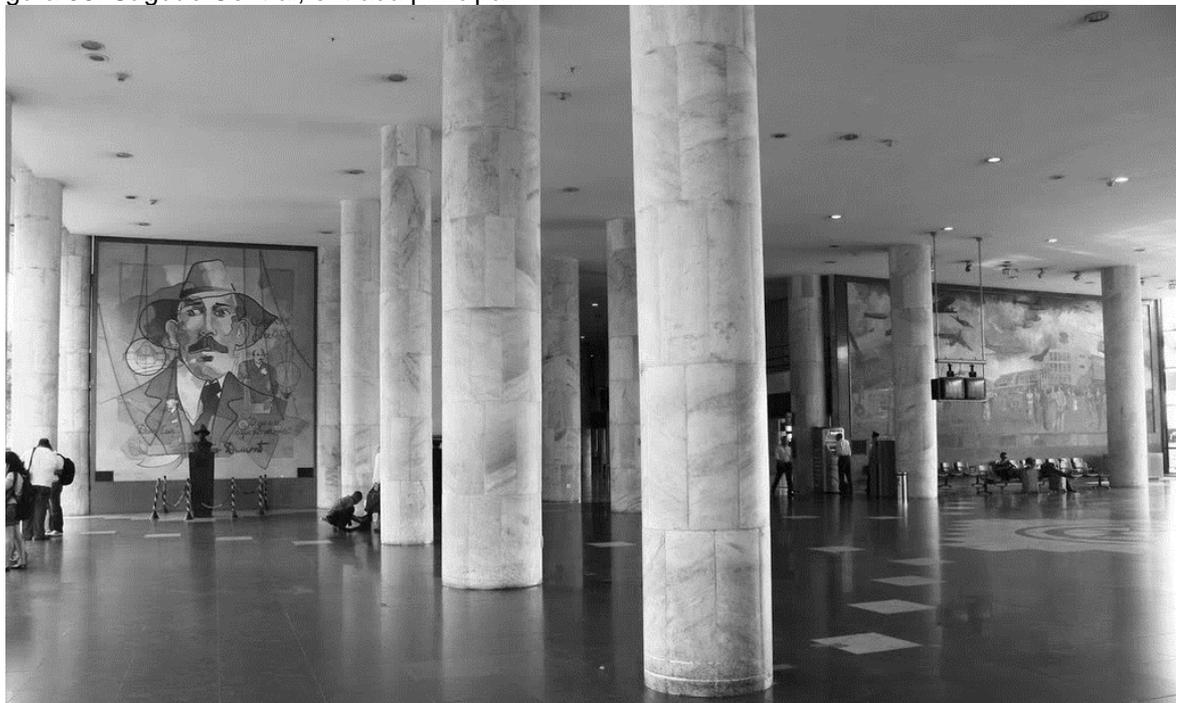
Figura 35: Vistas da fachada voltada para a Baía de Guanabara.



Fonte: Francalossi (2013).

Na parte esquerda do volume um hall de pé direito duplo delimita a entrada principal do edifício e avança até a fachada oposta sem brises (Figura 36).

Figura 36: Saguão Central, entrada principal.



Fonte: Francalossi (2013).

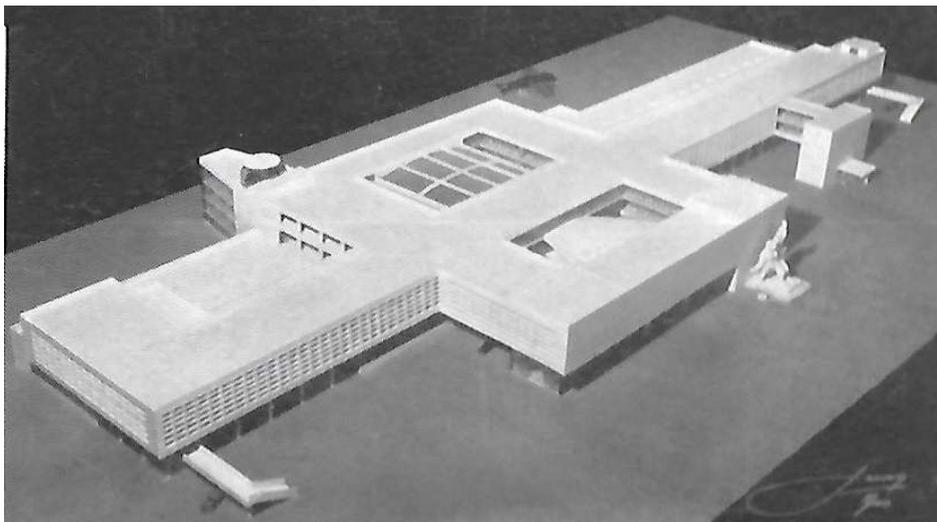
### 5.1.2. O projeto original, o construído e as adequações ao longo dos anos

O projeto é de autoria dos arquitetos Marcelo e Milton Roberto, eleito após concurso lançado pelo Comando da Aeronáutica em 1937, as obras foram iniciadas em 1938 e interrompidas no mesmo ano em razão da II Guerra Mundial. Sua construção foi reiniciada em 1944 e finalmente foi inaugurado em 1945 (MATTOS, 2007).

Através da pesquisa realizada em livros, sites, plantas e relatórios disponíveis no acervo da Infraero foi possível observar as recorrentes adequações realizadas no prédio. Este histórico se inicia desde sua construção, já na ata de julgamento do concurso é indicada a necessidade de adequação do anteprojeto vencedor (MATTOS, 2007).

A versão do projeto apresentada no concurso (Figura 37), difere substancialmente do construído (Figura 38). Para Bruand (1981) a estrutura básica da composição do projeto inicial foi preservada. Os cortes orçamentários reduziram bastante o total de área construída, além disso foram suprimidos vários terraços-jardim, que eram dispostos em diversos andares e a área destinada à Diretoria de Aeronáutica Civil (DAC) foi consideravelmente ampliada (MOTA, 2015).

Figura 37: Maquete do projeto dos arquitetos Marcelo e Milton Roberto vencedor do Concurso para o do anteprojeto do Terminal de Passageiros.



Fonte: Vespucci *et al.*(2006).

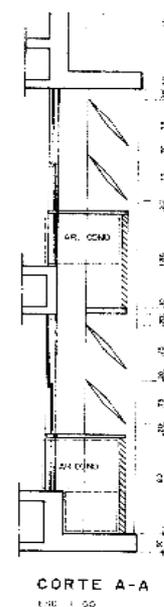
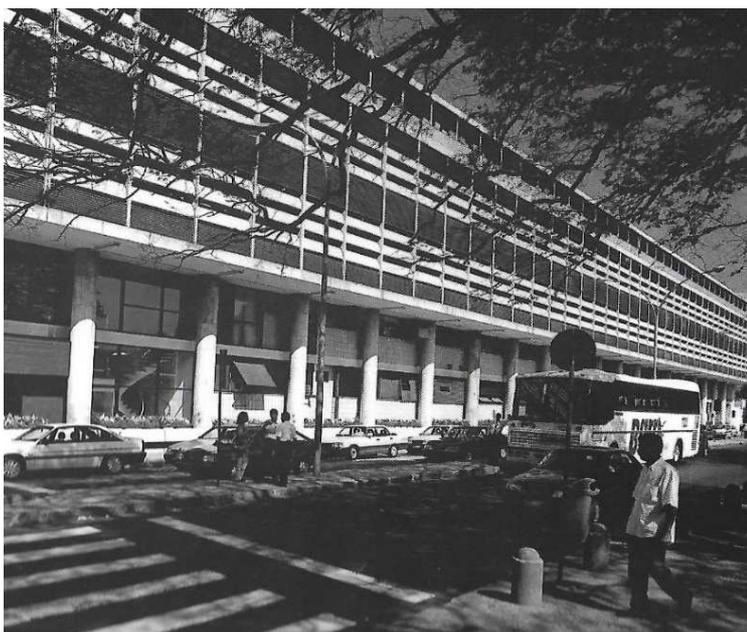
Figura 38: Vista da fachada principal do projeto executado.



Fonte: Vespucci *et al.*(2006).

Nos anos seguintes outras edificações de apoio, como hangares e edifícios administrativos da Aeronáutica são construídas ao redor do terminal, porém a edificação absorve as exigências operacionais com alterações de leiaute interno, a área administrativa do então DAC também foi ampliada com a construção de mais um pavimento. Desenhos técnicos do acervo da Infraero, mostram que na década de oitenta, brises horizontais foram instalados na fachada oeste, de forma que a grade de brises descaracterizavam as esquadrias originais (Figura 39).

Figura 39: Detalhe do brises instalados na década de 80.



Fonte: Vespucci *et al.*(2006).

Em 13 de fevereiro de 1998 um incêndio destruiu grande parte do edifício. O fogo atingiu principalmente os três andares superiores, onde funcionava o Departamento de Aviação Civil (DAC). O térreo e mezaninos à direita do saguão principal não sofreram a ação direta do fogo, mas foram danificados pelo calor e pela fuligem. As chamas provocaram a delaminação explosiva e severa perda da seção de concreto de alguns pilares (MATTOS, 2007) (Figura 40).

Figura 40: Fotografias do incêndio do Terminal ocorrido em 13 de fevereiro de 1998.



Fonte: Jornal O Estado de São Paulo.

Nos sete meses seguintes a edificação passou por reforma e reforço estrutural, foram gastos US\$ 21 milhões e anunciado que a reforma do aeroporto seguiria o projeto original. O fato serviu de alerta à necessidade de maior rigor na preservação da edificação fazendo com que em dezembro do mesmo ano o edifício fosse tombado pelo INEPAC (MATTOS, 2007).

Apesar do anúncio as intervenções realizadas não se trataram de uma restauração, procurou-se retirar os resquícios de intervenções anteriores preservando base original da proposta dos irmãos Roberto e primou-se pelo resgate da volumetria do prédio e da linguagem original da forma. Segundo Jardim (2006) *apud* Mattos (2007, p.114): “Originalmente, tratava-se de um pilotis muito mais aberto do lado ‘terra’, e não foi possível resgatar essa característica, devido as necessidades operacionais que obrigavam a ocupação, principalmente em relação à ala norte”.

Neste período o andar adicional é removido, os brises da fachada são retirados e a grade de brises originais reconfigurada, porém é instalada a esquadria tipo pele de vidro com vidro azul espelhado que permanece até os dias atuais. Mais tarde o INEPAC solicita que as esquadrias sejam reconfiguradas tal qual o edifício original.

Nos anos seguintes a demanda crescente do setor aeroportuário faz com que em 2007 sejam inauguradas as obras de modernização e ampliação do terminal de passageiros e pátio de aeronaves. O projeto a cargo do escritório Planorcon e de autoria do arquiteto Sérgio Jardim propôs a conservação do prédio existente conectado a dois novos volumes interligados entre si (Figura 41) (MATTOS, 2007). Segundo o autor do projeto o novo volume criado para o embarque seria uma continuidade do terminal existente reforçada por suas características volumétricas, altura, cores e materiais (JARDIM, 2006 *apud* MATTOS, 2007).

Figura 41: Maquete da ampliação do terminal de passageiros projetada em 2006 concluída em 2007.



Fonte: acervo da Infraero.

O partido adotado estabeleceu a segregação dos fluxos de passageiros, assim os novos edifícios foram destinados ao embarque e o terminal existente foi adaptado exclusivamente a função de desembarque. Jardim (2006) *apud* Mattos (2007) argumenta que esta opção permitiu a preservação da edificação existente quase como quando do tombamento em 1998.

O projeto de modernização aprovado pelo INEPAC em 2006 propõe a reforma das instalações internas acrescentando novos sistemas eletrônicos, esteiras para bagagem e elevadores semelhantes aos instalados nas edificações novas, além da reconfiguração das esquadrias tal qual o projeto original (CONCREMAT, 2006). Entretanto nota-se que não foi executado em sua totalidade, as fachadas continuaram como executadas na reforma após o incêndio de 1998.

Após a reforma a capacidade de processamento de passageiros aumentou de 3,2 para 8 milhões de passageiros/ano, a área do terminal passou de 33 para 61 mil metros quadrados, foram acrescentados 21 balcões de *check-in*, dobrado o número

de esteiras de bagagem e criadas 8 pontes de embarque (CONCREMAT, 2006) (Figura 42).

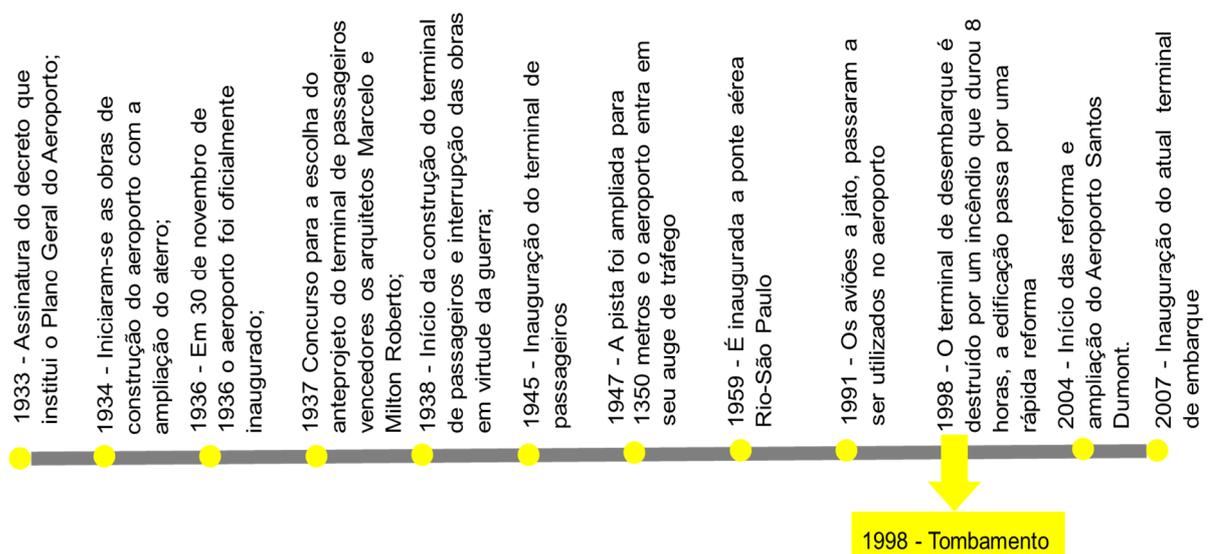
Figura 42: imagem da fachada oeste do terminal de desembarque atual.



Fonte: acervo da infraero.

Não são previstas novas ampliações para o terminal já que a capacidade de pistas e pátios do aeroporto está em seu limite e a capacidade dos seus sistemas de pátio e pista equilibrados (JARDIM, 2006 *apud* MATTOS, 2007). Entretanto são necessárias intervenções para melhoria do conforto dos usuários, adaptações para instalação de equipamentos mais modernos e atualizações de normas. O projeto aprovado pelo INEPAC em 2006 aguarda orçamento para concretização.

Figura 43: Linha do tempo com as transformações ocorridas na edificação.



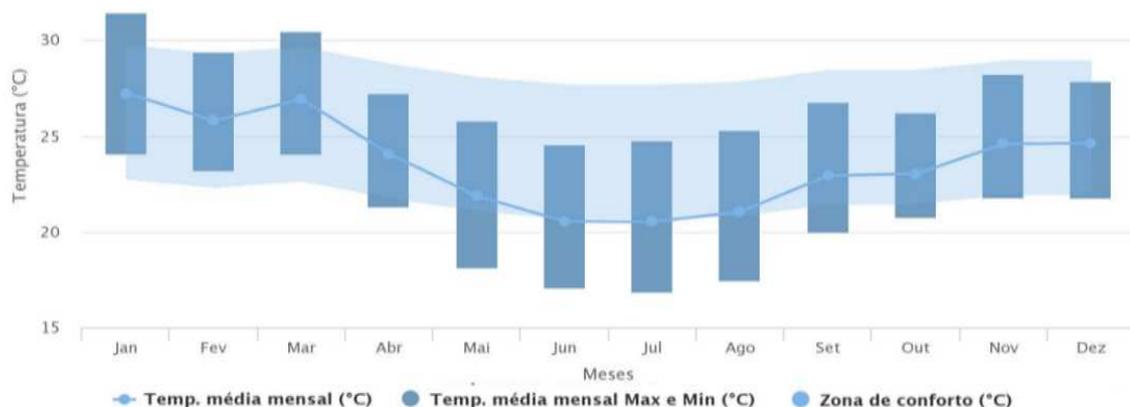
## 5.2. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DA EDIFICAÇÃO

Nesta etapa foram levantadas as principais características do terminal de desembarque do Aeroporto Santos Dumont, através de projetos, fotos, livros, visita técnica e entrevistas com responsáveis pela manutenção. As características climáticas foram baseadas na NBR 15220, ASHRAE, classificação de Köppen-Geiger e no banco de dados do Projeto de Eficiência Energética em Edificações (Projeteee) elaborado pela UFSC.

### 5.2.1. Clima, localização e geometria solar

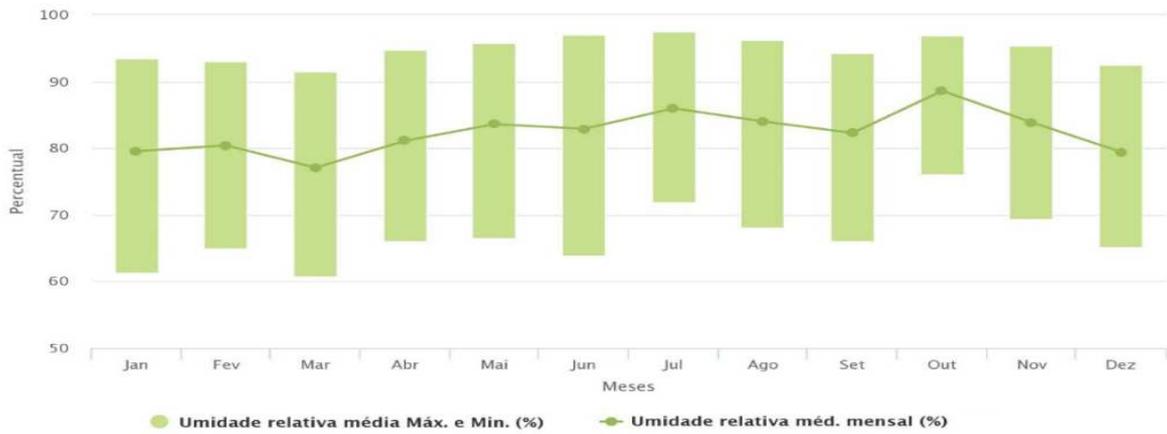
O edifício está localizado na cidade do Rio de Janeiro, cujo o clima é classificado como tropical atlântico, Zona 8 no zoneamento bioclimático brasileiro (NBR 15220), zona climática 1, muito quente e úmido pela ASHRAE e Clima tropical com estação seca de inverno pela classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.*, 2006). De modo geral é caracterizado por uma estação do ano quente e mais úmida, com máximas acima de 42°C e outra com temperaturas mais amentas, menos chuvas e temperaturas mínimas superiores a 15°C (Figura 44 e Figura 45). Segundo Projeteee (2016) 22,1% de todas as horas do ano estão em conforto, 62,57% estão em desconforto por calor e 15,33% em desconforto por frio. Os ventos predominantes são sentido norte-sul, sentido da pista de pouso e decolagem do aeroporto (Figura 46).

Figura 44: Gráfico de temperatura e zona de conforto.



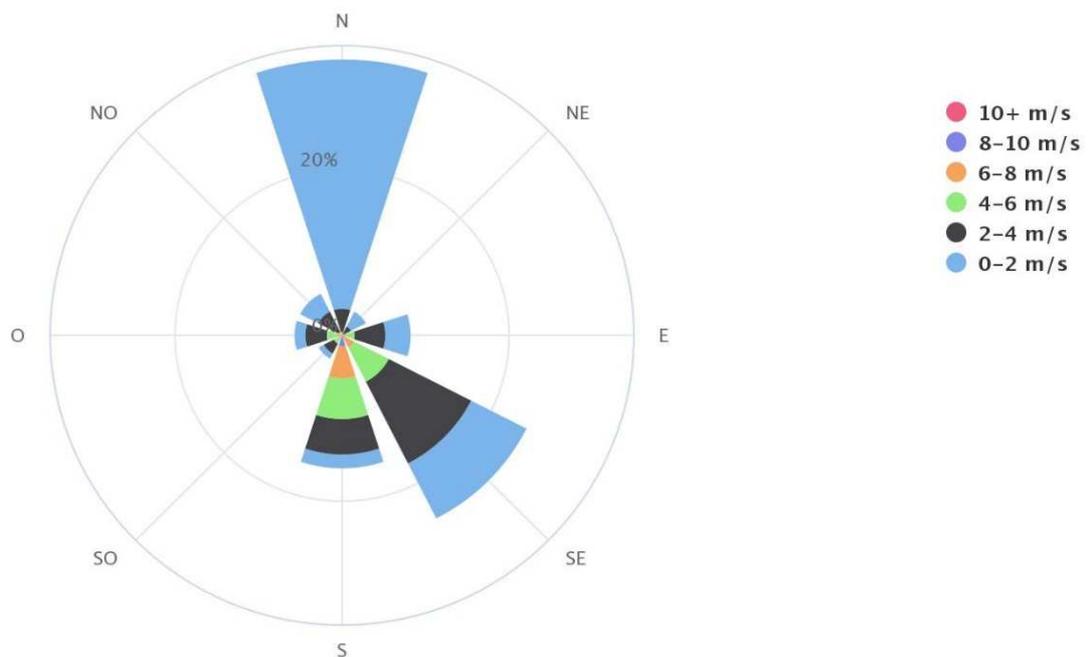
Fonte: Projeteee (2016)

Figura 45: Gráfico de umidade relativa



Fonte: Projeteo (2016)

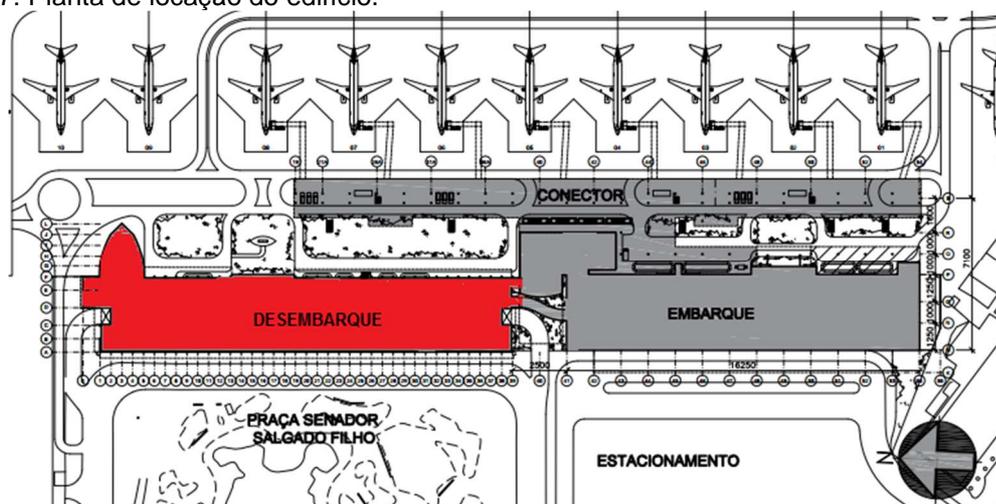
Figura 46: Gráfico rosa dos ventos



Fonte: Projeteo (2016)

O edifício de forma retangular está implantado sobre aterro na Baía de Guanabara, latitude 22°54'41.60"S, longitude 43°10' 1.11"O e altitude 3,03 m acima nível do mar (Infraero, 2014). Está rotacionado apenas 2° em relação ao norte e suas maiores fachadas estão orientadas no sentido leste oeste, ou seja, sentido de maior exposição solar.

Figura 47: Planta de localização do edifício.



Fonte: Infraero (2006).

### 5.2.2. Levantamento das dimensões e Rotinas de uso e ocupação dos ambientes.

Foram utilizados os dados do levantamento cadastral realizado para elaboração do projeto de reforma em 2006 (Anexo). O horário de funcionamento operacional do aeroporto para pousos e decolagens é das 6 às 23 horas. As partes administrativas trabalham das 8 às 17 horas. A população fixa do aeroporto é de 114 funcionários na administração, 179 na operação, 134 na manutenção, 1140 nas companhias aéreas e 393 nas lojas de serviços distribuídos em todas as edificações e por turnos (Infraero, 2014).

As rotinas de uso e ocupação detalhada dos ambientes foram coletadas na visita técnica e estão tabuladas no Apêndice.

### 5.2.3. Caracterização de materiais da envoltória.

A caracterização térmica dos materiais da envoltória pode ser realizada de diversas formas mais ou menos precisas. Irigoyen *et al.* (2013), Evangelisti *et al.* (2015) e Rodrigues e Kacel (2013) utilizam equipamentos para teste de termofluxometria e a Inspeção termográfica com equipamentos digitais. Em face a indisponibilidade de tais equipamentos foi utilizado a mesma técnica usada por Japiassú *et al.* (2016), os dados extraídos das especificações técnicas do projeto de reforma, ratificados na visita técnica, calculados conforme o processo apresentado na norma brasileira NBR 15220 (Tabela 8).

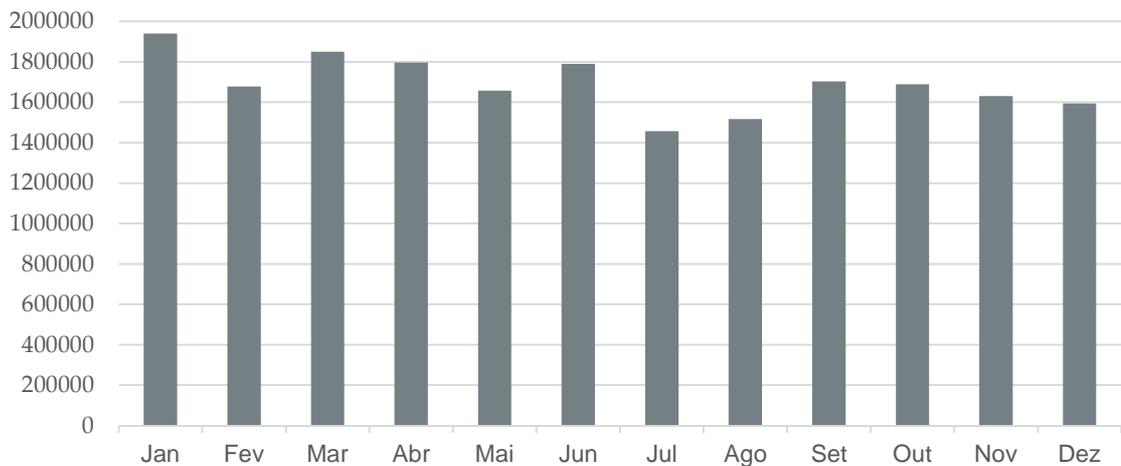
Tabela 8: Característica térmicas dos materiais atuais.

Material e localização	R (m <sup>2</sup> . K/W)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> . K)	φ (horas)	α
Alvenaria tradicional esp. 25cm, composta de tijolo cerâmico (14x19x29 cm) coberto por argamassa e revestido por granito cinza na face exterior e pintura no interior.	0,57	1,75	290	6,30	61,1
Alvenaria tradicional esp. 25cm, composta de tijolo cerâmico (14x19x29 cm) coberto por argamassa e revestido por pintura em ambas as faces.	0,55	1,8	230	5,5	11,1
Alvenaria tradicional esp. 15cm, composta de tijolo cerâmico (9x19x19cm) coberto por argamassa e revestido por pintura em ambas as faces.	0,40	2,49	158	3,3	11,1
Laje térreo ao mezanino laje de concreto de 45 cm, camada de ar de 49 cm e forro de gesso	1,16	0,86	1105	17,4	-
Laje mezanino ao 1 pav – laje alveolar comporta por 22 cm de concreto, camada de ar 55 cm e concreto de 9cm, mais camada de ar 20 cm e forro gesso	0,99	1	769	12,6	-
Laje 1 pav ao 2 pav - laje em concreto de 17 cm, camada de ar 1,05 e forro gesso	1	0,99	433	2,94	-
Laje 2 pav a cob, telha de alumínio, camada de ar 1,10m, laje em concreto 17 cm, camada de ar 1,45 e forro gesso	0,81	1,23	440	10,6	15
Esquadrias existentes em caixilhos de alumínio preto	0,33	3,03	14,25	0,7	97
Com vidro liso incolor 6mm.	0,17	5,70	12,6	0,17	
Esquadrias existentes em caixilhos de alumínio preto	0,33	3,03	14,25	0,7	97
Com vidro liso incolor 6mm. Película reflexiva	0,17	5,70	12,6	0,17	

#### 5.2.4. Consumo energético

Quanto a energia elétrica o aeroporto Santos Dumont foi o 5º maior aeroporto da rede Infraero em consumo em 2015 com 20.806.808 kW/h (Figura 48), contabilizando um custo de R\$12.870.173,95, seu consumo só foi menor que os aeroportos de Manaus, Recife, Congonhas e Salvador. Porém este valor se refere ao consumo de todo sítio uma vez que há medição de consumo apenas na única entrada de energia de onde é distribuída para todas as edificações (INFRAERO, 2015).

Figura 48: Gráfico histórico de consumo mensal de energia de 2015 em KWh.



Fonte: Infraero (2015).

### 5.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO

#### 5.3.1. O modelo

Pedrini (1997, p.14) conceitua modelos como: “abstrações de edificações reais ou de projetos de edificações, compostos por centenas de variáveis que visam reproduzir as características da edificação e seu comportamento em relação a determinados fenômenos”.

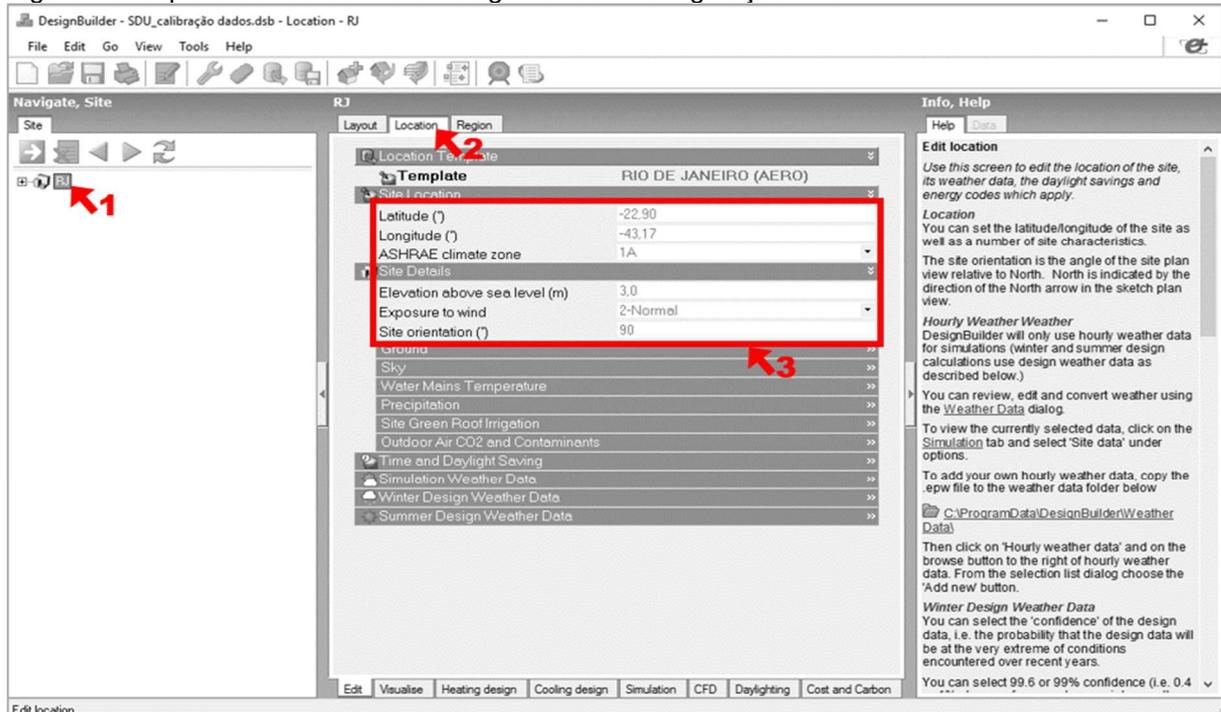
A elaboração do modelo é realizada com base nas informações coletadas na fase de caracterização da edificação. São inseridas informações acerca da geometria, propriedades termo físicas e radiantes dos materiais construtivos, equipamentos, iluminação, climatização e rotinas de uso de forma que o modelo corresponda o máximo possível ao edifício real (NICOLETI, 2009)

Cabe observar que o modelo é uma versão simplificada da edificação, consideradas interpretações do usuário e as limitações do programa. KAPLAN (1991) *apud* Pedrini (1997) salienta que para uma modelagem detalhada as suposições assumidas pelo usuário são inevitáveis, entretanto é possível reduzi-las e torná-las mais confiáveis, buscando apoio em informações auxiliares como dados de normas técnicas e pesquisas anteriores.

### 5.3.2. Configuração do sítio

No nível do Site [1] guia “Location”[2], item “Site location” e “Site Details” foram inseridas as informações de Latitude, longitude, altitude e orientação [3] (Figura 49).

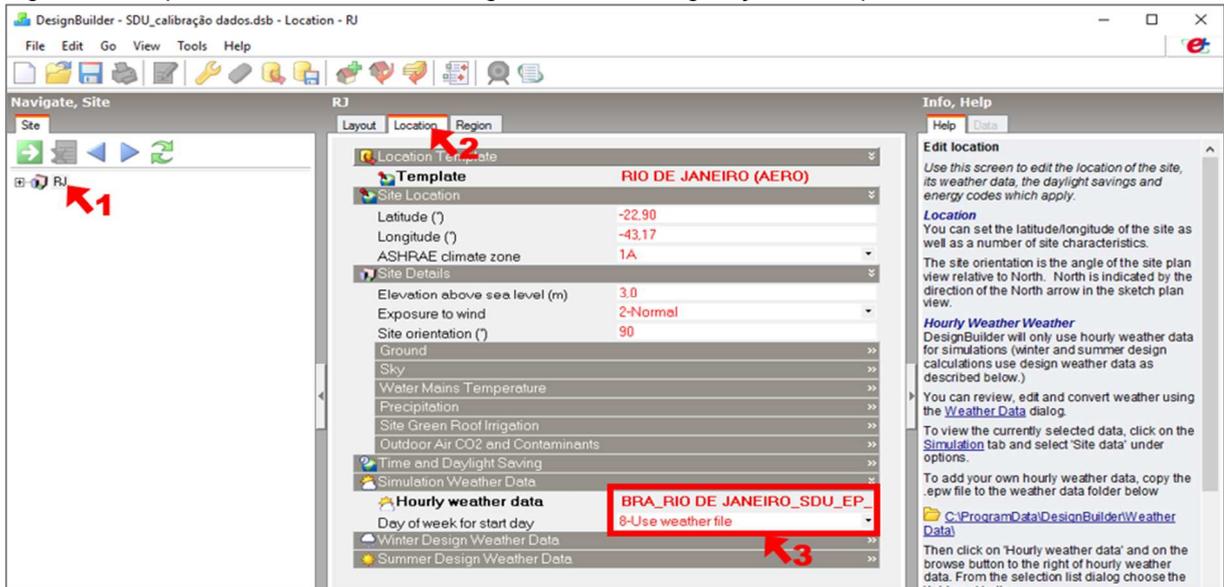
Figura 49: Captura da tela software *Design Builder* - configuração do sítio.



### 5.3.3. Arquivo climático

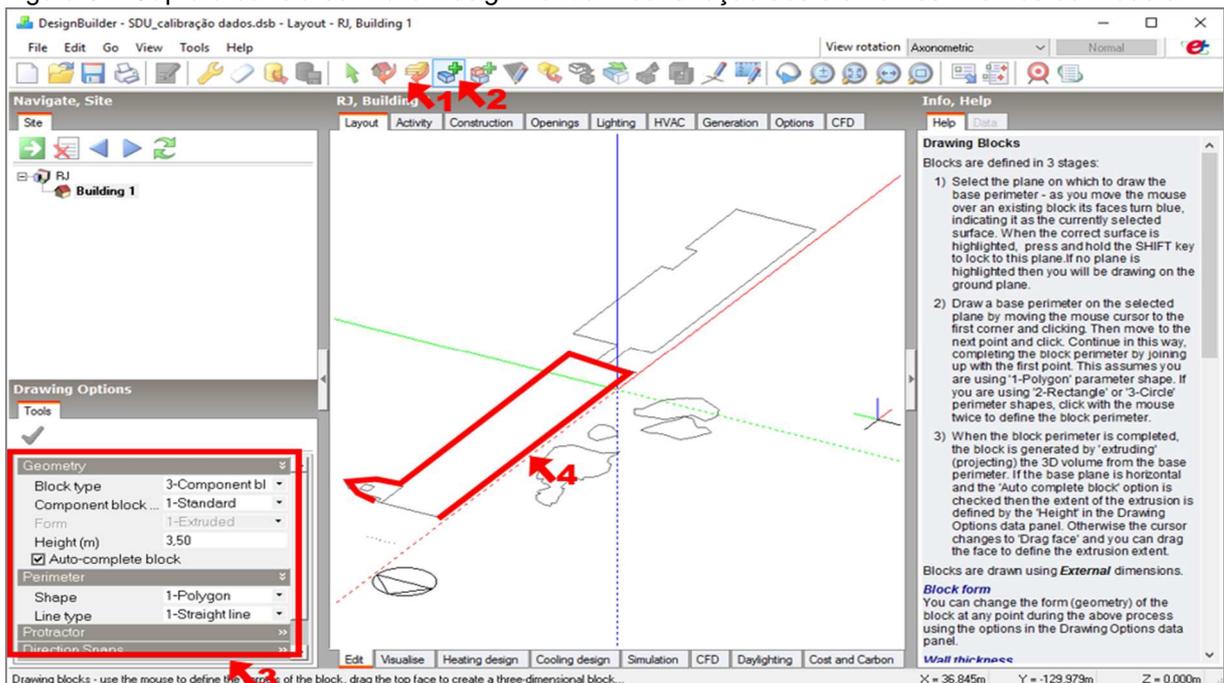
O site do Labeee disponibiliza atualmente arquivos climáticos, *Test Reference Year (TRY)*, *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)* para a cidade do Rio de Janeiro. Existem ainda arquivos obtidos através de dados das estações meteorológicas próprias do INMET coletados nos anos de 2000 e das dos aeroportos disponibilizados pela Infraero na década de 90. Uma vez que Sceller *et al.*, (2015) realiza comparação entre estes arquivos identificando imprecisões em ambos, nesta pesquisa utilizou-se o arquivo SWERA com dados disponibilizados pela Infraero, já que o mesmo utiliza dados da estação meteorológica do próprio Aeroporto Santos Dumont.

No nível do Site [1] na guia “Location”[2], item “Simulation weather data” foi inserido o arquivo “BRA\_Rio.de.Janeiro-Santos.Dumont.837550\_SWERA” [3] (Figura 50).

Figura 50: Captura da tela software *Design Builder* - configuração do arquivo climático.

### 5.3.4. Construção dos elementos internos do modelo.

No próximo passo a planta da em extensão “dxf” foi inserida para modelar do volume externo do andar, através do ícone “*import dxf, option Set*” [1], foi preparado um arquivo específico identificando os materiais de forma simplificada. Após este passo é acessado o ícone “*add a new block*” [2] e configurado os parâmetros de altura, forma e tipo de bloco e contornado os vértices da planta. Os tipos de bloco são três, “*building block*”, “*outline block*” e “*component block*” [3].

Figura 51: Captura da tela software *Design Builder* - construção dos elementos internos do modelo.

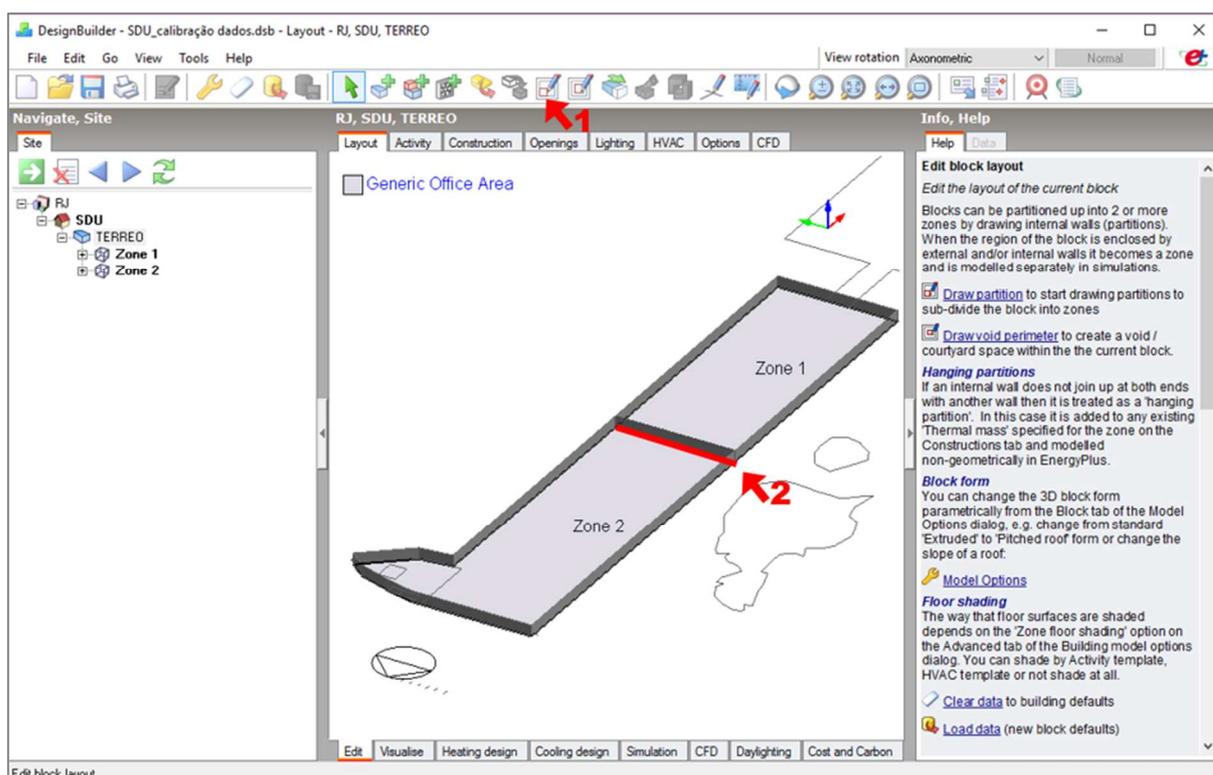
As paredes externas de todos os pavimentos foram modeladas com 25cm de espessura conforme indicado nas plantas do projeto de reforma de 2006 (em anexo).

### 5.3.5. Definição das zonas térmicas

Como forma de agilizar o processo de modelagem a planta da edificação foi simplificada. Assim ambientes com as mesmas rotina e tipo de uso, materiais, perfil de carga térmica e orientação solar foram agrupados na mesma zona térmica. Este agrupamento está representado nas plantas do Anexo 2.

As zonas térmicas são divididas a partir da divisão dos espaços internos através do comando *partitions* [1] e indicadas no desenho as divisões internas [2].

Figura 52: Captura da tela software *Design Builder* - definição das zonas térmicas.

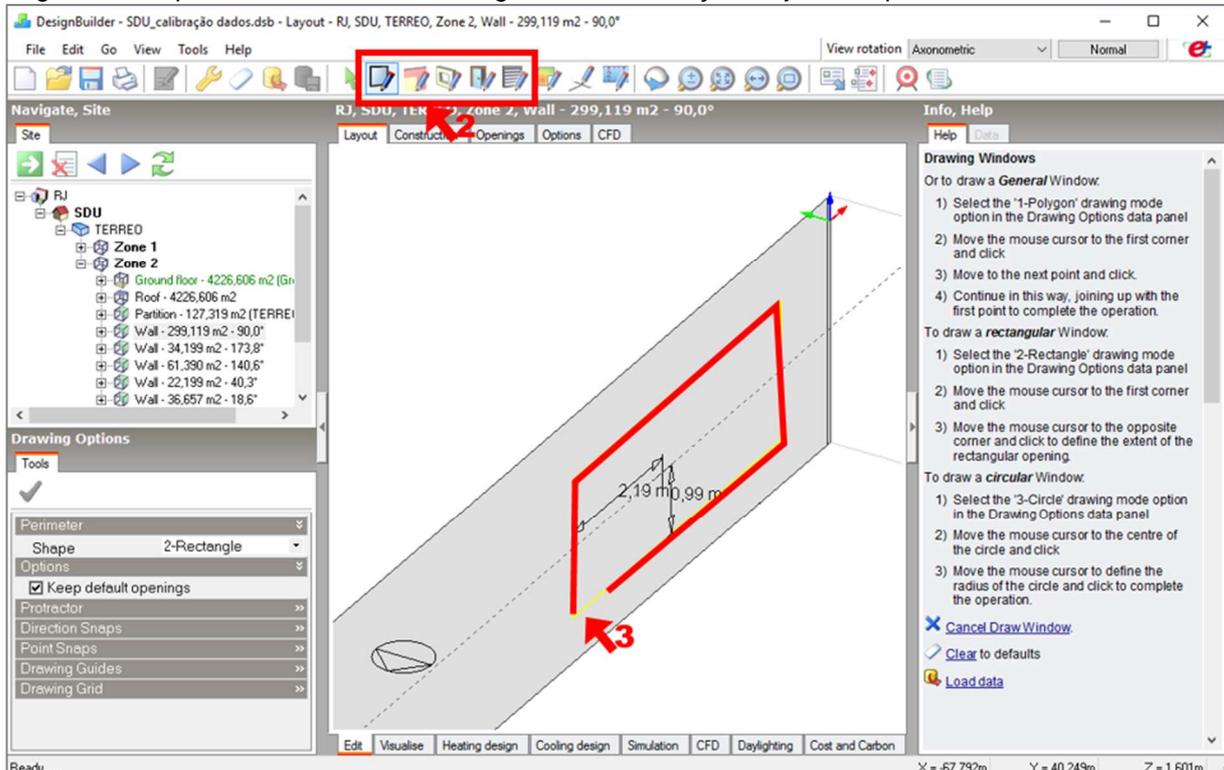


### 5.3.6. Inserção de janelas, portas, vãos e venezianas

As janelas, portas, vãos e venezianas foram inseridas selecionando a face desejada [1], clicando no ícone desejado [2] e indicando dimensões das aberturas [3], tal qual as especificadas no projeto de reforma de edificação. *Window* são aberturas com vidro, *role* são vazios, *door* são vãos que possuem superfície opaca, *vents* venezianas opacas e através de *Sub surfaces* é possível desenhar áreas com

materiais diferentes aos da superfície. As zonas com pé direito duplo foram modeladas inserindo *role* na superfície que representa a laje entre os pavimentos.

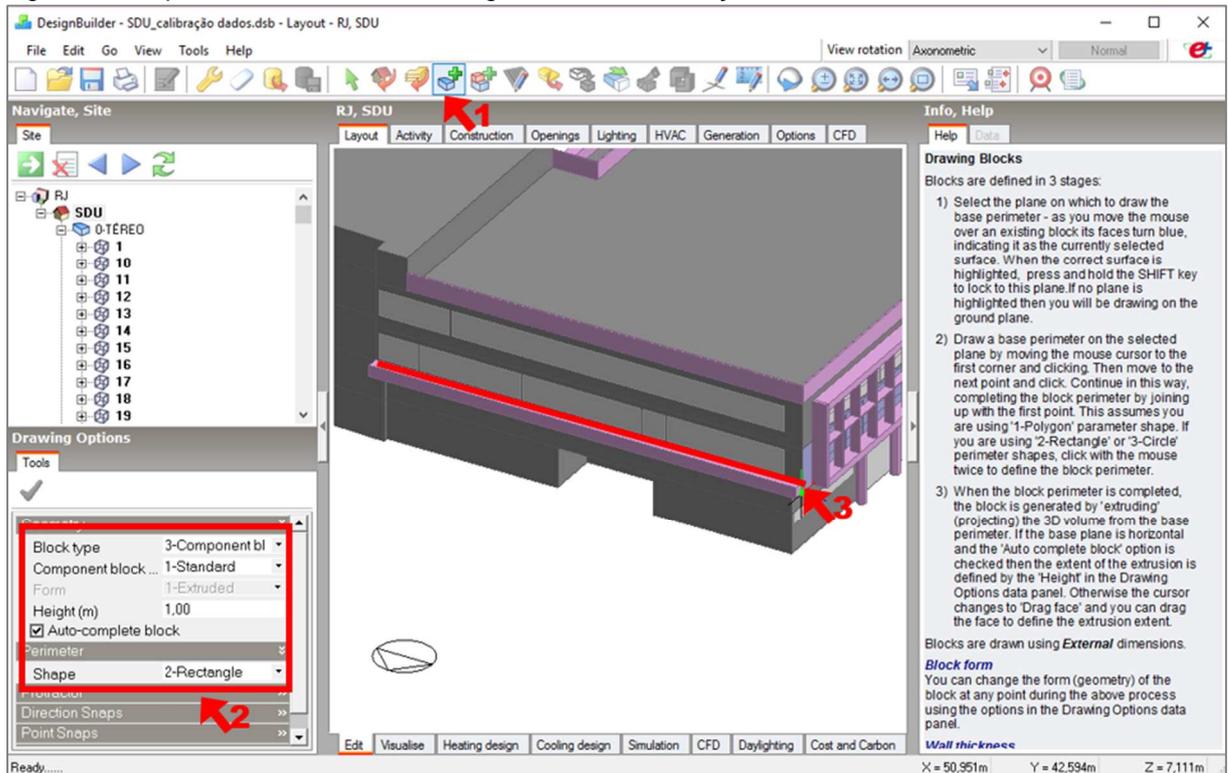
Figura 53: Captura da tela software *Design Builder* - inserção de janelas, portas, vãos e venezianas



### 5.3.7. Construção de elementos externos do modelo

Elementos externos podem ser modelados como *Component Block* (indicados em roxo na Figura 54) quando usados para representar elementos que não contêm zonas e criar estruturas visuais e de sombreamento que não contêm zonas e *Outline Blocks* (indicados em azul) para criar volumes que não interferem no modelo.

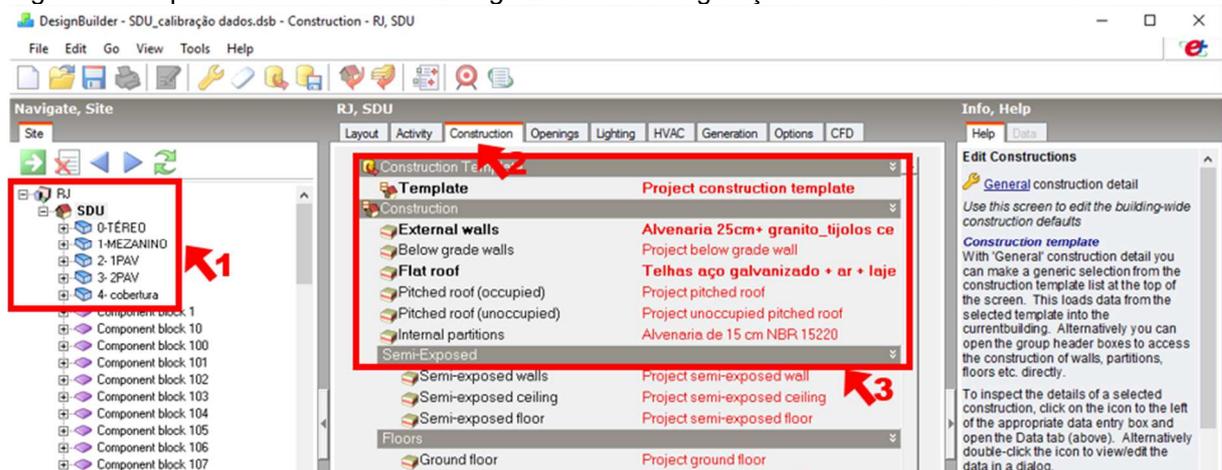
Primeiro foi selecionado o ícone *add new block* [1], depois configurado o tipo do bloco [2] e por fim desenhado no modelo [3]. O conjunto de árvores localizadas a frente da fachada oeste e as edificações existentes a leste e sul também foram modeladas com *Component Blocks*.

Figura 54: Captura da tela software *Design Builder* - construção de elementos externos do modelo

### 5.3.8. Configuração dos materiais construtivos

Inicialmente foram inseridos dados nos materiais de fechamentos externos atuais, conforme levantamento realizado na etapa de caracterização da edificação e apresentada na Tabela 8, p.79.

Após selecionar o nível da edificação [1] e clicar na aba *Construction* [2] foram alterados os itens *External walls*, *Flat roof* e *internal partitions* [3].

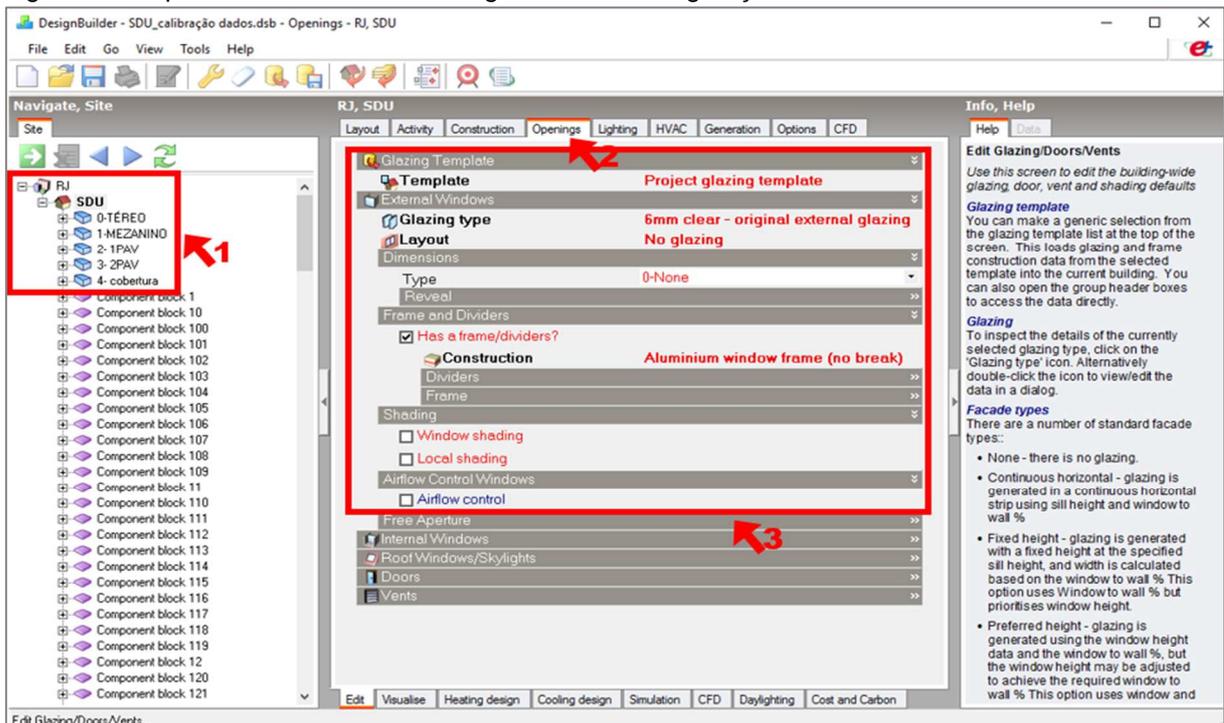
Figura 55: Captura da tela software *Design Builder* - Configuração dos materiais construtivos

### 5.3.9. Configuração dos materiais das aberturas

Os dados de aberturas foram alterados para corresponder aos atuais materiais, conforme levantamento realizado na etapa de caracterização da edificação e apresentada na Tabela 8, p.79.

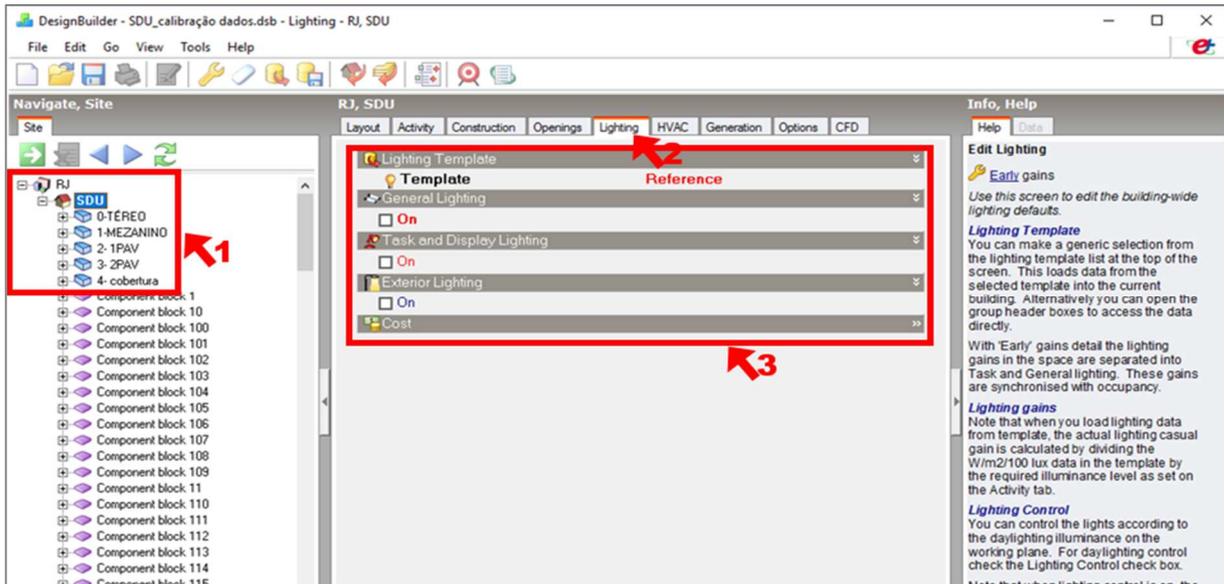
Indicado o nível da edificação [1], a aba openings [2] foi selecionada e alterado o item *glassing type* e *frame and dividers* [3].

Figura 56: Captura da tela software *Design Builder* - configuração dos materiais das aberturas



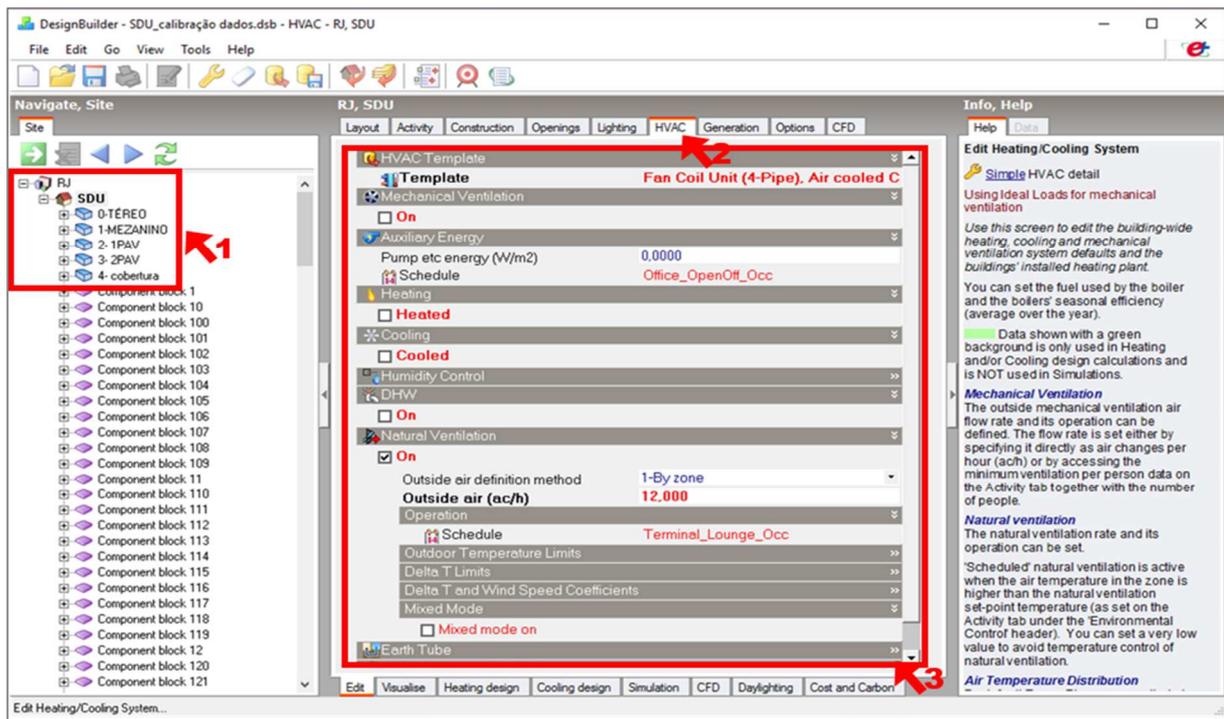
### 5.3.10. Configuração da iluminação artificial

Para o modelo inicial, de calibração, a iluminação não foi considerada. Mais uma vez selecionado o nível foi indicada a aba *lighting* e desmarcada a caixa *on* do item *general lighting*.

Figura 57: Captura da tela software *Design Builder* - configuração da iluminação artificial

### 5.3.11. Configuração do tipo de Ar condicionado e ventilação

Selecionando o nível da edificação [1] e clicando na aba HVAC [2] foi escolhido o *template* disponível no software que mais se aproxima ao modelo instalado no edifício, *Fan Coil Unit Air cooled chiller* [3]. Apenas nas zonas térmicas não climatizadas foi desselecionada a caixa do item *cooling* e acionada a do item *natural ventilation*, configurando o parâmetro de *outside air (ac/h)* em 12.

Figura 58: Captura da tela software *Design Builder* - configuração do tipo de Ar condicionado e ventilação

### 5.3.12. Configuração de uso, cargas térmicas e rotinas de ocupação

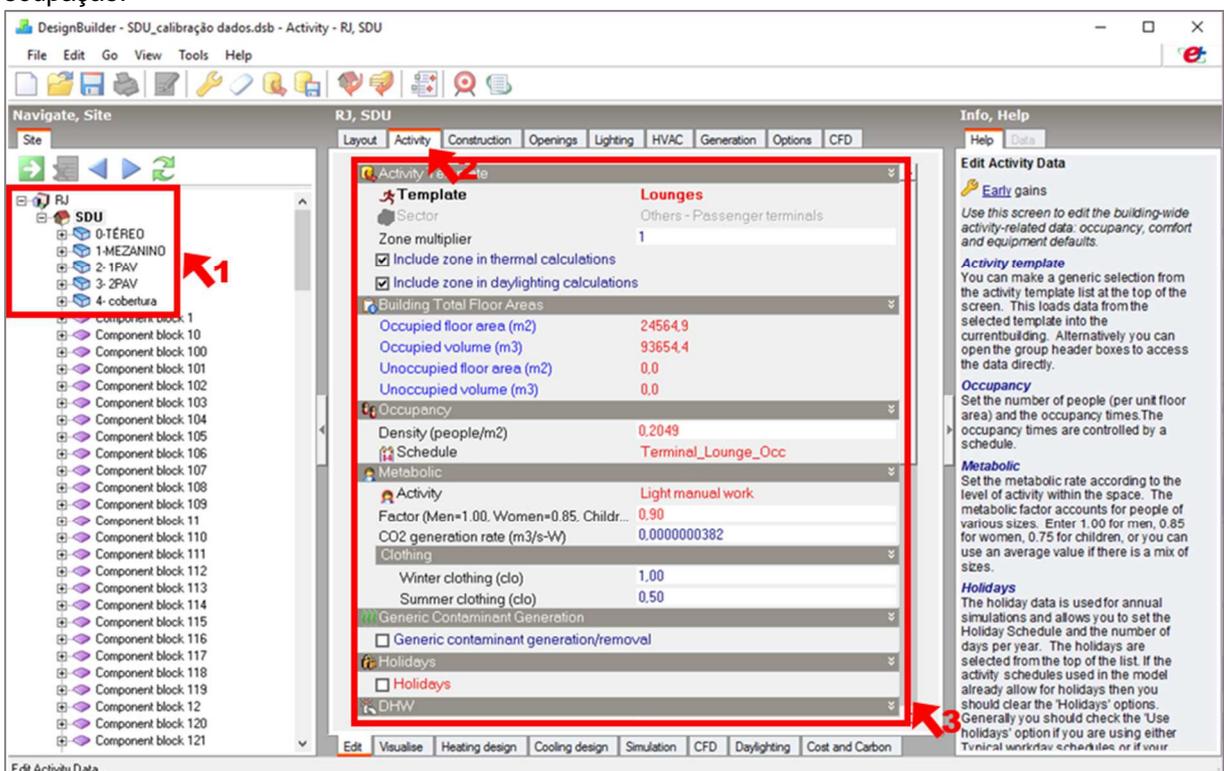
As zonas térmicas criadas no item 5.3.5 (p.83) foram classificadas segundo quatro dos tipos padrão para *passenger terminals* disponibilizado pelo software: *circulation área non public*, *store roomm*, *generic office área* e *lounges*.

Tabela 9: Comparação templates de atividades software *Design Builder*.

Template	lounges	generic office	Store room	circulation área non public
Density (people/m <sup>2</sup> )	0,2049	0,1226	0,1185	0,1161
Metabolic Activity	light manual work	Light office work	Standing/walking	Standing/walking
cooling (°C)	25	24	23	23
cooling set back (°C)	28	28	28	28
Equipment gain (w/m <sup>2</sup> )	5	12,70	-	2

Após selecionar a zona térmica [1], clicar na aba *activity* [2] foi selecionado o *template* [3] conforme indicado no levantamento de dados, anexo.

Figura 59: Captura da tela software *Design Builder* - configuração de uso, cargas térmicas e rotinas de ocupação.



### 5.3.13. Calibração do modelo

O procedimento de calibração tem o objetivo de aumentar a precisão do modelo frente ao edifício real, promovendo simulações de comportamentos térmico e energético fidedignos e permitindo a avaliação de medidas de conservação de energia confiáveis (PEDRINI, 1997).

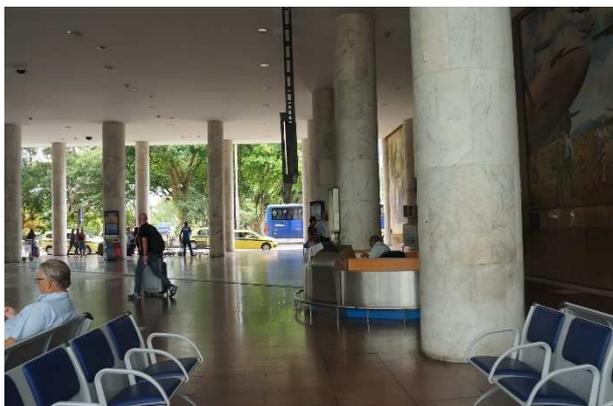
Pedrini (1997) esclarece que em linhas gerais os diversos métodos de calibração partem da elaboração de um primeiro modelo, simulado sob um clima específico e comparado seu desempenho simulado ao do edifício real, ajustando as variáveis declaradas no modelo até que se atinjam distorções aceitáveis.

Diversos parâmetros podem ser utilizados para avaliação da performance da simulação, desde dados de consumo de energia elétrica mensal global, horário global ou de uso final obtidos por monitoração, até estimativas de fluxo de calor da edificação e eficiência de condicionador de ar (GOSH, 2005).

O procedimento adotado nesta pesquisa foi semelhante aos utilizados por Evangelisti *et al.* (2015), Cornaro *et al.* (2016) e Taheri *et al.* (2013). Foi escolhido um ambiente não climatizado da edificação, o saguão central no andar térreo, elaborado modelo, simulado com arquivo climático SWERA citado no item 5.3.3, p.78, comparado o coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio (*Root mean square error, CV(RMSE)*).

Os dados do ambiente são provenientes do aparelho *data logger* de temperatura e umidade, instalado a 3 metros de altura (fora do alcance dos usuários). Já os dados de temperatura e umidade externos foram disponibilizados pela Infraero, coletados na estação meteorológica do próprio aeroporto, no mesmo período.

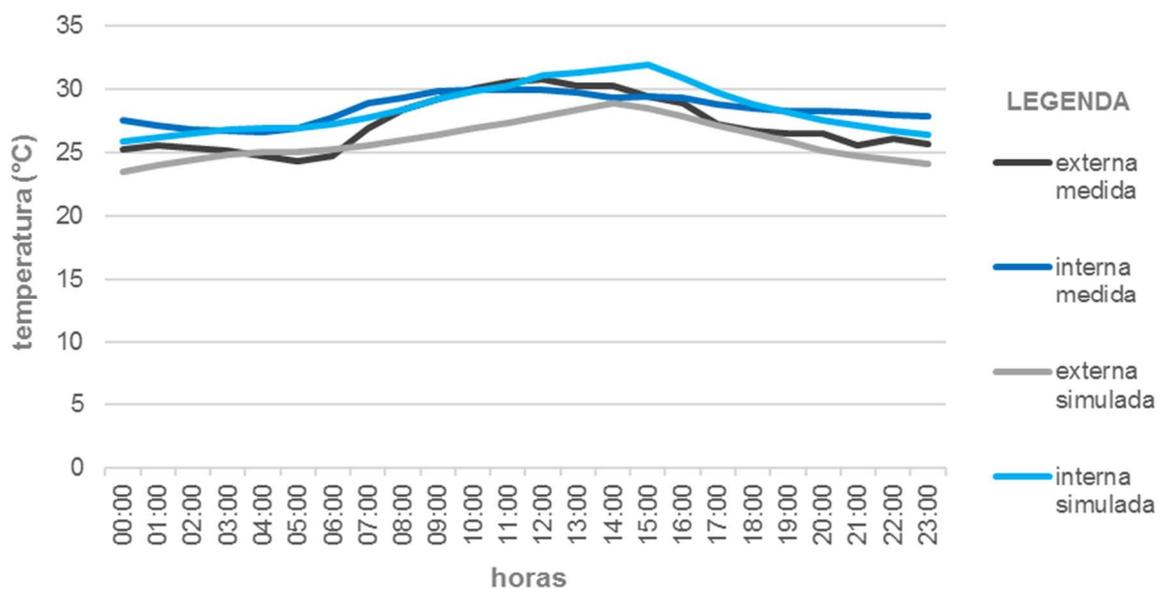
Figura 60: Instalação de data logger de temperatura e umidade no saguão central, andar térreo.



Cornaro *et al.* (2016) argumenta que são utilizadas para a calibração dos modelos tanto as campanhas de medição a longo prazo como as de curto prazo e aponta que não é realmente evidenciada na literatura nenhum benefício real de uma abordagem em relação à outra. Diante disso foram empregadas medições horárias durante o período de dez dias, entre três e treze de fevereiro de 2017.

A satisfatória relação entre as medidas simuladas e medidas podem ser verificadas na Figura 61 e confirmado pelo CV(RMSE) 10,4% calculado durante o período de calibração. O número está dentro dos limites estabelecidos por Milanez (2012) onde  $CV(RMSE) \leq 5\%$  representa um modelo excelente,  $\leq 10\%$ , modelo bom e  $\leq 20\%$ , modelo aceitável.

Figura 61: Gráfico de temperatura simuladas e medidas no saguão central no dia 9 de fevereiro de 2017, obtidas após a calibração.



#### 5.4. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE INTERVENÇÃO

Fixados os princípios a serem observados para a preservação do patrimônio histórico (item 2.5, p.30) e para conservação de energia (item 3.4, p.46) as soluções para *retrofit* de envoltórias apresentadas no capítulo 4 foram classificadas quanto atendimento ou não a estes conceitos, recebendo binariamente 0 ou 1 ponto para cada critério analisado, sintetizada na Tabela 10.

Tabela 10: Classificação das soluções para retrofit de envoltórias quanto atendimento ou não aos princípios para preservação do patrimônio histórico e conservação de energia.

Soluções e componentes construtivos		Mínima intervenção	Distinguilidade da intervenção	Reversibilidade	Adequação as medidas declaradas pelos órgãos de proteção	Adequação às limitações físicas da estrutura	Pertinência com o desempenho térmico (NBR 15220)	Pertinência a estratégia de intervenção a ser adotada	Aproveitamento da iluminação natural;	Baixa absorvância solar	Estanteidade, resistência e durabilidade.	Simplicidade de limpeza e manutenção;	Pontuação
Componentes opacos	Sistemas de isolamento térmico pelo exterior								NA				6
	Fachadas ventiladas								NA				7
	Sistemas de painel de isolamento térmico externo								NA				5
	<b>Placas laminadas de isolamento e gesso acartonado lado interno</b>								NA				9
	Placas de isolamento revestidas por argamassa lado interno								NA				8
	Isolamento de câmara com material a granel	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
	Isolamento de câmara com espuma	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
Cobertura	<b>Coberturas frias</b>								NA				9
	Telhados ventilados								NA				5
Componentes translúcidos	Caixilho em alumínio preto								NA				5
	<b>Caixilho em alumínio preto com tratamento térmico</b>								NA				7
	Caixilho em madeira pintura preta								NA				6
	Caixilho em PVC pintura preta								NA				6
	Caixilho em PVC com tratamento térmico pintura preta								NA				6
	Vidro monolítico incolor									NA			7
	Vidro monolítico azul									NA			5
	Vidro monolítico bronze									NA			5
	Vidro monolítico cinza									NA			5
	Vidro monolítico verde									NA			8
	<b>Vidros laminados incolores</b>									NA			9
	Vidros laminados azul									NA			5
	Vidros laminados cinza									NA			5
	Vidros laminados verde									NA			8
	<b>Vidros laminados controle solar</b>									NA			9
	<b>Vidros insulados incolores</b>									NA			9
	Vidros insulados azul									NA			5
	Vidros insulados bronze									NA			5
Vidros insulados cinza									NA			5	
Vidros insulados verde									NA			8	
<b>Vidros insulados controle solar</b>									NA			9	

Legenda: ■ Atendido = 1 ponto ■ Não atendido = 0 ponto ■ NA Não se aplica = 0 ponto

Em função do alto percentual de área de abertura das fachadas, foi identificado que intervenções nos elementos opacos não seriam significativas para esta edificação. Além disso as alvenarias externas já apresentam boas características térmicas, uma vez que são revestidas com granito e somam cerca de 30 cm. Outra possibilidade descartada foi a diminuição das áreas de aberturas uma vez que as obstruções da fachada e da vista seriam opostas as orientações fixadas pelo INEPAC.

Quanto aos materiais translúcidos foram analisados os benefícios dos 4 materiais escolhidos (Tabela 11), verificou-se que os vidros de controle solar possuiriam menores transmissões luminosas. Porém com fator solar e coeficiente de sombra menores com a mesma aparência. Assim foram selecionados 3 vidros com características diferentes, entre o monolítico e o laminado com controle solar há maior diferença de transmissão luminosa e fator solar, entre este último e o insulado com controle solar a alteração está na transmitância térmica.

Tabela 11: Propriedades dos tipos de vidros selecionados.

Tipos de vidros	Fatores visíveis			FS	CS	U	Aparência
	TL	RLe	RLi				
<b>Monolíticos incolores (6mm)</b>	<b>90,2</b>	8,4	8,4	<b>86,2</b>	<b>0,99</b>	<b>5,70</b>	<b>Incolor</b>
Laminados incolores (4 mm inc.+ PVB inc.+ 4 mm inc.)	88	8	8	79	0,90	5,12	Incolor
<b>Laminados controle solar (4 mm sol.+ PVB inc.+ 4 mm inc.)</b>	<b>69</b>	11	11	<b>40</b>	<b>0,47</b>	<b>5,17</b>	<b>Incolor</b>
Insulados incolores (4 mm inc.+ ar 8 mm+ 4 mm inc.)	88	15	15	77	0,88	2,88	Incolor
<b>Insulados controle solar (4 mm sol.+ ar 8 mm + 4 mm inc.)</b>	<b>68</b>	11	12	<b>39</b>	<b>0,44</b>	<b>2,06</b>	<b>Incolor</b>

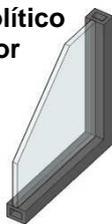
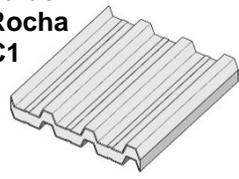
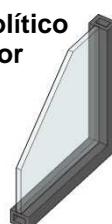
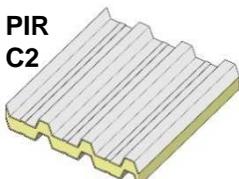
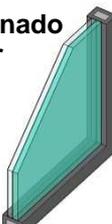
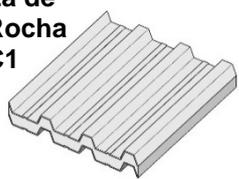
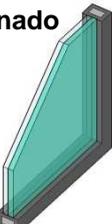
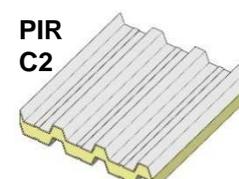
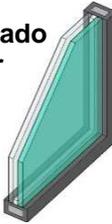
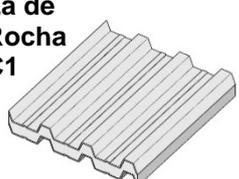
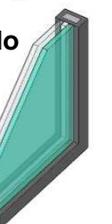
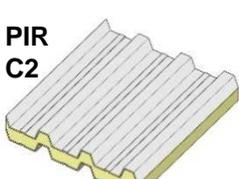
TL: Transmissão Luminosa (%), RLe: Reflexão Luminosa Externa (%), RLi: Reflexão Luminosa Interna (%), FS: Fator Solar (%), CS: Coeficiente de Sombra (%), U: transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>.K);

Fonte: Guardian Glass (2016).

Com relação a adoção de coberturas frias o material especificado já apresentava baixa absorvância solar e alta refletância, logo foram escolhidos materiais que além destas características proporcionassem maior transmitância térmica e maior atraso térmico, neste caso o isolamento de lã de rocha especificado no projeto foi comparado ao de poliisocianurato.

Assim foram escolhidos 3 tipos de materiais translúcidos e dois tipos de coberturas, formando 6 cenários de simulação a apresentados na Tabela 12, cujas características térmicas dos materiais estão descritas na Tabela 13.

Tabela 12: Composição dos cenários simulados

Cenário	Fechamento translúcido	Cobertura	Cenário	Fechamento translúcido	Cobertura
I*	<b>Monolítico Incolor T1</b> 	<b>Lã de Rocha C1</b> 	IV	<b>Monolítico Incolor T1</b> 	<b>PIR C2</b> 
II	<b>Laminado Solar T2</b> 	<b>Lã de Rocha C1</b> 	V	<b>Laminado Solar T2</b> 	<b>PIR C2</b> 
III	<b>Insulado Solar T3</b> 	<b>Lã de Rocha C1</b> 	VI	<b>Insulado Solar T3</b> 	<b>PIR C2</b> 

\* Cenário que apresenta os materiais especificados no projeto de reforma, elaborado em 2006 e aprovado pelo INEPAC

Tabela 13: Característica térmicas dos materiais simulados

Soluções e componentes construtivos	R	U	CT	$\phi$	$\alpha$	Local	
<b>FECHAMENTOS TRANSLUCIDOS</b>							
T1	Esquadrias existentes em caixilhos de alumínio preto	0,33	3,03	14,25	0,7	97	Térreo e Mezanino
	Com vidro liso incolor 6mm.	0,17	5,70	12,6	0,17	-	
T2	Esquadrias em perfis de alumínio anodizado preto preenchimento dos vazios com flocos de fibra cerâmica densidade 80kg/m <sup>3</sup>	0,52	1,89	18,77	1,5	97	1º e 2º pavimentos
	Com vidro laminado incolor espessura 14mm	0,18	5,43	29,4	0,4	-	
T3	Esquadrias em perfis de alumínio anodizado preto preenchimento dos vazios com flocos de fibra cerâmica densidade 80kg/m <sup>3</sup>	0,52	1,89	18,77	1,5	97	Todos os andares
	Com vidro laminado de controle solar, espessura 14mm	0,18	5,48	29,4	0,32	-	
T3	Esquadrias em perfis de alumínio anodizado preto preenchimento dos vazios com flocos de fibra cerâmica densidade 80kg/m <sup>3</sup>	0,52	1,89	18,77	1,5	97	Todos os andares
	Com vidro insulado de controle solar, espessura 14mm	0,66	1,5	29,4	1,9	-	
<b>COBERTURA</b>							
C1	Telhas zipadas composto de telha superior espessura 0,65mm de aço galvanizado pré-pintada na cor branca, telha inferior existente e núcleo isolamento termo-acústico em lâ de rocha espessura 50mm	3,23	0,30	42,45	6,8	16,2*	Todo edifício
C2	Telhas zipadas composto de telha superior espessura 0,65mm de aço galvanizado pré-pintada na cor branca, telha inferior existente e núcleo isolamento termo-acústico em poliisocianurato (PIR) espessura 60mm	5,63	0,177	42,39	9,1	16,2*	Todo edifício

R - Resistência térmica (m<sup>2</sup>. K/W), U - Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>.K), CT - Capacidade térmica (kJ/m<sup>2</sup>. K),  $\phi$  - Atraso térmico (horas),  $\alpha$  - Absortância Solar (superfícies opacas).

\*Fonte: DORNELLES et.al (2013).

**CAPÍTULO 6**

**RESULTADOS E ANÁLISE**

## 6.1. EVOLUÇÕES HORÁRIAS DE FLUXOS DE CALOR DO DIA TÍPICO DE INVERNO E VERÃO

Inicialmente foi selecionado um ambiente ventilado naturalmente, neste caso o saguão central, a fim de compreender o comportamento térmico da envoltória da edificação durante os dias típicos de verão e de inverno. Os dias 17 de fevereiro e 7 de julho foram escolhidos a partir da indicação do *software* da semana típica de verão e de inverno respectivamente e realizada por este através da análise do arquivo climático da cidade do Rio de Janeiro.

As Figura 62 e Figura 63 apresentam a transmissão de radiação solar de ondas curtas através de todas as janelas externas, seja direta ou difusa. Nota-se de maneira geral, que apesar do ganho de calor acompanhar os horários incidência solar sobre a fachada leste e oeste, o ganho de calor é maior nos horários em que há radiação direta sobre a grande vidraça localizada na fachada leste. A forma da edificação favorece a influência destas áreas de fachadas, já que há a curta distância entre elas. Verifica-se ainda que os ganhos menores no horário vespertino são condizentes com menores áreas envidraçadas na fachada oeste deste ambiente e ganhos da radiação difusa.

Assim como no dia típico de verão, no de inverno os cenários I e IV, simulados com vidro monolítico incolor, apresentaram os maiores ganhos de calor tanto nos períodos de maior influência da radiação solar direta quanto da difusa, entre as 5 e as 19 horas. Já os cenários II e V com vidros com laminados com controle solar apresentaram menores ganhos solares em ambas as situações.

Figura 62: Ganhos solares horários de janelas exteriores no dia típico de verão em kWh do saguão central - térreo.

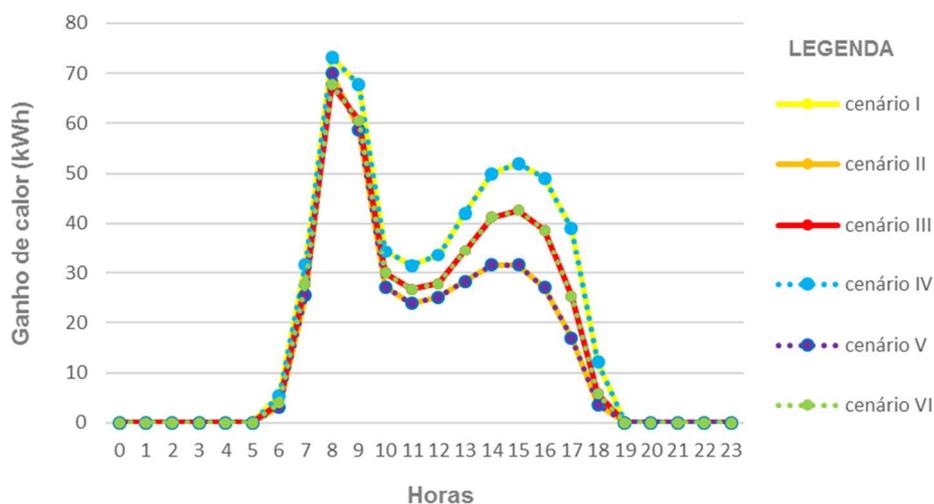
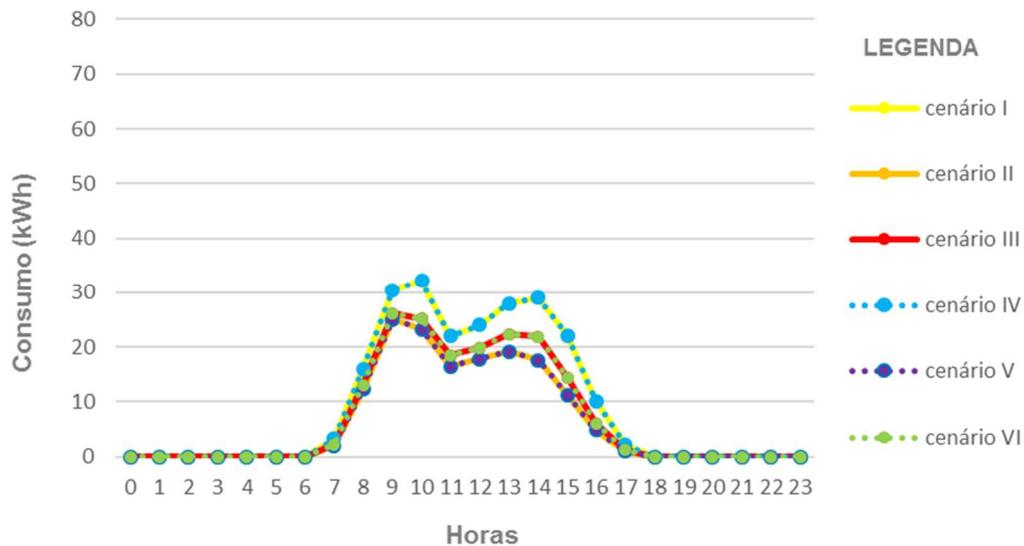


Figura 63: Ganhos solares horários de janelas exteriores no dia típico de inverno em kWh, do saguão central - térreo.



As temperaturas operativas do ambiente ao longo do dia, exibidas nas Figura 64 e Figura 65 demonstram que em geral a envoltória da edificação conserva bastante calor internamente. Mesmo simuladas com taxa de ventilação de 12 renovações por hora. Os cenários I e IV apresentaram as maiores temperaturas e os cenários II e V as menores entre as 5 e às 19 horas.

Quando comparados a simulação do dia típico de verão, o de inverno apresentou maior amplitude entre as temperaturas dos cenários. Neste período é menor o índice de radiação global consequentemente o a influência da radiação solar direta sobre a edificação é menor.

Figura 64: Temperatura operativa no dia típico de verão em kWh, do saguão central – térreo

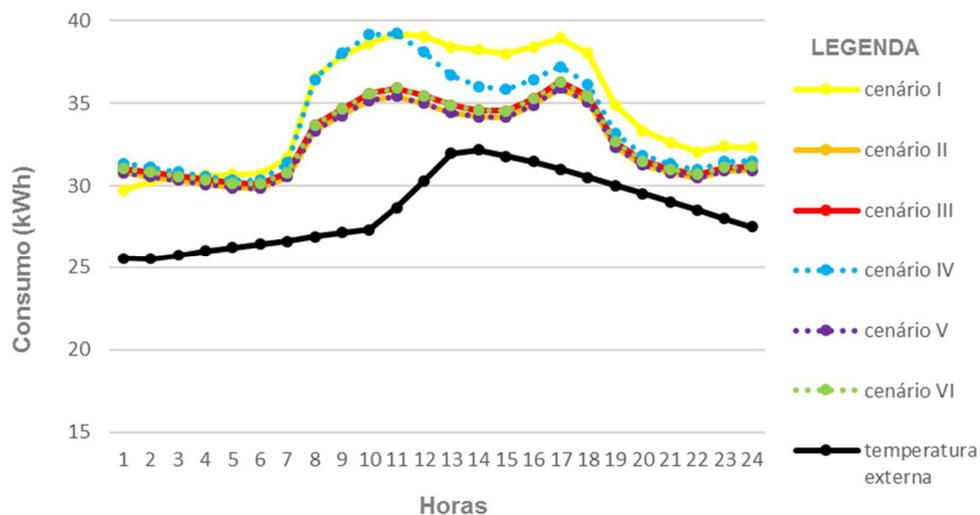
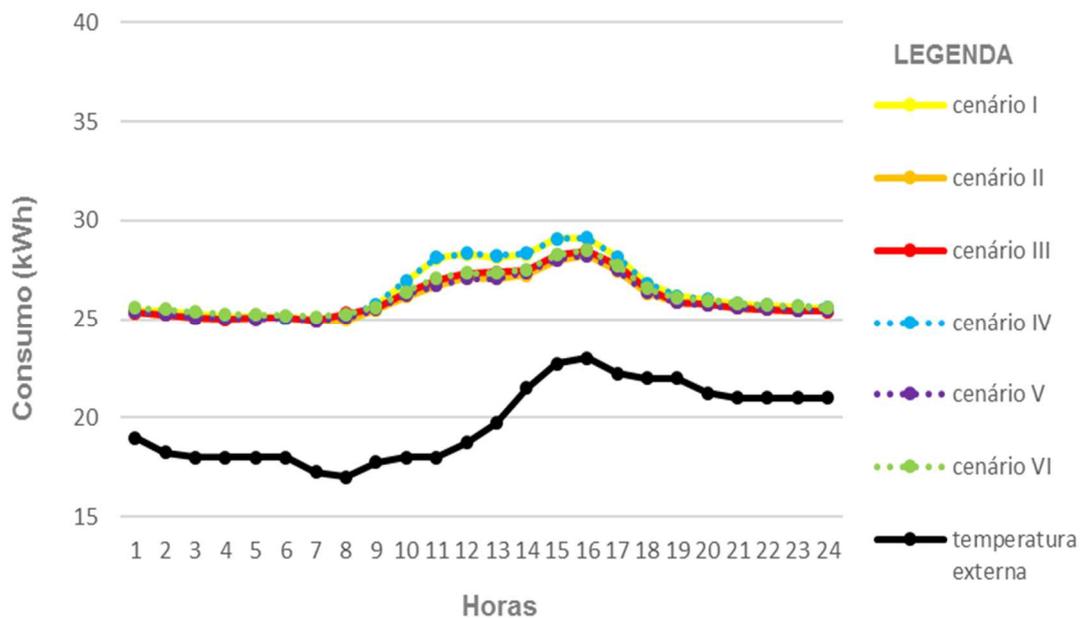


Figura 65: Temperatura operativa no dia típico de inverno em kWh, do saguão central - térreo



## 6.2. PERCENTUAL DAS HORAS EM CONFORTO (POC) DOS AMBIENTES NÃO CLIMATIZADOS

Para avaliação das condições de conforto do usuário nas áreas não climatizadas do terminal foi utilizado o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) para os seis cenários simulados.

O modelo psicofisiológico da percepção térmica de Auliciems (1981) foi adotado para referência de zona de conforto adaptativa, expressa pela Equação 3. Pelo método a temperatura de conforto absorve a variação de  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  em relação à temperatura de neutralidade, que deve se restringir entre 18 e 28°C.

$$T_n = 0,31 T_e + 17,6 \quad (3)$$

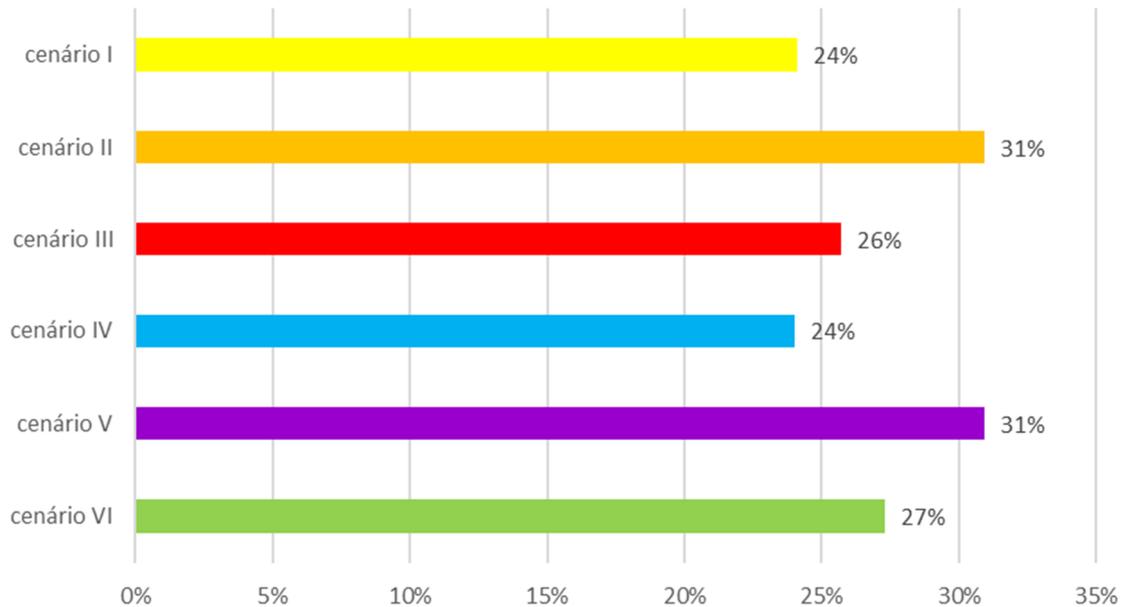
Onde:

T<sub>n</sub>: temperatura de neutralidade, em °C

T<sub>e</sub>: temperatura externa, em °C

As temperaturas operativas e temperatura externa de bulbo seco obtidos do software nas 8760 horas do ano foram exportados para uma planilha. Foi então calculada a T<sub>n</sub> e descartados os horários em que esta não estivesse ente 18 e 28°C e por fim calculado o POC.

Figura 66: Gráfico do percentual de horas em conforto (POC) de todos os Cenários .

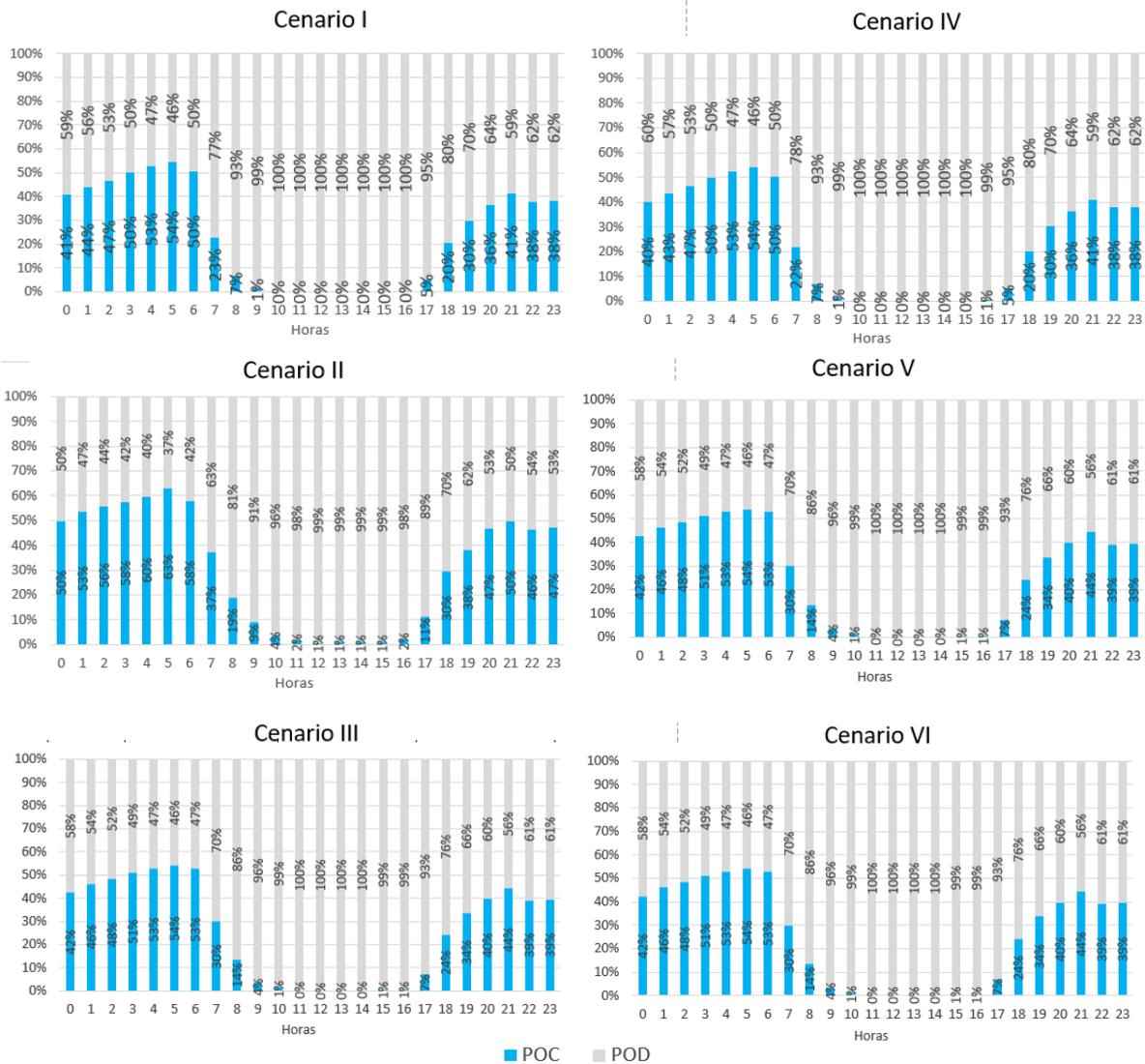


Conforme os dados apresentados na

Figura 66, em todos os cenários simulados o POC foi baixo. O valor de 50% já pode ser considerado ruim e os ambientes mais confortáveis são considerados os em que o POC é maior ou igual a 80% (INMETRO,2013).

A partir do POC também foram calculadas as horas de desconforto por frio ou calor (POD). Na Figura 66 estes dois percentuais são agrupados pelas horas do dia, assim é possível identificar que em todos os cenários o período entre as 11 e 13 horas está em desconforto 100% dos dias. Os cenários III e VI esta condição é ampliada o horário entre 11 às 16 horas e nos cenários I e IV de 10 e 16 as 16 horas.

Figura 67: Gráficos de comparação do POC e POD por hora.



### 6.3. FONTES DE GANHO INTERNO DE CALOR MENSAL E ANUAL

O software fornece ainda dados sobre o ganho interno de calor, identificando as fontes. Os valores de ganho anual com iluminação geral, equipamentos e ocupação se mantem constantes em todos os cenários e somam 5.326.734 kWh. O fator que mais se altera em todos os cenários é o ganho solar das janelas exteriores, comparando o I e IV com os II e V, os valores destes últimos são 55% menores (Figura 68). Entretanto nota-se que os valores necessários para o resfriamento das zonas não são alterados na mesma proporção, mostrando pouca sensibilidade do ganho solar

das janelas exteriores face as outras fontes de calor e ao isolamento da envoltória da edificação (Figura 69).

Figura 68: Fontes de ganho interno de calor mensal e anua , em kwh.

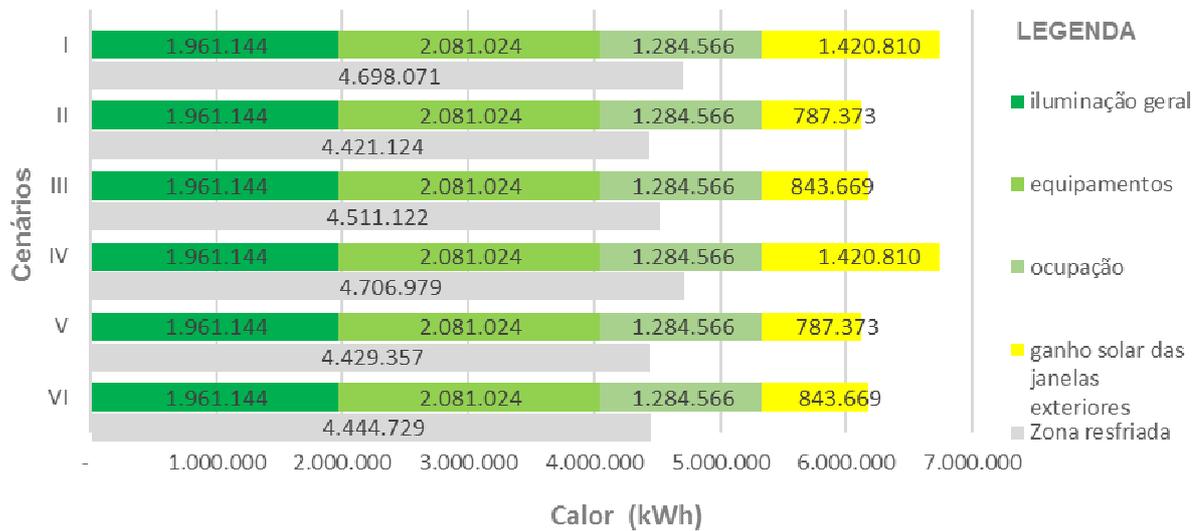
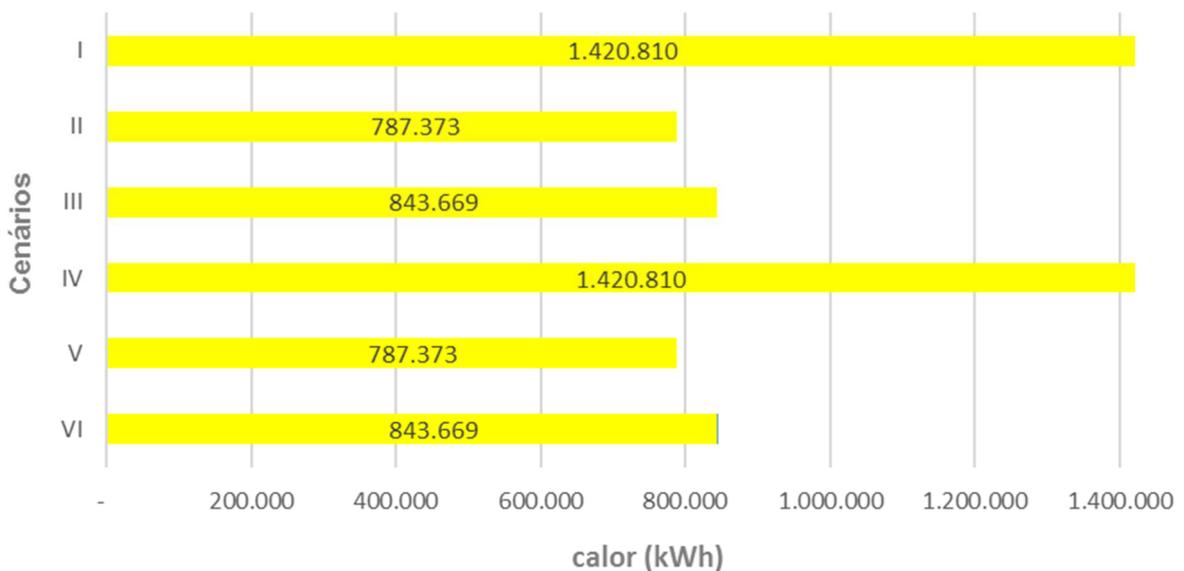


Figura 69: Ganho solar das janelas exteriores, em kwh.



#### 6.4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL, ANUAL E ANUAL POR USO FINAL

Analisando os dados de consumo mensal de energia fornecidos pelo *software* (Figura 70 e Tabela 14) percebe-se grande variação de consumo, ao longo do ano com pico no mês de janeiro, verão e menor consumo no mês de junho, inverno. Porém entre os cenários estudados houve pouca variação. Mesmo assim os piores

resultados foram apresentados pelo Cenário IV com 6.811.124 kWh/ano, o melhor resultado foi alcançado pelo cenário VI com 6.608.018 kWh/ano. Entre os cenários III, II e V as diferenças foram menores que 5.000 kWh/ano (Figura 70).

Figura 70: Gráfico de consumo de energia elétrica mensal , em kWh.

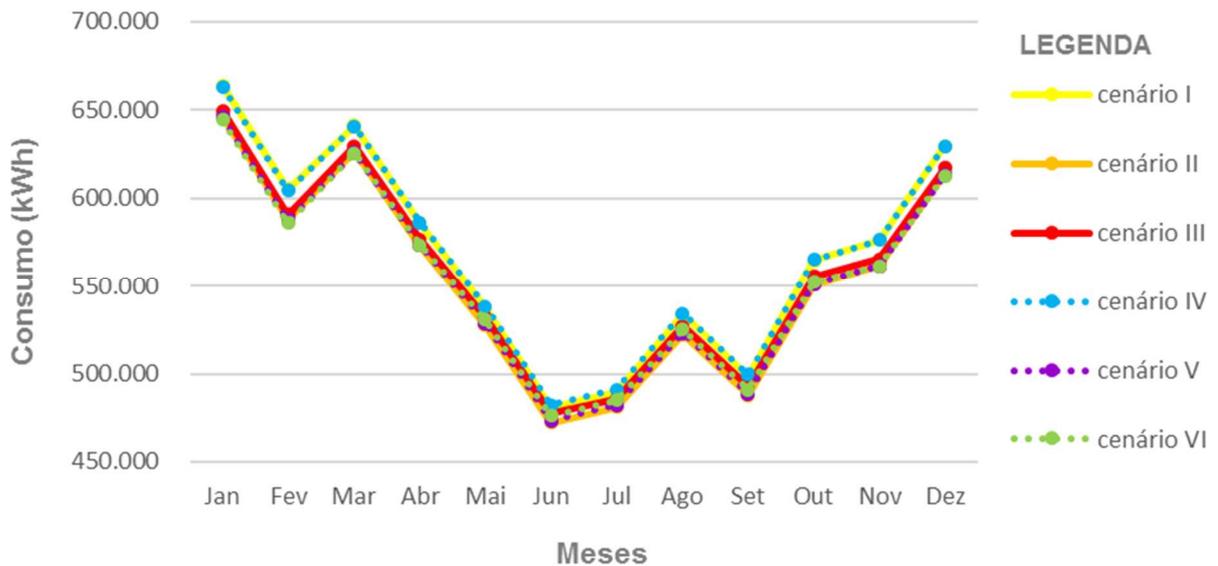
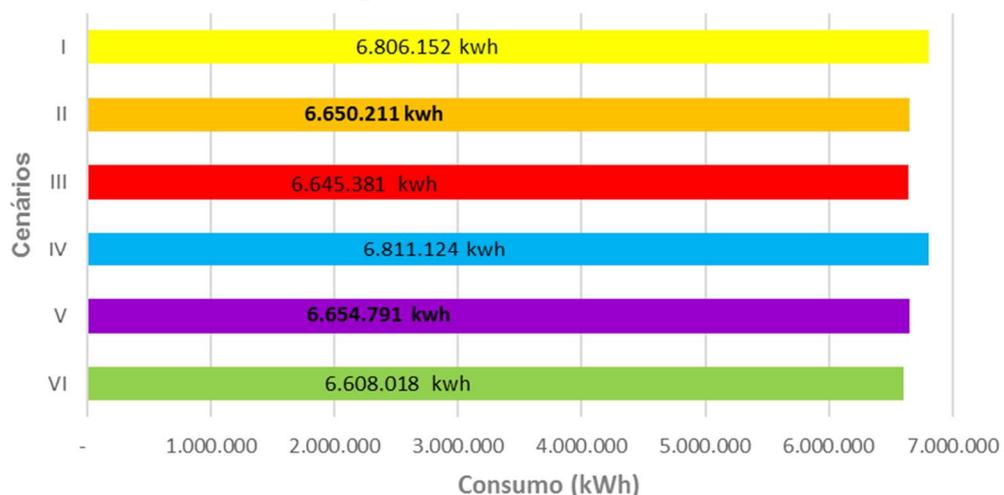


Tabela 14: Tabela de consumo de energia elétrica mensal, em kWh.

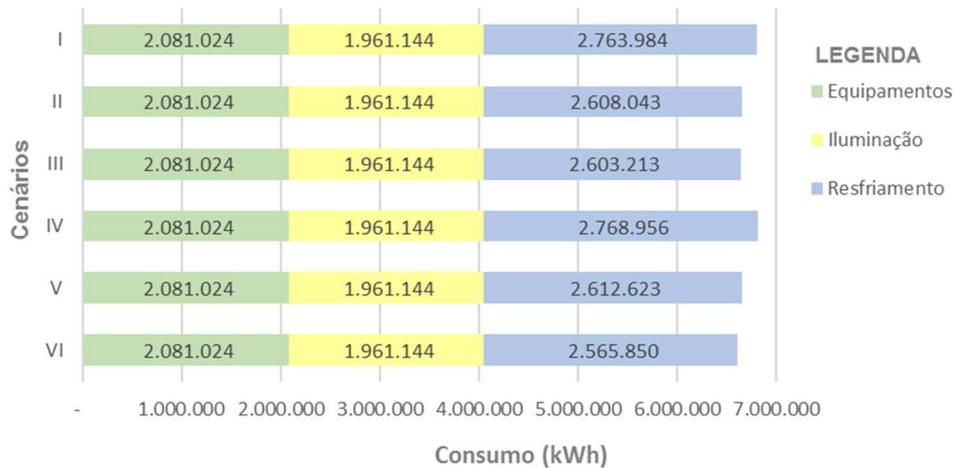
Cenário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
I	663.912	646.533	649.635	663.211	645.775	644.270	663.912	646.533	649.635	663.211	645.775	644.270
II	604.926	588.128	590.779	604.360	587.492	585.738	604.926	588.128	590.779	604.360	587.492	585.738
III	641.037	626.404	629.566	640.814	626.138	625.419	641.037	626.404	629.566	640.814	626.138	625.419
IV	586.072	573.188	576.826	586.419	573.486	573.649	586.072	573.188	576.826	586.419	573.486	573.649
V	537.336	527.578	532.279	538.333	528.543	530.554	537.336	527.578	532.279	538.333	528.543	530.554
VI	480.659	472.081	477.220	482.081	473.544	476.289	480.659	472.081	477.220	482.081	473.544	476.289

Figura 71: Gráfico de consumo de energia elétrica anual em kWh.



Quanto a segregação dos usos do consumo a Figura 72 demonstra que quando comparado aos demais usos o resfriamento possui maior parcela do consumo de energia elétrica no edifício. Entre 30,55% e 31,29% são consumidos por equipamentos e computadores, de 28,79% a 29,49% em iluminação restando para resfriamento dos ambientes entre 39,22% e 40,65% do consumo total.

Figura 72: Consumo de energia elétrica anual segregado por uso final, em kWh.



### 6.5. DIFERENÇAS ENTRE FORMAS DE INSERÇÃO DE DADOS DOS VIDROS NO SOFTWARE.

Durante a etapa de simulação foram testadas as duas formas que software permite a inserção dos dados do tipo do vidro. A primeira, “1-layers” busca os dados do fabricante na biblioteca de materiais do próprio *Design Builder* já a segunda “2-simple”, o usuário insere os dados de SHGC (Coeficiente de Ganho de Calor), transmissão de luz e transmitância térmica do vidro escolhido. Na Tabela 15 são comparadas as características dos mesmos materiais, fornecidas pela biblioteca do fabricante disponibilizada pelo software (*layers*) com os ofertados diretamente pelo fabricante (*simple*).

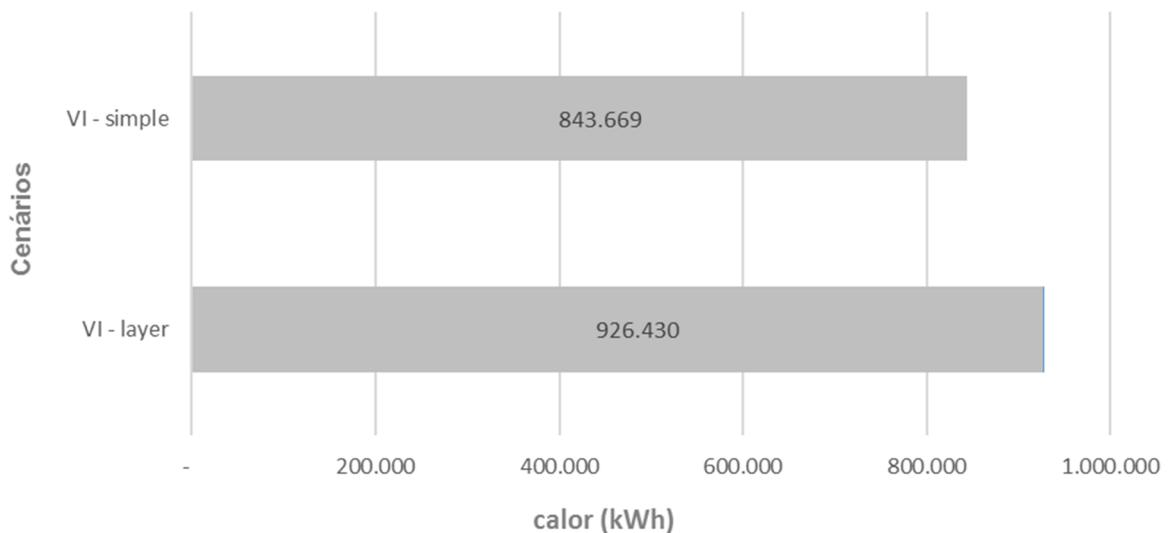
Tabela 14: Diferença das características dos vidros conforme a fonte utilizada na simulação.

Tipo de vidro	Forma de inserção de dados	SHGC	Transmissão luminosa	U
Vidro laminado	<i>Layers*</i>	0,77	0,707	5,40
	<i>Simple**</i>	0,40	0,69	5,17
Vidro insulado	<i>Layers*</i>	0,41	0,68	2,01
	<i>Simple**</i>	0,39	0,69	2,06

\* fonte biblioteca Guardian SunGuard disponibilizada pelo software \*\* fonte Guardian SunGuard

O cenário VI, com vidro insulado, foi testado com os dados dos vidros inseridos como “*layers*” e “*simple*”. Os gráficos da Figura 73 demonstram a discrepância dos resultados quando utilizadas as diferentes bases de dados. O vidro insulado simulado com dados da biblioteca do software (*layer*) apresentou 82.761 kWh/ ano no ganho solar das janelas exteriores a mais do que o realizado com base nos dados fornecidos diretamente pelo fabricante (*simple*).

Figura 73: Comparação do ganho solar das janelas exteriores no cenário VI, em kwh, com formas de inserção de dados do vidro diferentes.



Constatada esta distorção, é importante que os diferentes tipos de vidro sejam inseridos pela mesma forma de inserção de dados, a fim de que a comparação entre os materiais não fique comprometida. Neste estudo todos tipos de vidro foram simulados com dados fornecidos diretamente pelo fabricante inseridos no software pela forma *simple*.

**CAPÍTULO 7** | **CONCLUSÃO**

## 7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve por objetivo analisar medidas para o *retrofit* da envoltória tombada do Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro, com o intuito de melhorar seu desempenho energético e promover a eficiência energética, resguardando sua importância histórica.

Para alcançar o objetivo traçado, este estudo criou um procedimento capaz de identificar os limites e princípios para intervenção em bens tombados, averiguar princípios e técnicas capazes de auxiliar na eficiência energética por meio das envoltórias das edificações e caracterizar a edificação. Também foi possível selecionar técnicas disponíveis no mercado e compor cenários para o retrofit da envoltória, que considerem a eficiência energética e o tombamento. As simulações termo energéticas foram utilizadas com o propósito de avaliar possíveis soluções para o *retrofit* da envoltória do edifício. Finalmente foram listadas intervenções que contribuam para a melhoria do desempenho energético da edificação, reduzindo conseqüentemente sua demanda energética, em equilíbrio com sua preservação.

Como resultado, identificou-se que a complexidade das intervenções em edificações históricas é ainda maior quando se busca a eficiência energética em edificações icônicas do movimento modernista como o Aeroporto Santos Dumont. O vocabulário modernista utiliza grandes planos de vidro nas fachadas, no entanto a orientação solar e a adoção de elementos de proteção como cobogós e brises, característicos da adaptação do estilo a realidade brasileira, atenuam a entrada da radiação direta na edificação.

Todavia no edifício estudado, as maiores faces do volume possuem grandes fachadas envidraçadas voltadas para o leste e o oeste, com brises existentes apenas na fachada oeste e que não proporcionam sombreamento eficaz sobre a mesma. Estas condições potencializam o desafio de melhorar as condições de conforto térmico e eficiência energética da edificação sem comprometer os valores e qualidade histórica da edificação.

Dentre as técnicas disponíveis no mercado e pesquisados neste trabalho as Placas laminadas de isolamento e gesso acartonado pelo lado interno, coberturas frias, caixilhos em alumínio preto com tratamento térmico, vidros laminados ou insulados, incolores e de controle foram identificados como os que atenderiam aos

critérios de preservação da identidade histórica e artística e de eficiência energética da envoltória da edificação.

O uso de placas laminadas de isolamento e gesso acartonado pelo lado interno, para melhoria nas superfícies opacas foi desconsiderado, uma vez que teriam pouco impacto frente as grandes superfícies envidraçadas da edificação. E a diminuição das áreas de aberturas foi descartada, visto que as obstruções da fachada e da vista seriam opostas as orientações fixadas pelo INEPAC, assim as sugestões avaliadas se restringiram a opções de coberturas e de vidros.

Os cenários formulados primaram pelo respeito ao objeto original, assim foram simuladas modelos com três diferentes tipos de vidros incolores e dois tipos de material isolante para cobertura. O cenário I corresponde exatamente as especificações do projeto de reforma elaborado em 2006 e aprovado pelo órgão de proteção do patrimônio local. Os demais cenários (II, III, IV, V e VI) investigam propostas de melhorias com a atualização e especificação de outros materiais disponíveis nos dias atuais.

Com base nas simulações realizadas foi possível concluir que o projeto de reforma aprovado pelo INEPAC apresenta conforto térmico inadequado para os ambientes ventilados naturalmente, com apenas 21% das horas ocupadas em conforto. Mesmo os cenários propostos não alcançam percentuais além de 31%, sendo que a análise feita revela que entre as 11 e 13 horas os ambientes estão em desconforto todos os 365 dias do ano.

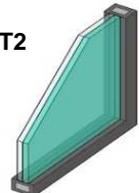
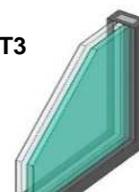
Conforme o estudo climático divulgado pelo Projeteer (2016) a cidade do Rio de Janeiro apresenta somente 22,1% de todas as horas do ano em conforto. Diante disso é necessária avaliação criteriosa da utilização da técnica de ventilação com melhores resultados quando aliada ao sombreamento das fachadas e situações com baixo ganho de calor interno, seja por iluminação, equipamentos ou ocupação.

Quanto ao ganho de calor os valores para iluminação, equipamentos e ocupação permanecem constantes em todos os cenários analisados, já os ganhos de calor solar das janelas exteriores variam de 1.420.810 kWh nos cenários I e IV a 787.373 kWh nos cenários II e V, ou seja, as opções simuladas com vidro solar laminado apresentou redução de 55% em relação as com vidro monolítico.

Os vidros simulados variam em transmissão luminosa, fator solar e transmitância térmica, na Tabela 16 estas características foram comparadas aos

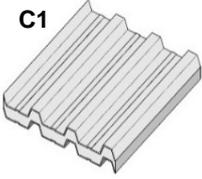
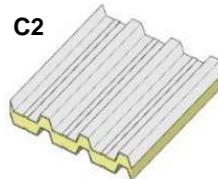
resultados simulados. O vidro com os maiores valores para estas três características, o monolítico incolor (T1, espessura de 6mm) apresentou o pior resultado. Os resultados foram melhores nos vidros solares que possuíam menores transmissão luminosa (69% e 68%) e fator solar (40% e 39%). Quanto a transmitância térmica os vidros insulados apresentaram vantagem sobre os vidros laminados. O melhor desempenho foi alcançado pelo vidro insulado, que aliou as características de menor transmissão luminosa, fator solar e transmitância térmica

Tabela 15: Comparação propriedades dos vidros, consumo de energia elétrica e ganho de calor solar nas janelas exteriores anuais.

Tipo de vidro	Transmissão luminosa (TL, %)	Fator solar (FS, %)	Transmitância térmica (U, W/m <sup>2</sup> .K)	Cenário	Ganho de calor solar nas janelas exteriores (kWh)	Consumo anual total (kWh)
 T1	90,2	86,2	5,7	I	1.420.810	6.806.152
				IV	1.420.810	6.811.124
 T2	69	40	5,17	II	787.373	6.650.211
				V	787.373	6.654.791
 T3	68	39	2,06	III	843.669	6.271.711
				VI	843.669	6.170.403

Comparando o consumo de energia elétrica anual por cenários (Tabela 16), nota-se pouca diferença entre os valores dos cenários com cobertura com isolamento em lã de rocha (C1) e em PIR (C2), mesmo os materiais possuindo características de resistência e transmitância térmicas diferentes a capacidade térmica semelhante foi o parâmetro que se sobressaiu.

Tabela 16: Dados anuais de consumo de energia elétrica e ganho de calor solar nas janelas exteriores.

	Tipo de cobertura	R	U	CT	Cenários	Consumo anual total (kWh)
 <b>C1</b>	Telhas zipadas composto de telha superior espessura 0,65mm de aço galvanizado pré-pintada na cor branca, telha inferior existente e núcleo isolamento termoacústico em lã de rocha espessura 50mm	3,23	0,30	42,45	I	6.806.152
					II	6.650.211
					III	6.692.372
 <b>C2</b>	Telhas zipadas composto de telha superior espessura 0,65mm de aço galvanizado pré-pintada na cor branca, telha inferior existente e núcleo isolamento termoacústico em poliisocianurato (PIR) espessura 60mm	5,63	0,177	42,39	IV	6.811.124
					V	6.654.791
					IV	6.697.189

Esta pesquisa constatou que mantendo as características estéticas da envoltória do edifício tombado é possível contribuir moderadamente para a eficiência energética desta edificação. As melhorias no consumo energético total dos cenários sugeridos em relação ao projeto aprovado foram somente de 2,29 a 0,07%. As medidas aqui avaliadas diminuíram o ganho de calor solar e aumentaram o isolamento nas janelas exteriores, entretanto os ganhos obtidos foram diluídos ante o consumo energético total, uma vez os ganhos térmicos com iluminação geral, equipamentos e ocupação correspondem a cerca de 57% do consumo total e mantém elevado o consumo de energia.

As simulações demonstraram ainda que tanto os materiais sugeridos e quanto os especificados no projeto aprovado são incapazes de proporcionar o conforto térmico adequado nos ambientes não climatizados. Diante da necessidade de outras adequações desta edificação, seja para estabelecimento de condições de conforto aos usuários como o fechamento para climatização dos ambientes hoje ventilados naturalmente, ou modernização das instalações prediais e adequação às normas de combate a incêndio se faz necessária a reflexão sobre como conduzir as intervenções nesta e em outras obras modernistas.

A arquitetura modernista utilizou-se de técnicas inovadoras e experimentais para a época, entretanto algumas soluções resultaram na perda de desempenho e no envelhecimento prematuro destas edificações. Neste estilo em que os princípios e

conceitos são integrados aos materiais, formas e função, paradoxalmente, tais carências podem representar os seus valores e a resolução destas podem vir a descaracterizá-la e não existe consenso na maneira como tratar as deficiências e a julgar pelas correntes existentes poderiam ser tomadas ações antagônicas quanto a inadequação aos parâmetros de conforto e eficiência constatados (ARAUJO, 2010).

Assim, tendo por base os critérios de preservação da edificação apreciados e dentre as sugestões estudadas o melhor cenário aqui avaliado para o *retrofit* da envoltória do aeroporto Santos Dumont é a substituição das esquadrias por modelos com caixilhos isolados e vidros solares incolores e insulados com transmissão luminosa de 68%, Fator solar de 39 % e Transmitância térmica de 2,06 W/m<sup>2</sup>·K.

## 7.2. LIMITAÇÕES, APLICAÇÃO DOS RESULTADOS E TRABALHOS FUTUROS

A precisão do modelo pode ser considerada uma limitação deste trabalho. A subjetividade do analista na interpretação do caso real, exatidão da coleta de dados da edificação e a impossibilidade de obtenção de uma variável afetam na exatidão do modelo. Neste trabalho a caracterização térmica dos materiais da envoltória com testes de termofluxometria ao invés da utilização de dados projeto de reforma e norma de desempenho proporcionariam a obtenção de valores mais exatos.

Por se tratarem de intervenções em edificação tombada, com características e peculiares individuais a parte das conclusões deste trabalho se limitam especificamente ao Aeroporto Santos Dumont. Entretanto o método utilizado é passível de utilização em outras edificações protegidas por possuir valores histórico e artísticos, sejam elas modernistas ou outros estilos arquitetônicos.

Os resultados da pesquisa no Aeroporto Santos Dumont podem auxiliar na discussão sobre como a eficiência energética pode ser incorporado ao *retrofit* de outras edificações históricas.

A avaliação de diversas opções de intervenção, de forma facilitada pode subsidiar tanto projetistas quanto os órgãos de proteção do patrimônio histórico na adoção da proposta mais adequada a arquitetura do edifício e à cultura atual.

No contexto desta edificação estudos de outros cenários com simulação de outros critérios como, diminuição de cargas térmicas de equipamentos e iluminação podem auxiliar na avaliação dos impactos e vantagens em incorporar a eficiência energética.

Este estudo pode ser continuado com a análise de edificações similares, de qualquer estilo arquitetônico de forma a proporcionar a formulação de orientações para incorporação da eficiência energética com requisitos nas intervenções das envoltórias tombadas em edificações modernistas.

## REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel, 2008. 236 p.: il.

ALMEIDA, A. A. **Intervenção em patrimônio arquitetônico moderno: um estudo de três casas paulistas**. 2013. 246 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo – FAU USP. São Paulo, 2013.

ARAUJO, R. **La rehabilitación de la arquitectura moderna**. In: Tectónica – monografias de Arquitectura, tecnología y construcción, Madri, ATC Ediciones, n. 33, setembro 2010, p. 4-21.

AULICIEMS, A. **Towards a psycho-physiological model of thermal perception**. International Journal of Biometeorology, v. 25, n. 2, p. 109-122, 1981.

BALTAZAR, A. **Patrimônio cultural : técnicas de arquivamento e introdução à Museologia**. Claretiano, Batatais, 2011. (Material Didático Mediacional)

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. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BARRIENTOS, M. I. G. G. **Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais**. 2004. 189 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_.; QUALHARINI, E. L.. **Retrofit de construções: metodologia de avaliação**. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 10, 2004. São Paulo, 2004. Anais... São Paulo: 2004

BRAGA, M.. **História e evolução conceitual do restauro arquitetônico**. In: BRAGA, M. (Ed.) Conservação e restauro : arquitetura brasileira. Rio de Janeiro: Universidade Estácio de Sá, 2003. p. 2-12.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 25 de 30 de novembro de 1937**: Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional. Rio de Janeiro [S.n], 1937.

\_\_\_\_\_. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília [S.n], 1988.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 3.551, de 04 de agosto de 2000**: Institui o Registro de bens culturais de natureza imaterial que constituem o Patrimônio Cultural Brasileiro, cria o Programa Nacional do Patrimônio Imaterial e dá outras providências. Brasília [S.n], 2000.

BRUAND, Y. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 1981.

CCEE – Camara De Comercialização de Energia Elétrica. **Boletim de Operação das Usinas - 002**. São Paulo. fev. 2014.

CASTELNOU NETO, A.M. **A intervenção arquitetônica em obras existentes**. Seminario: Ci. Exatas/Tecnol., Londrina, v. 13, n. 4, p. 265-268, dez. 1992.

CARVALHO, C. S. R. de. **Preservação da arquitetura moderna: Edifícios de escritórios no rio de janeiro Construídos entre 1930 – 1960. 2005.** 448f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CEOTTO, L. H. **A Construção Civil e o Meio ambiente: 1ª parte; 2ª parte; 3ª parte.** Notícias da Construção, Ed. 51 a 53, São Paulo, SP, 2008.

CHOAY, F. **A alegoria do patrimônio.** Estação Liberdade: Editora Unesp, São Paulo. 2001.

CIANCIARDI, G.; MONTEIRO, R. Z.; BRUNA, G. C.. **Parâmetros de sustentabilidade ecológicos na recuperação, manutenção e restauração de edifícios.** In. IV Seminário Internacional da Lares Latim America Real Estate Society, 4, 2004. São Paulo .Anais... São Paulo: 2004. V. 4, p. 421-428.

COELHO, C. **O projeto de intervenção em bens culturais imóveis.** In: BRAGA, M. (Ed.). Conservação e restauro : arquitetura brasileira. Rio de Janeiro: Universidade Estácio de Sá, 2003. p. 2–12.

CRRC - Cool Roof Rating Council. Disponível em: < <http://coolroofs.org/resources/brochures> >. Acesso em: 12 mar. 2016.

CONCREMAT – Engenharia. **Plano Diretor do Aeroporto Santos Dumont.** Rio de Janeiro, 2006.

CNI -Confederação Nacional da Indústria - **Matriz energética: cenários, oportunidades e desafios.** Brasília: CNI, 2007. 82 p.

CORNARO, Cristina; PUGGIONI, Valerio Adoo; STROLLO, Rodolfo Maria. Dynamic simulation and on-site measurements for energy retrofit of complex historic buildings: Villa Mondragone case study. *Journal of Building Engineering*, v.6, p.17–28, 2016.

DIAS, A. F.. **A reutilização do patrimônio edificado como mecanismo de proteção: uma proposta para os conjuntos tombados de Florianópolis.** 2005. 173 p. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PósARQ, Universidade Federal de Santa Catarina, Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis

DIAS, A. B. D.. **Crise energética e a perspectiva de aumento da dependência tecnológica.** Revista Brasileira de Economia v. 38, n. 4. FGV, Rio de Janeiro, 1984, p. 287-308.

DOE - *U.S. Department of Energy. Guidelines for selecting cool roofs.* 2010.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M.; RORIZ, Vi.; CARAM, R.. **Desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios.** In: XI Encontro Nacional do Conforto no Ambiente Construído, 2011, Búzios.

EWC - *Efficient Windows Collaborative. Understanding windows.* Disponível em: < <http://www.efficientwindows.org/index.php> >. Acesso em: 18 dez. 2016.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanco Energético Nacional 2006: Ano base 2005.** Rio de Janeiro: Epe, 2006. 188 p.

\_\_\_\_\_. Nota técnica DEA 14/10: Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019). Rio de Janeiro: Epe, 2010. 39 p. (Série estudos da demanda

\_\_\_\_\_. Nota técnica DEA 10/14: consumo de energia no Brasil análises setoriais - Série estudos da eficiência energética. EPE, Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014. Rio de Janeiro: Epe, 2015. 289 p.

ESTEVES, A. P. da C.. **Modernização de edificações tombadas: o caso do edifício IRB.2010.** 157f. Dissertação (Mestrado) - Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal Fluminense. Niteroi,2010.

EVANGELISTI, L.; GUATTARI, C.; GORI, P.. **Energy Retrofit Strategies for Residential Building Envelopes: An Italian Case Study of an Early-50s Building.** Sustainability Journal, v. 7, P.10445-10460, 2015.

FAA- Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. **AC 150/5360-13A, Airport Terminal Planning and Design.** Jullho, 2016

Family Handyman. Disponível em: <<https://www.familyhandyman.com/>>. Acesso em: 27 dez. 2016.

FARRET, R. L..Prefácio 1ª edição. In VARGAS, H. C.; CASTILHO, A. L. H. de (org). In: **Intervenções em centros urbanos: objetivos, estratégias e resultados.** Barueri, SP: Manole, 2006.

FRACALOSSI, I.. **Clássicos da Arquitetura: Aeroporto Santos Dumont / Marcelo e Milton Roberto.** Archdaily, Setembro, 2013. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-144652/classicos-da-arquitetura-aeroporto-santos-dumont-slash-marcelo-e-milton-roberto>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

FROTA, A. B.;SCHIFFER, S. R.. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 5. ed. São Paulo : Studio Nobel, 2001.

FUNARI, P. P. A.; PELEGRINI, As. de C. A.. **Patrimônio Histórico e Cultural.** Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 2006.

GELLER, H.; COSTA, M. de F.. **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil.** Rio de Janeiro: Inee, 1991. 226 p.

GHIRARDELLO, N.; SPISSO B.. **Patrimônio histórico: como e por que preservar.** Canal 6, Bauru, : 2008.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina.** 1997. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, 1997.

GOSCH, S. R. **Aplicação de uma metodologia para calibração de um modelo simplificado de edifício de escritórios no programa EnergyPlus.** 2005. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

GRASSO, P. A. R.; GHISI, E.; LAMBERTS, R.. **Avaliação energética do edifício sede da telesc: retrofit do sistema de iluminação e simulação**. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1998, Florianópolis.

Green Lar. Disponível em: <<http://www.greenlar.com.br>>. Acesso em: 25.jul. 2017.

GRILLO, J. C. S. **Reabilitação ambiental de edifício público moderno: o caso do palácio Itamaraty**. 2005 148f. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

GUARDIAN GLASS. Disponível em: < <https://www.guardianglass.com/commercial/index.htm>>. Acesso em: 27 dez. 2016.

GUTIÉRREZ, R.. **História, Memória e Comunidade: o direito ao patrimônio Construído**. Secretaria Municipal De Cultura/ DPH. O direito à memória: patrimônio histórico e cidadania. Prefeitura Municipal de São Paulo: DPH,1992.

HEYNEN, H. **Architecture and Modernity: a critique**. Cambridge, Mass: MIT Press, 1999, p.10.

HÄKKINEN, T. **Sustainable refurbishment of exterior wall and buildings facades**. Final report, Part B- General refurbishment concepts. Espoo, Finlândia: VTT Technology. 2012. 281 p.

HEYWOOD, H. **101 Regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. São Paulo: Gustavo Gili, 2015. 238 p.

ICOMOS - Conselho Internacional de Monumentos e Sítio. **Carta de Veneza**. 1964. ICOMOS, II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Projeto Executivo de Reforma e Ampliação de SBRJ**. Rio de Janeiro; 2006.

\_\_\_\_\_ . **Cadastro De Informações Aeroportuárias** - SBRJ. Brasília; 2014.

\_\_\_\_\_ . **Cadastro De Informações Aeroportuárias** - SBRJ. Brasília; 2015.

INMETRO - Instituto Nacional De Metrologia, Normalização E Qualidade Industrial. **RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, INMETRO, 2013.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Portaria Nº 127, de 30 de Abril de 2009**: Estabelece a chancela da Paisagem Cultural Brasileira. Brasília [S.n], 2009.

\_\_\_\_\_ . **Plano de Preservação. Sítio Histórico Urbano**. Termo Geral de Referência. 2003. 23 f. IPHAN/ Ministério da Cultura, Brasília, 2003.

IEA - International Energy Agency. **Key World Energy Statistics 2015**. Paris: IEA 2014. 81 p.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos.** São Paulo: Seeds - Usp, 2007. 14 p.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014.

ITÁLIA. Ministério da Instrução Pública. **Carta do Restauro.**1972.

IWFA - International Window Film Association. **Energy Analysis for Window Films Applications in New and Existing Homes and Offices.** 2012.

IRIGOYEN, S. D.; GUTIÉRREZ, A. S.O.; BARRIO, A. M; MARTÍNEZ, P. G.. **Methodology for diagnosis of real condition of a listed building envelope for its refurbishment.** In: PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Alemanha 10-12, Setembro,2013.

ISOTHANE. Disponível em: <[http://www.greco.com.tw/english/01\\_about/01\\_profile.php](http://www.greco.com.tw/english/01_about/01_profile.php)> Acesso em: 05 dez. 2016.

JAPIASSÚ, P.; GUIMARAES, M. E.; SILVA, C. F. **Thermal-energy simulation of shaped pavilion building in Brasilia: the role of envelope in thermal comfort.** In: 3rd Asia conference of International Building Performance Simulation Association - Asim 2016, 2016, Jeju (Cheju) Island. Proceedings of 3rd Asia conference of International Building Performance Simulation Association - Asim, 2016. v. 1.

JARDIM, S. **Entrevista concedida à Juliana Mattos.** Rio de Janeiro, 08 de dezembro de 2006.

KAPLAN ENGINEERING. **Portland energy conservation inc.** 1992. Energy Edge Simulation Tuning Methodologies. U.S.A.

KOTTEK, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF, and F. RUBEL. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated.** Meteorol. Z., 15, 259-263. 2006

KNAUF. Internal partitions. Disponível em: <<http://www.knaufinsulation.ee/en/internal-walls-partition-0>>. Acesso em: 27 dez. 2016.

KUHL, B. M.. **História e Ética na Conservação e na Restauração de Monumentos Históricos.**R. CPC, São Paulo, v.1, n.1, p. 16-40, nov. 2005/ abr. 2006

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: Procel, Eletrobras, Ministério de Minas e Energia, Governo Federal do Brasil, 2014. 366 p.

LEARDINIA, P.; MANFREDINIA, M.; CALLAUB, M.. **Energy upgrade to Passive House standard for historic public housing in New Zealand.** Energy and Buildings Journal. V. 95, p. 211-218, 2015.

LEMOS, C.A. C.. **O que é patrimônio histórico.** Ed. Brasiliense. São Paulo, 1981.

LIRA, K. M. de. **Restrições legais em prol da preservação do patrimônio edificado: rebatimento na prática?** In: Seminário Internacional Políticas Culturais: teoria e práxis, Rio de Janeiro, 2010.

LOBO, F.; LOBO, A.; TAVARES, S. **Análise energética de edificações por meio de composição de serviços de obras: estudo de caso.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. Anais... Canela: ANTAC, 2010. p. 1-12.

LORA, E. E. S.; TEIXEIRA, F. N. **Energia e meio ambiente.** In: MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. (Org.). *Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações.* 3. ed. Itajubá: Fupai, 2006. p. 43-124.

MAHFUZ, E.. **O sentido da arquitetura moderna brasileira.** Revista Arquitectos, São Paulo, ano 02, n. 020.01, Vitruvius, jan. 2002.

MARQUES, T. H. T.. **Influência das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos.** 2013. 143p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MATTOS, . Silva de. **Um aeroporto, uma cidade: Um estudo sobre o Aeroporto Santos Dumont.** 2007. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Urbanismo. Rio de Janeiro, 2007.

MEC - Ministério da Educação e Cultura. **Compromisso Brasília. 1970.** I Encontro de Governadores de Estado, Secretários Estaduais da Área Cultural, Prefeitos de Municípios Interessados e Presidentes e Representantes de Instituições Culturais. MEC, 1970.

MENDONÇA, A. M. de. **Caracterização do estoque de edificações históricas de uso institucional ou público localizadas em Florianópolis com relação ao consumo de eletricidade.** 2014. 220 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil., Florianópolis, Santa Catarina, 2014.

MENICONE, R. O. D.; BENITEZ, D. M.. **Estudo da aplicação de processos de retrofit em projetos de conservação e restauro de edifícios de valor cultural.** In. Anais da Semana de Ciência e Tecnologia, Ouro Preto, v. 3, p. 1-352, 2011.

MICHELATO, R. **Avaliação do desempenho térmico de vidros refletivos: estudo de caso em células-teste.** 2007. 225 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MILANEZ, F.C.S.. **Proposta para utilização das TMM - temperaturas médias mensais - na determinação da equação de correlação para o cálculo da energia evitada em prédio com taxa de ocupação variável.** Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE. Outubro, 2012.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência energética: Premissas e Diretrizes Básicas.** Brasília: MME, 2011. 134 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Eficiência energética: guia para etiquetagem de edifícios, volume 1.** Brasília: MMA, 2015. FL70 p.

MORAES, V.T. F. ; QUELHAS, O. L. G.. **O desenvolvimento da metodologia e os processos de um “retrofit” arquitetônico.** Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v. 7, n. 3, p. 448-461, set.2012.

MORI, F. Ki. **Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.** 2012. 142f. Dissertação (mestrado) - ENGENHARIA CIVIL, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2012.

MOTA, L. R.. **O aeroporto Santos Dumont como símbolo de modernidade no Brasil nos anos 1950.** 1º colóquio internacional de História cultural da cidade, porto alegre 2015 p. 485-494.

NBR, ABNT. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

NICOLETTI, A. M. A.. **Eficiência energética em um ministério da Esplanada em Brasília: propostas para retrofit de envoltória.** 2009. 214 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009. NORDHAUS, W. D. Economic approaches to greenhouse warming. MIT. Cambridge, 1991.

OBA, M. ; SCHMID, A. L. . **Harmonizando patrimônio moderno e eficiência: estudo de caso sobre a influência de medidas de readequação no desempenho térmico e de iluminação natural no centro politécnico da ufpr.** Cadernos do PROARQ (UFRJ) , v. 22, p. 45-72, 2014.

OLIVEIRA, C. A. P. **Educação patrimonial no Iphan.** 2011. 131f., Monografia (Especialização) Escola Nacional de Administração Pública. Brasília, 2011.

O ESTADO DE SÃO PAULO. Incêndio destrói Santos Dumont, no Rio Agência Folha, edição de 13/02/1998.

PATTERSON, M. G. **What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues.** Energy Policy, Internet, v. 24, p.377-390, maio 1996. Mensal.

PEDRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmica e energética de edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. 186 p

PESSOA, J. L. N.; GHISI, E.; LAMBERTS, R.. **Estado da arte em eficiência energética: iluminação e envoltória.** Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações -cb3e, 2013. 72 p.

PIRRÓ, L. **Análise da envoltória como estratégia para a sustentabilidade dos edifícios.** Revista belas artes, Ano 7, n.18, mai-ago 2015.

PISELLO, A .L.; PETROZZI, A.; CASTALDO, V. L.; COTANA, F.. **On an innovative integrated technique for energy refurbishment of historical buildings: Thermal-energy, economic and environmental analysis of a case study.** Applied Energy Journal, v.162, p.1313-1322, 2016.

PROCEL.- Eletrobras. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: Relatório Brasil - Sumário Executivo.** Rio de Janeiro: Procel, 2009. 187 p.

PROJETEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: < <http://projeteee.ufsc.br/>>. Acesso em: 18. Set. 2016.

RABELLO, S.. **O tombamento**. In: REZENDE, Maria Beatriz; GRIECO, Bettina; TEIXEIRA, Luciano; THOMPSON, Analucia (Orgs.). Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasília: IPHAN/DAF/Copedoc, 2015.

RODRIGUES, L.T.; KACEL, S.. **Energy Efficient Retrofit of a Protected Building of Historical Significance**. In: PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Alemanha 10-12, Setembro, 2013.

ROCKWOOL. Fachada ventilada Disponível em: <<http://www.rockwool.pt/>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

SAMPAIO, A. V. C. de F.. **Arquitetura hospitalar: projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade; proposta de um instrumento de avaliação**. 2005. 402f. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Estruturas Ambientais Urbanas) – FAUUSP, São Paulo, 2005.

SANTOS FILHO, V. M. **Análise de Desempenho Térmico e Acústico de Fachadas Ventiladas de Porcelanato à Luz da Norma de Desempenho. Estudo de Caso em Brasília -DF**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SCHELLER C.; MELO, A. P.; SORGATO, M.; LAMBERTS, R.. **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações**. Florianópolis Laboratório de Eficiência Energética em Edificações Labeee, 2015. 2016 p.

SILVA, R. T. S.. **Preservação e sustentabilidade: restaurações e retrofits**. 2013. 112 f. Dissertação (mestrado) – Universidade de de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2013.

SOARES, I.S. R.; OLIVEIRA, C. T. de A.. **Preservação arquitetônica teoria legislação e prática**. In: Revista CPC, v. 15, p. 137–162, 2013.

SOUZA, M. N.. **Crise energética e as políticas públicas**. Ambiente Brasil. 2008.

SPRINGVALE. Disponível em: <<http://www.springvale.com/>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

TARALLI, C.H.; CAMPÊLO, M. **Patrimônio moderno em campus universitário: rearquitetura ou descaracterização? O caso da UFC**. In: DOCOMOMO, 7, 2007, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre. 2007.

THORMARK, C. A. **Low energy building in a life cycle: its embodied energy, energy need for operation and recycling potential**. *Building and Environment*, v.37, p.429-435, 2002.

VALLATI, A; GRIGNAFFINI, S; ROMAGNA, M. MAURI, L. **Energy Retrofit of a non-residential and historic building in Rome**. In: 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), IEEE, v.1, p.1-6, 2016.

VALE, M. S. do. **Diretrizes para racionalização e atualização das edificações: segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do retrofit 2006**. 195 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006

VESPUCCI, A. C.; KÜHL, B. Mr ; MARIO, M. Aeroporto Santos Dumont 1936-1996. Rio de Janeiro. Ed. Empresa das Artes, São Paulo, 2006, 102p.

VIEIRA, R. V. C.o. **Análise da eficiência energética e conforto térmico do Instituto de Biologia.** 2014. 39 F. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis.** In: BUILDING SIMULATION, 9., 2005, Montreal. Proceedings... Montreal: IBPSA, 2005. p. 1331-1338.

**APÊNDICE**

**RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO DAS  
CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO**

## Relatório Fotográfico - 2 de fevereiro de 2017

Figura A-1: Fachada oeste – lado terra.



Materiais: revestimento em granito, brises metálicos, esquadria inferior em aço e vidro incolor jateado 6mm, esquadria superior em pele de vidro temperado 10mm cor verde espelhado.

Figura A-2: Fachada norte - lado ar.



Materiais: revestimento em granito, brises verticais em concreto, esquadria inferior em aço e vidro incolor jateado 6mm, sem esquadrias superiores.

Figura A-3: Fachada norte - lado ar.



Materiais: revestimento em granito, brises verticais em concreto, esquadria inferior em aço e vidro incolor jateado 6mm, sem esquadrias superiores.

Figura A-4: Fachada sul - lado terra.



Materiais: revestimento em granito, esquadria inferior em aço e vidro incolor 6mm pintado de preto, sem esquadrias superiores.

Figura A- 5: Fachada leste – lado ar.



Materiais: revestimento em granito, esquadria inferior em aço e vidro incolor jateado 6mm, sem esquadrias superiores.

Figura A- 6: Fachada leste – lado ar.



Materiais: revestimento em granito, esquadria inferior em aço e vidro incolor jateado 6mm, sem esquadrias superiores

Figura A- 7:Fachada leste – lado ar.



Materiais: revestimento em granito, esquadria inferior em aço e vidro incolor jateado 6mm, sem esquadrias superiores.

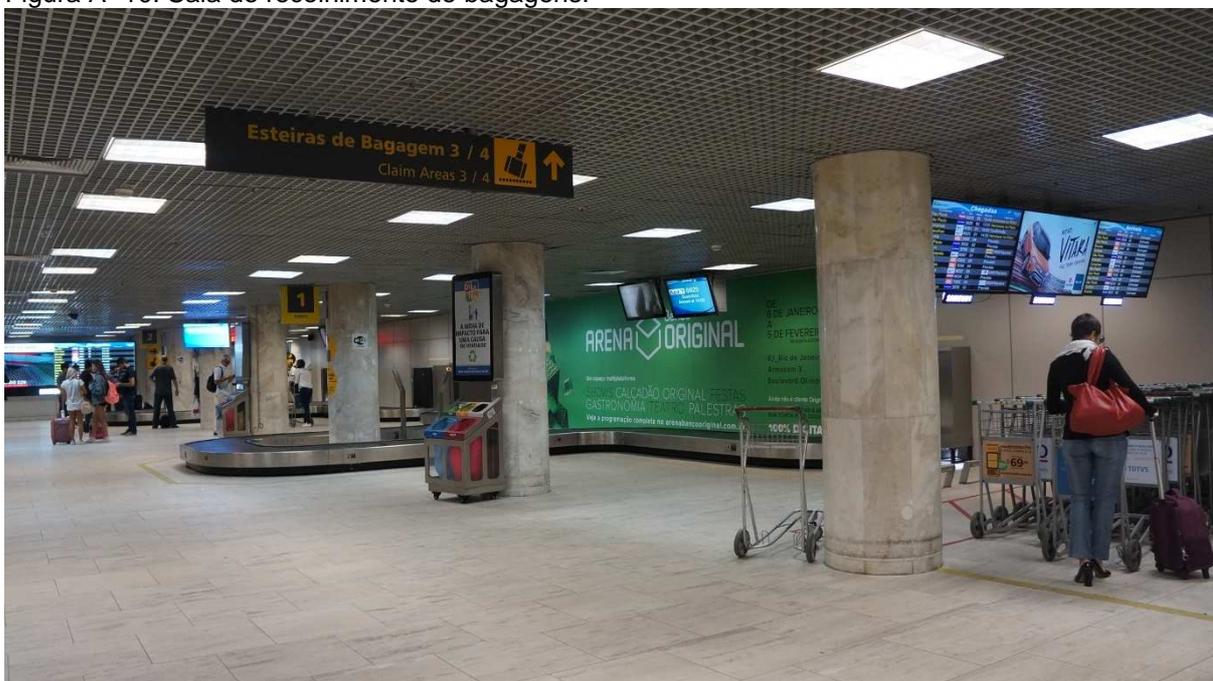
Figura A- 8:Esquadria do sagão central, pé direito duplo não climatizado.



Figura A- 9: corredor central, não climatizado.



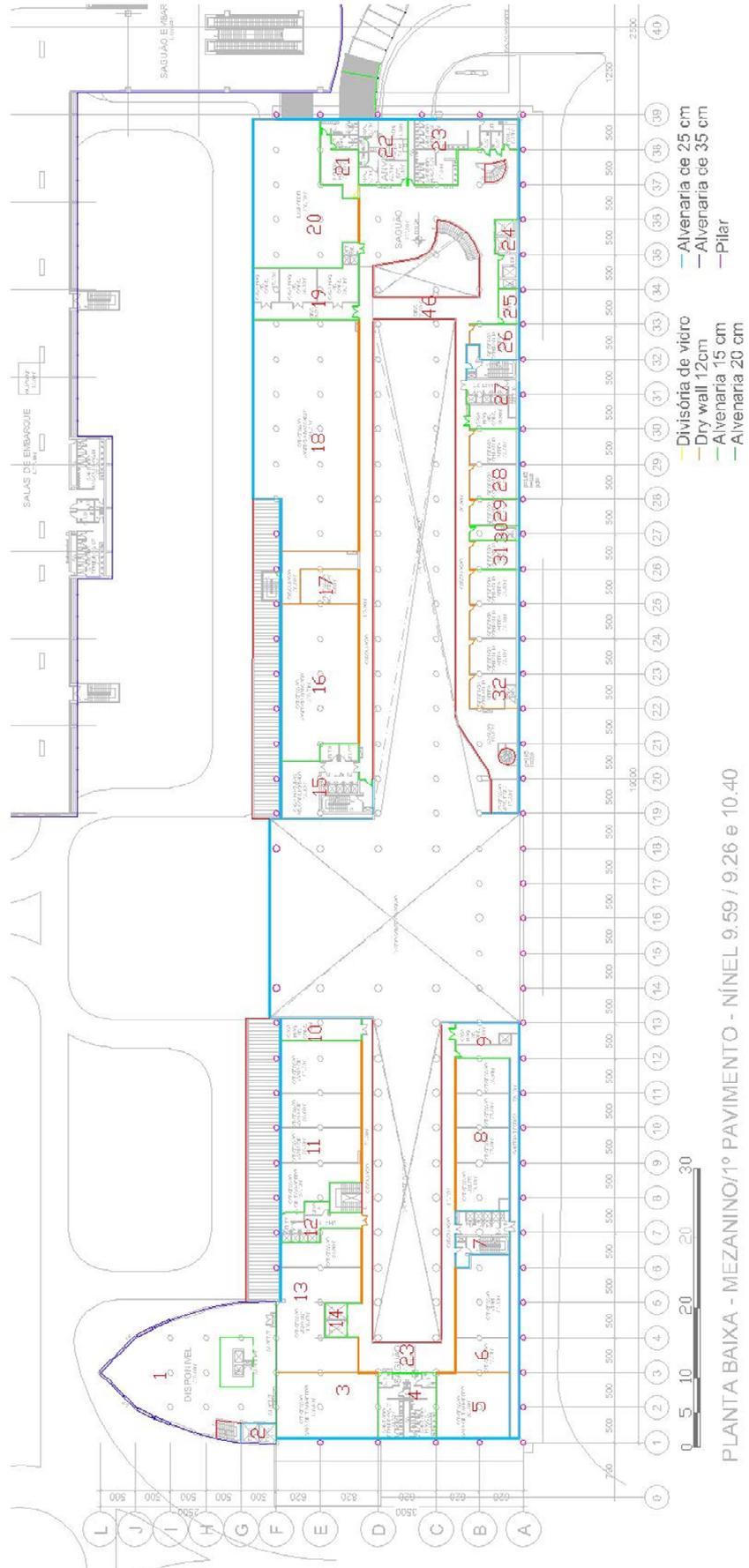
Figura A- 10: Sala de recolhimento de bagagens.



Esquadrias fechadas com divisórias internamente, ambiente climatizado.



Figura A- 12: Levantamento mezanino



PLANTA BAIXA - MEZANINO/1º PAVIMENTO - NÍVEL 9.59 / 9.26 e 10.40

Figura A- 13: Levantamento 1º pavimento.

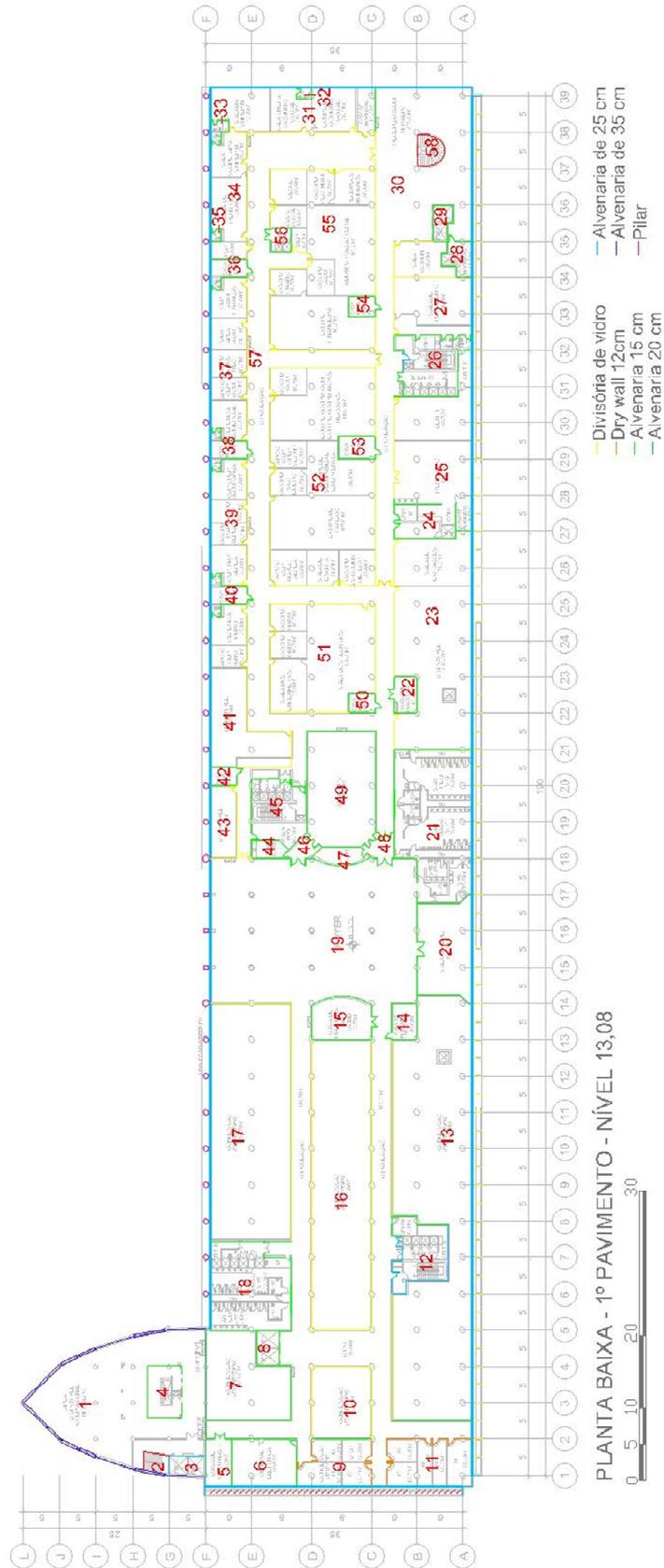


Figura A- 14: Levantamento 2º pavimento.

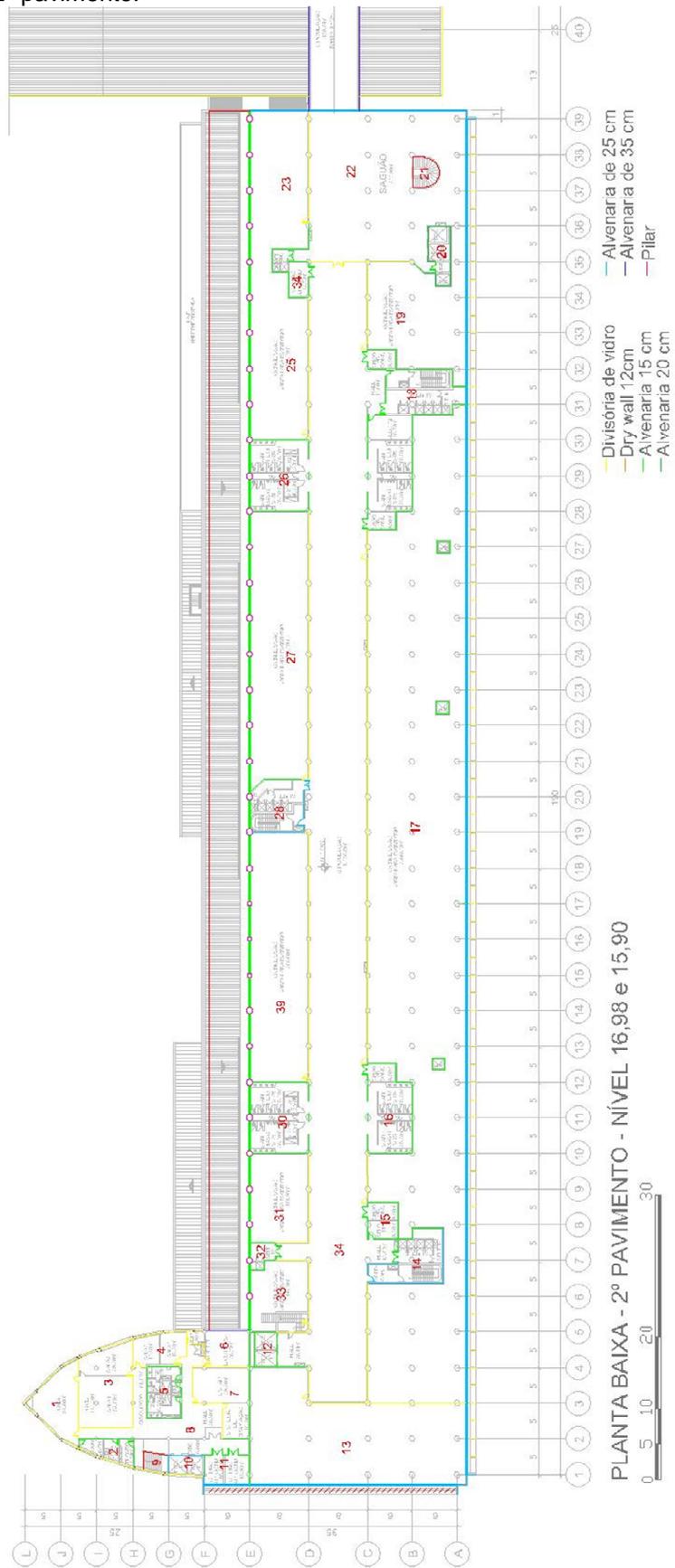


Figura A- 15: Levantamento cobertura.

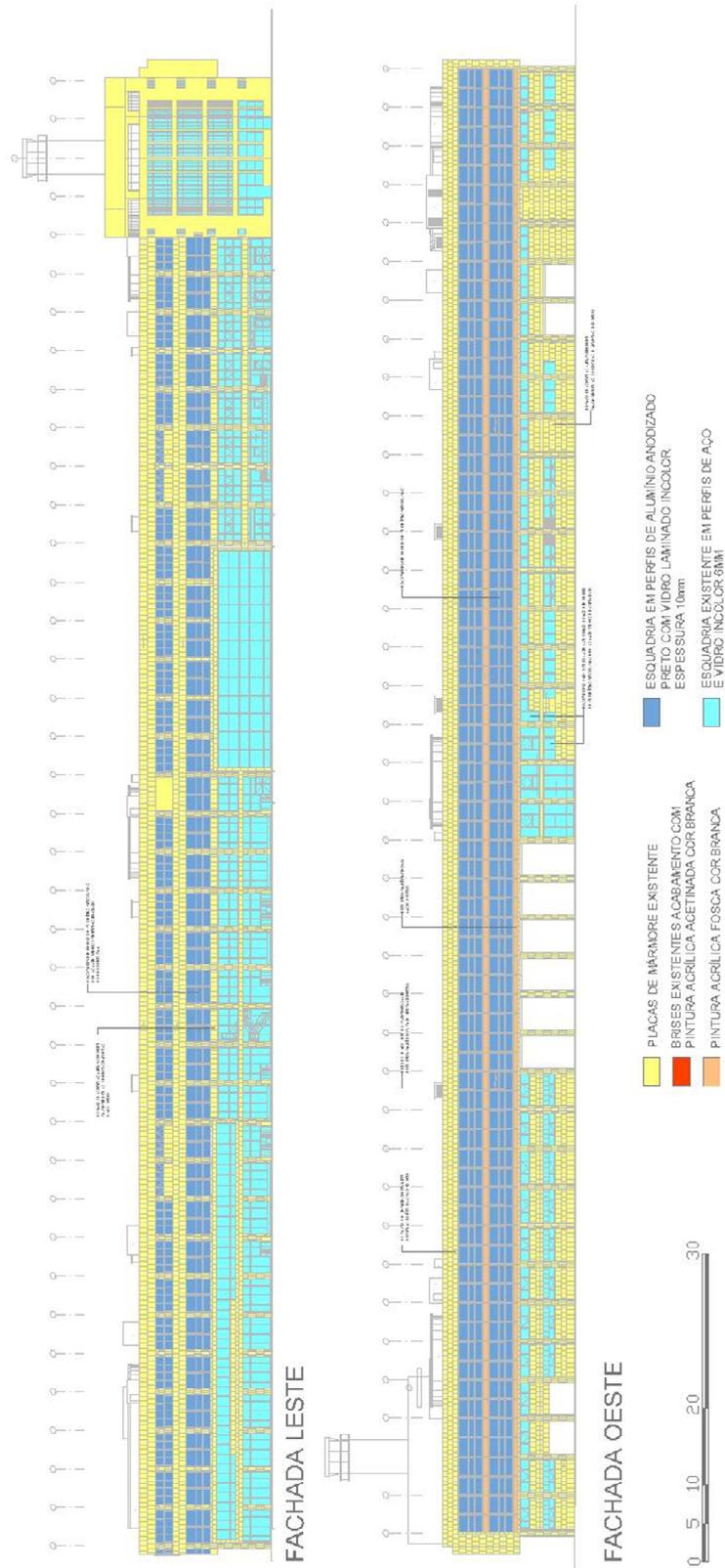


Tabela A- 1: Levantamento de rotina e uso andar térreo

ANDAR: Térreo

LEGENDA: Rotina de ocupação: Uso:  
 O - Horário Operacional (4 as 1 hrs.) OP - Operacional DE - Depósitos  
 A - Horário Administrativo (8 às 17 hrs.) AD - Administrativo CT - Circulações técnicas  
 SN - Sanitários CO - Comercial ST - Salas técnicas  
 CI - Circulação

Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso	Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso
1	A	AD	38	O	CO
2	A	DE	39	O	CO
3	A	SN			
4	A	DE			
5	A	CI			
6	A	CT			
7	O	DP			
8	O	AD			
9	O	DP			
10	O	ST			
11	O	OP			
12	O	OP			
13	O	SN			
14	O	DE			
15	O	DE			
16	O	CI			
17	O	CT			
18	O	CI			
19	O	OP			
20	O	SN			
21	O	DE			
22	O	OP			
23	O	CO			
24	O	ST			
25	O	OP			
26	O	CI			
27	O	CO			
28	O	OP			
29	O	CI			
30	O	OP			
31	O	DP			
32	O	SN			
33	O	SN			
34	O	CI			
35	O	CI			
36	O	CO			
37	O	ST			

Tabela A- 2 Levantamento de rotina e uso andar mezanino

ANDAR: Mezanino

LEGENDA:

Rotina de ocupação:O - Horário Operacional  
(4 as 1 hrs.)A - Horário Administrativo  
(8 às 17 hrs.)Uso:

OP - Operacional

AD - Administrativo

CO - Comercial

SN - Sanitários

DE - Depósitos

CT - Circulações

técnicas

ST - Salas técnicas

CI - Circulação

Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso	Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso
1	A	AD			
2	A	CI			
3	O	CO			
4	O	SN			
5	O	CO			
6	O	CO			
7	O	CI			
8	O	CO			
9	O	CT			
10	O	CT			
11	O	CO			
12	O	CT			
13	O	CO			
14	O	CI			
15	O	CI			
16	O	CO			
17	O	CO			
18	O	CO			
19	O	ST			
20	O	CO			
21	O	AD			
22	O	AD			
23	O	SN			
24	O	CI			
25	O	DP			
26	O	AD			
27	O	AD			
28	O	AD			
29	O	AD			
30	O	ST			
31	O	AD			
32	O	AD			
33	O	OP			

Tabela A- 3: Levantamento de rotina e uso 1º pavimento

ANDAR: 1º pavimento					
LEGENDA:		<u>Rotina de ocupação:</u>	<u>Uso:</u>		
		O - Horário Operacional (4 as 1 hrs.)	OP - Operacional	DE - Depósitos	
		A - Horário Administrativo (8 às 17 hrs.)	AD - Administrativo	CT - Circulações técnicas	
			CO - Comercial	ST - Salas técnicas	
			SN - Sanitários	CI - Circulação	
Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso	Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso
1	A	AD	38	A	ST
2	A	CI	39	A	AD
3	A	CI	40	A	ST
4	A	ST	41	A	AD
5	A	ST	42	A	ST
6	A	ST	43	A	AD
7	A	ST	44	A	SN
8	A	AD	45	A	SN
9	A	ST	46	A	CI
10	A	AD	47	A	DE
11	A	ST	48	A	CI
12	A	CI	49	A	AD
13	A	AD	50	A	ST
14	A	ST	51	A	AD
15	A	ST	52	A	AD
16	A	AD	53	A	ST
17	A	AD	54	A	ST
18	A	SN	55	A	AD
19	A	AD	56	A	ST
20	A	AD			
21	A	AD			
22	A	SN			
23	A	AD			
24	A	SN			
25	A	AD			
26	A	CI			
27	A	AS			
28	A	ST			
29	A	ST			
30	A	AD			
31	A	ST			
32	A	AD			
33	A	ST			
34	A	AD			
35	A	ST			
36	A	ST			
37	A	AD			

Tabela A- 4: Levantamento de rotina e uso 2º pavimento.

ANDAR: 2º pavimento/ Cobertura

LEGENDA: Rotina de ocupação:  
 O - Horário Operacional (4 as 1 hrs.)  
 A - Horário Administrativo (8 às 17 hrs.)

Uso:  
 OP - Operacional  
 AD - Administrativo  
 CO - Comercial  
 SN - Sanitários

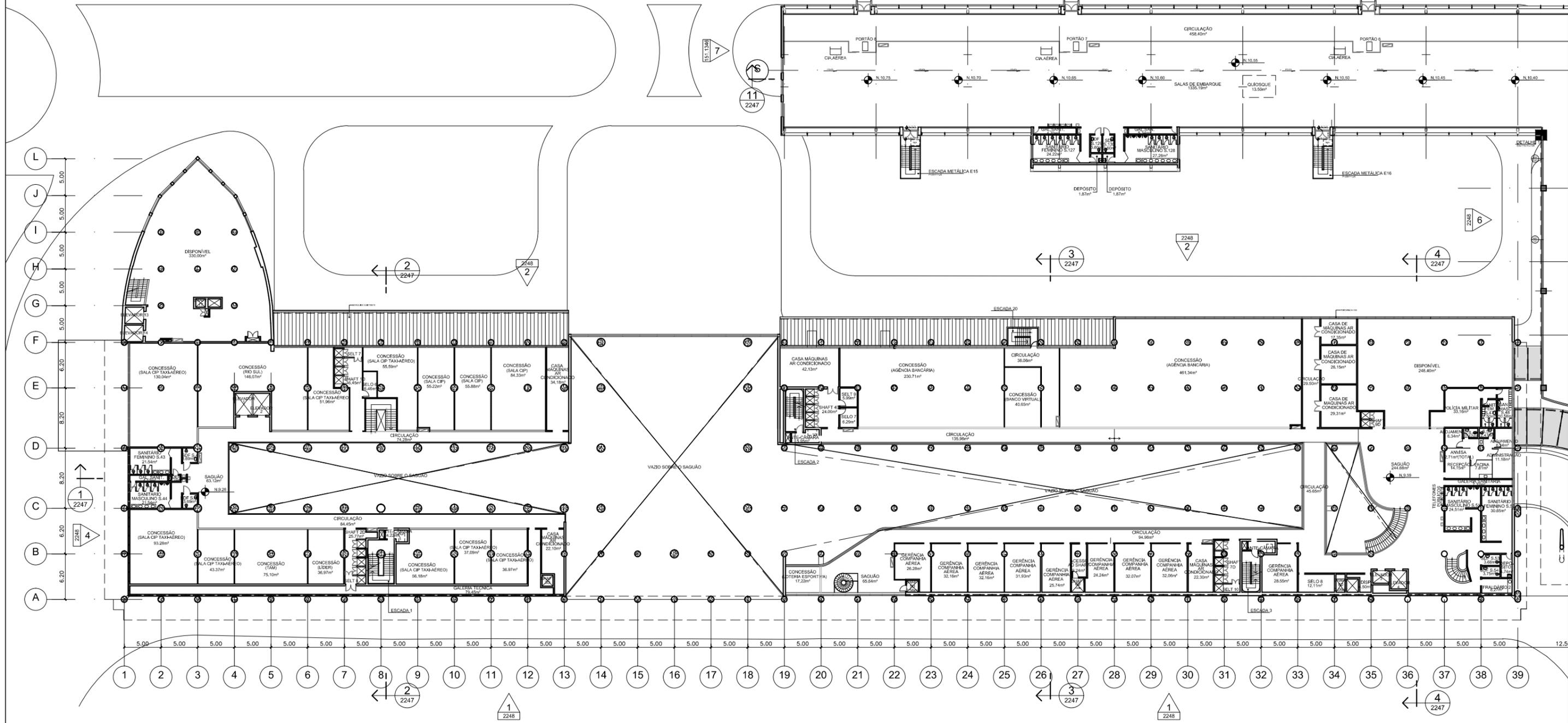
DE - Depósitos  
 CT - Circulações técnicas  
 ST - Salas técnicas  
 CI - Circulação

Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso	Ambiente	Rotina de Ocupação	Uso
1	A	AD	1	A	AD
2	A	DE	2	A	AD
3	A	AD	3	A	SN
4	A	AD	4	A	CI
5	A	SN	5	A	CI
6	A	DE	6	A	AD
7	A	AD			
8	A	CI			
9	A	CI			
10	A	CI			
11	A	ST			
12	A	CI			
13	A	AD			
14	A	CI			
15	A	ST			
16	A	SN			
17	A	AD			
18	A	SN			
19	A	AD			
20	A	ST			
21	A	ST			
22	A	AD			
23	A	AD			
24	A	DP			
25	A	AD			
26	A	SN			
27	A	AD			
28	A	CI			
29	A	AD			
30	A	SN			
31	A	AD			
32	A	ST			
33	A	AD			
34	A	AD			

**ANEXO**

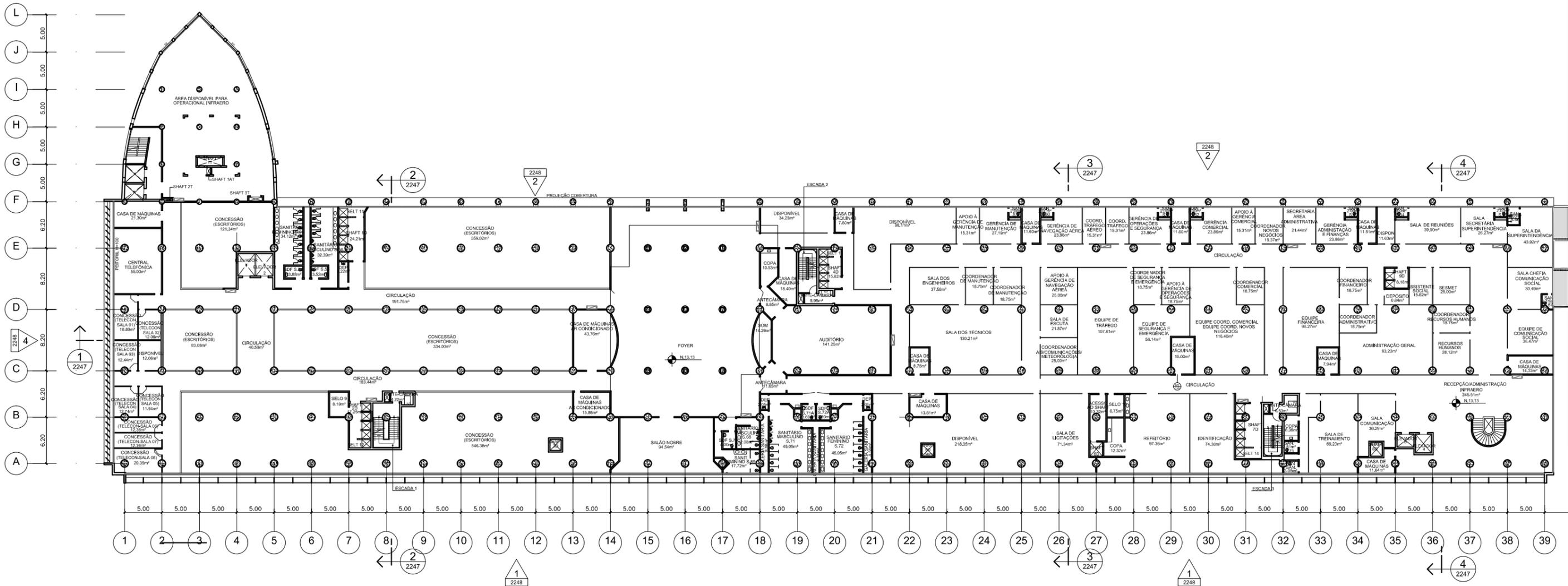
**PROJETO DE REFORMA DO  
TERMINAL DE DESEMBARQUE DO  
AEROPORTO SANTOS DUMONT**





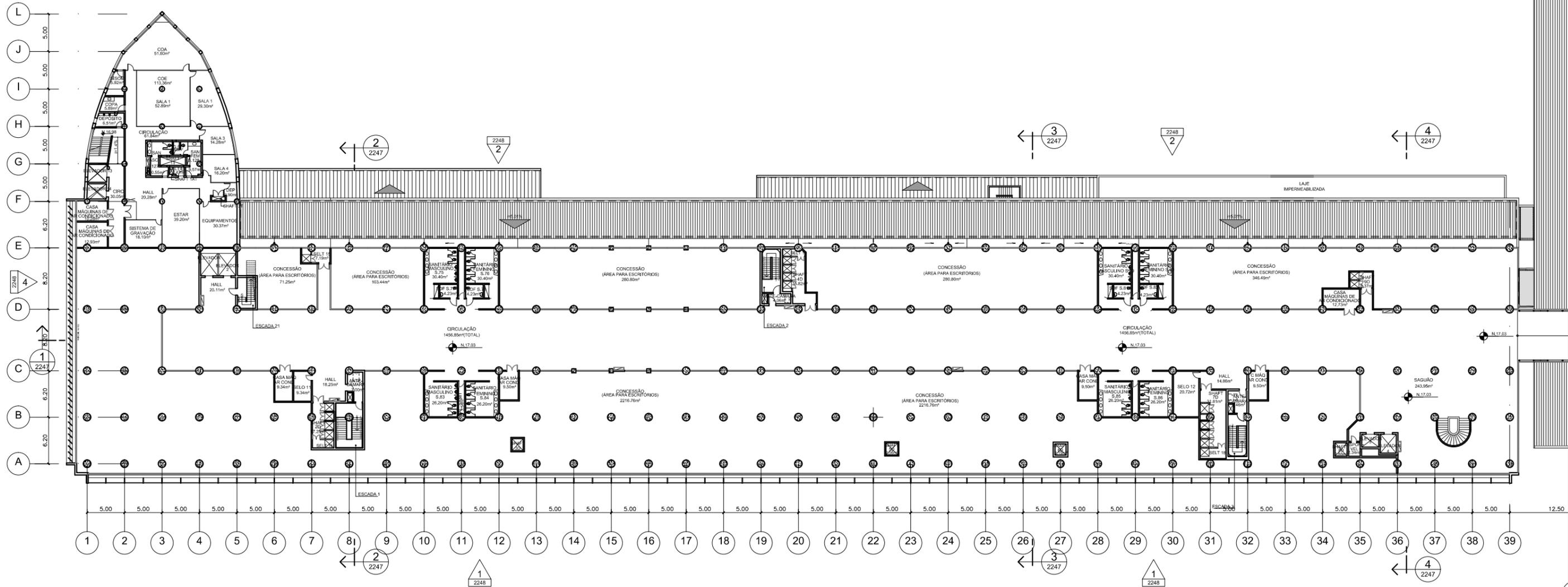
1 PLANTA BAIXA - MEZANINO - NÍVEIS 9,26 / 9,59 / 10,40  
 ESCALA 1:500

SITIO			
AEROPORTO SANTOS-DUMONT			
ÁREA DO SITIO			
TERMINAL DE PASSAGEIROS			
ESPECIALIDADE/SUBSPECIALIDADE			
ARQUITETURA / ARQUITETURA			
TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO			
1,05,05,01,2			
DESEMBARQUE / EMBARQUE / CONECTOR / TORRE - MEZANINO EIXOS 1/54-A/S - NÍVEIS 9,26 / 9,59 / 10,40 - PLANTA BAIXA GERAL			
TIPO DE OBRA	CLASSE DO PROJETO		
CONSTRUÇÃO	CONSOLIDAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO		
SUBSTITUI A	SUBSTITUIDA POR		
CODIFICAÇÃO	ESCALA	DATA	DESENHISTA
	1/500	MARÇO/06	



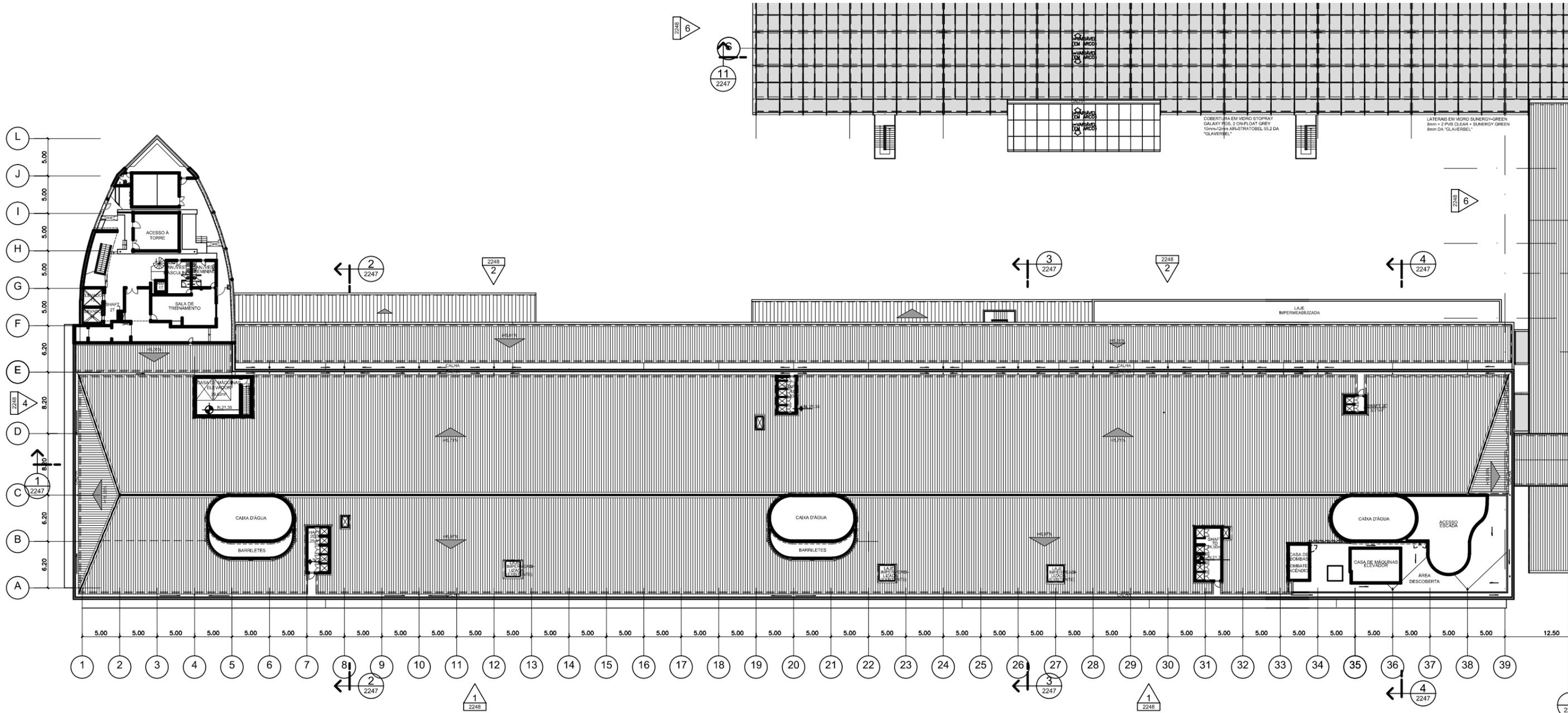
2 PLANTA BAIXA - 1º PAVIMENTO DESEMBARQUE - NÍVEL 13,13  
 ESCALA 1:500

SÍTI			
AEROPORTO SANTOS-DUMONT			
ÁREA DO SÍTI			
TERMINAL DE PASSAGEIROS			
ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE			
ARQUITETURA / ARQUITETURA			
TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO			1,05,05,01.2
DESEMBARQUE / EMBARQUE / CONECTOR / TORRE - 1º PAVIMENTO EIXOS 1/54-A/S - NÍVEL 13,13 - PLANTA BAIXA GERAL			
TIPO DE OBRA	CLASSE DO PROJETO		
CONSTRUÇÃO	CONSOLIDAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO		
SUBSTITUI A	SUBSTITUIDA POR		
CODIFICAÇÃO	ESCALA	DATA	DESENHISTA
	1/500	MARÇO/06	



1 PLANTA BAIXA - 2º PAVIMENTO - NÍVEL 17,30  
 ESCALA 1:500

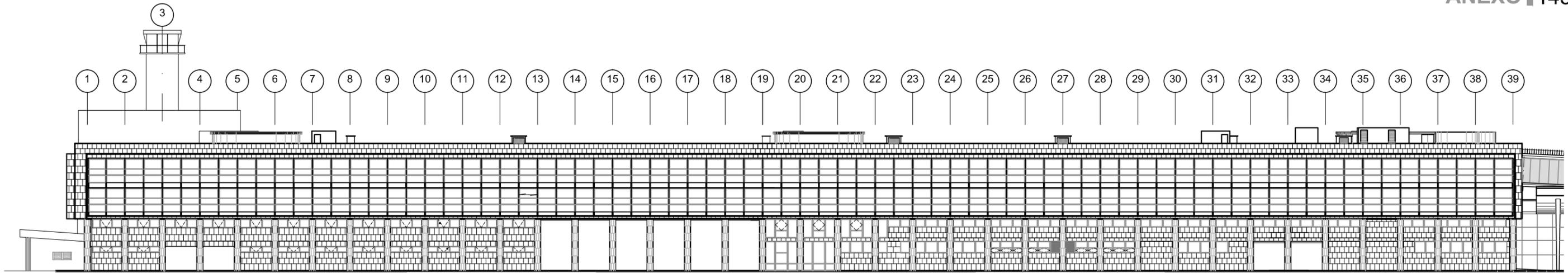
SÍTI			
AEROPORTO SANTOS-DUMONT			
ÁREA DO SÍTI			
TERMINAL DE PASSAGEIROS			
ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE			
ARQUITETURA / ARQUITETURA			
TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO			1.05.05.01.2
DESEMBARQUE / EMBARQUE / TORRE - 2º PAVIMENTO EIXOS 1/54-A/Q - NÍVEIS 17,03 / 15,90 - PLANTA BAIXA GERAL			
TIPO DE OBRA	CLASSE DO PROJETO		
CONSTRUÇÃO	CONSOLIDAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO		
SUBSTITUI A	SUBSTITUIDA POR		
CODIFICAÇÃO	ESCALA	DATA	DESENHISTA
	1/500	MARÇO/06	



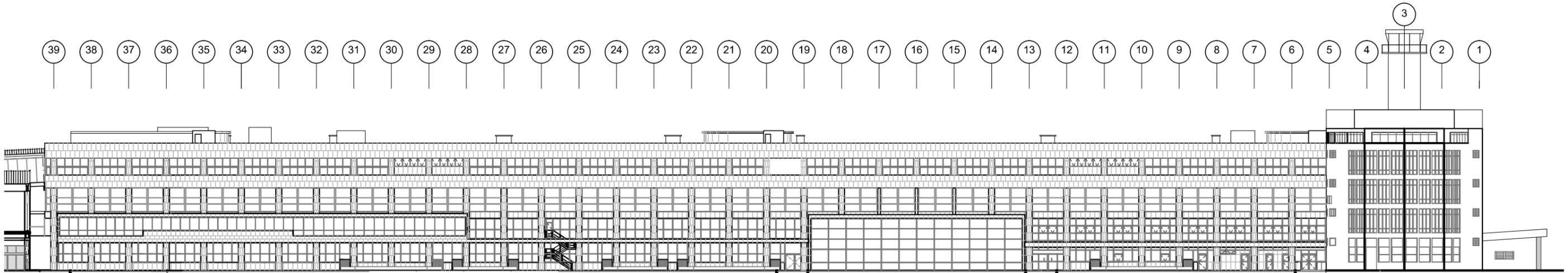
1 PLANTA BAIXA - 2º PAVIMENTO - NÍVEL 17,30  
 ESCALA 1:500

SÍTIO				AEROPORTO SANTOS-DUMONT			
ÁREA DO SÍTIO				TERMINAL DE PASSAGEIROS			
ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE				ARQUITETURA / ARQUITETURA			
TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO				1.05.05.01.2			
DESEMBARQUE / EMBARQUE / CONECTOR / TORRE - COBERTURA							
EIXOS 1/54-A/S - NÍVEIS 21,35/ 20,90 / 23,15 - PLANTA BAIXA GERAL							
TIPO DE OBRA		CONSTRUÇÃO		CLASSE DO PROJETO		CONSOLIDAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO	
SUBSTITUI A				SUBSTITUIDA POR			
CODIFICAÇÃO		ESCALA		DATA		DESENHISTA	
		1/500		MARÇO/06			

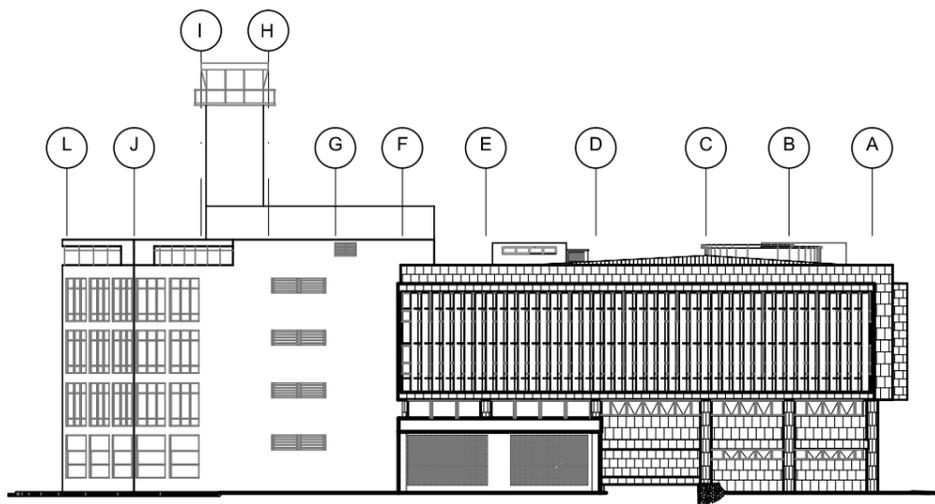




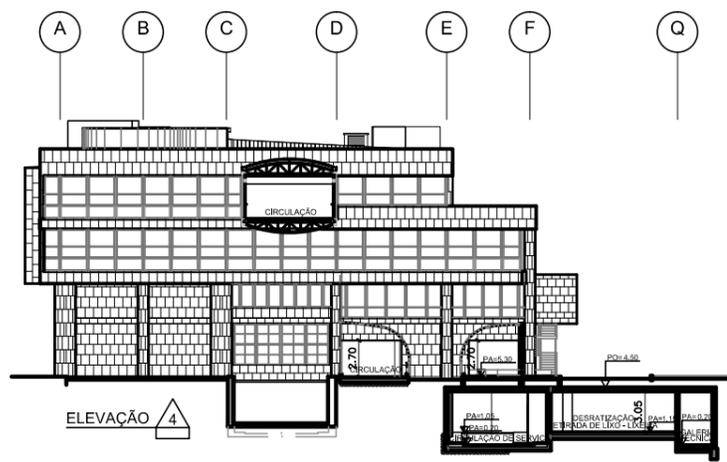
ELEVACÃO 1



ELEVACÃO 2



ELEVACÃO 3



ELEVACÃO 4

SÍTIO		
AEROPORTO SANTOS-DUMONT		
ÁREA DO SÍTIO		
TERMINAL DE PASSAGEIROS		
ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE		
ARQUITETURA / ARQUITETURA		
TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO		1.05.05.01.2
DESEMBARQUE / EMBARQUE / CONECTOR / TORRE		
EIXOS 0/55-A/S - ELEVACÕES		
TIPO DE OBRA	CLASSE DO PROJETO	
CONSTRUÇÃO	CONSOLIDAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO	
SUBSTITUI A	SUBSTITUIDA POR	
CODIFICAÇÃO	ESCALA	DATA
	1/500	MARÇO/06
		DESENHISTA