



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES VISANDO A CERTIFICAÇÃO
PELO RTQ-C E A ANÁLISE ENERGÉTICO-FINANCEIRA E AMBIENTAL**

ANA CAROLINA DIAS BARRETO DE SOUZA

UFPA / ITEC / PPGAU
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ANA CAROLINA DIAS BARRETO DE SOUZA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES VISANDO A CERTIFICAÇÃO
PELO RTQ-C E A ANÁLISE ENERGÉTICO-FINANCEIRA E AMBIENTAL**

UFPA / ITEC / PPGAU
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ANA CAROLINA DIAS BARRETO DE SOUZA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES VISANDO A CERTIFICAÇÃO
PELO RTQ-C E A ANÁLISE ENERGÉTICO-FINANCEIRA E AMBIENTAL**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Emília de Lima Tostes

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**“EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES VISANDO A CERTIFICAÇÃO
PELO RTQ-C E A ANÁLISE ENERGÉTICO-FINANCEIRA E AMBIENTAL”**

AUTOR: ANA CAROLINA DIAS BARRETO DE SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - DESEMPENHO AMBIENTAL E TECNOLOGIA.

APROVADA EM: 31/08/2017

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Maria Emília de Lima Tostes (Orientadora)

Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof. Dr. Gustavo, da Silva Vieira de Melo (Membro do PPGAU)

Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof.^a. Dr.^a. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho (Membro Externo)

Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca (Membro Externo)

Universidade Federal do Pará – UFPA

VISTO:

Prof. Dr.^a. Ana Cláudia Duarte Cardoso
(COORDENADOR DO PPGAU/ITEC/UFPA)

DEDICATÓRIA

"Dedico essa dissertação a minha família, em especial a alma da minha mãe Maria Antônia e da minha avó Ernandina que hoje me acompanham com a luz divina do céu"

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus de infinita misericórdia, pelas grandes bênçãos já concedidas a mim e por essa conquista em especial. A Nossa Senhora de Nazaré por passar na frente e abrir meus caminhos nos momentos mais difíceis que enfrentei na vida, me acolhendo com seu colo de mãe quando perdi a minha.

Minha gratidão eterna ao amor incondicional da minha mãe Maria Antônia e da minha avó Ernandina, que hoje disfrutam da paz no reino dos céus. Á todos os meus familiares pelo apoio e pelas orações, em especial à minha irmã Ana Paula, minha avó Alzira e minha tia Edna que sempre são incansáveis em me ajudar.

Aos amigos que acompanham, de perto ou de longe, a minha caminhada torcendo sempre pelo meu sucesso, em especial pelos que ajudaram na realização dessa pesquisa: Larissa P., Érica M., Renata D., Juliana G., Maria T., e Dayse R.

Aos queridos amigos e colegas conquistados no Ceamazon e ao longo do mestrado: Maria Esther, Allan M., Wellington F., Heitor B., Roniel A., Thiago M., Rodrigo C., Diorge L., Suzane A., Flávia P., Douglas O., Mikelly C, Izídio C., Camila A., Hellen L., Bruno Z., Victor H, e outros que também vivenciaram comigo de alguma forma esses anos de grande aprendizado.

Sou grata aos professores do PPGAU e do PPGE, em especial a minha orientadora Prof^a. Dr^a M^a Emília de Lima Tostes que me acolheu no Ceamazon e me fez membro dessa família de excelentes pesquisadores. Obrigada pelos ensinamentos e todo o incentivo nessa caminhada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará pela oportunidade de enriquecer meus conhecimentos.

Aos membros da banca por terem aceitado o convite e por suas contribuições a este trabalho;

E por último, mas não tão menos importante, ao Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), pela disponibilização do espaço físico para a realização do estudo e pela colaboração com o trabalho.

ΕΠÍΓΡΑΦΟ

“Πensar globalmente e agir localmente.”

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS.....	XV
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Motivação	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Gerais.....	2
1.3.2 Específicos.....	2
1.3.3 Justificativa.....	2
1.3.4 Organização da Dissertação.....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTADO DA ARTE	8
2.1 Os múltiplos benefícios da Eficiência Energética	8
2.2 Eficiência Energética em Edificações.....	9
2.3 Certificações Ambientais e de Eficiência Energética em Edificações.....	17
2.3.1 BREEAM	18
2.3.2 LEED	19
2.3.3 AQUA.....	21
2.3.4 PROCEL EDIFICA	21
2.4 Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C.....	23
2.4.1 Procedimento de Determinação da Eficiência.....	25
2.4.2 RTQ-C Pré-requisitos Gerais.....	26
2.4.3 RTQ-C Pré-requisitos Específicos	27
2.4.4 Bonificações	27
2.4.5 Análise da Envoltória	27
2.4.6 Sistema de Iluminação.....	31
2.4.7 Sistema de Condicionamento de Ar	35
2.4.8 Método de Simulação	36
2.5 Cenário Financeiro das Edificações.....	38
2.6 Cenário Ambiental das Edificações	42
2.7 Análise Computacional: <i>Software RETScreen</i>	44

2.8	Considerações sobre a Fundamentação Teórica	52
3	METODOLOGIA DE PESQUISA E ESTUDO DE CASO	53
3.1	Considerações Iniciais	53
3.2	Metodologia de Pesquisa	54
3.3	Estudo de Caso.....	57
3.3.1	Descrição do Local e Clima.....	57
3.3.2	Dados Climáticos de Belém e as Estratégias Bioclimáticas.....	58
3.3.3	Edificação Analisada	68
3.3.4	Envoltória	72
3.3.5	Sistema de Iluminação Artificial	78
4	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO CONFORME O RTQ-C	82
4.1	Determinação do Nível de Eficiência da Envoltória – 1ª Etapa	82
4.1.1	Fator Altura (FA).....	83
4.1.2	Fator de Forma (FF)	83
4.1.3	Percentual de Aberturas na Fachada (PAF).....	84
4.1.4	Ângulo Vertical de Sombreamento – AVS	85
4.1.5	Ângulo Horizontal de Sombreamento – AHS	87
4.1.6	Fator Solar – FS.....	88
4.1.7	Indicador de consumo da Envoltória (ICenv).....	89
4.1.8	Pré-requisitos Específicos da Envoltória.....	91
4.1.9	Análise do Cumprimento dos Pré-requisitos Específicos da Envoltória.....	94
4.1.10	Determinação do Nível de Eficiência Final da Envoltória	95
4.2	Determinação do Nível de Eficiência do Sistema de Iluminação – 1ª Etapa.....	96
4.2.1	Aplicação do Método das Áreas	96
4.2.2	Análise do Cumprimento dos Pré-Requisitos Específicos de Iluminação	97
4.2.3	Determinação do Nível de Eficiência Final do Sistema de Iluminação	99
4.3	Determinação do Nível de Eficiência Energética Final da Edificação	99
4.3.1	Classificação Final da Edificação e Etiquetagem.....	100
4.4	Análise Crítica – 2ª etapa.....	100
4.4.1	Envoltória	100
4.4.2	Sistema de Iluminação.....	107
4.5	Ações de Melhoria – 3ª etapa	108
4.6	Considerações sobre a aplicação da metodologia – etapas 1, 2 e 3	108
5	APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: RETSCREEN	
	111	
5.1	Envoltória.....	112
5.2	Sistema de Condicionamento de Ar.....	118

5.3	Sistema de Iluminação	119
5.3.1	Análise de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação	124
5.3.2	Análise de Viabilidade Financeira do Sistema de Iluminação	125
5.3.3	Análise Ambiental do Sistema de Iluminação.....	126
6	CONCLUSÕES	127
6.1	Considerações Finais	129
6.2	Limitações do trabalho.....	130
6.3	Recomendações para Pesquisas Futuras	131
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
	APÊNDICES	137
	Apêndice A.....	138
	Apêndice B	155

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Os múltiplos benefícios da eficiência energética.	8
Figura 2. Carta Bioclimática de Olgyay.	14
Figura 3. Carta Bioclimática adotada para o Brasil.	15
Figura 4. Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	16
Figura 5. Zoneamento Bioclimático aplicado à cidade de Belém.	17
Figura 6. Níveis de Certificação LEED.	19
Figura 7. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).	22
Figura 8. Equação 2.1 do RTQ-C. Cálculo PT - Pontuação Total.	24
Figura 9. Ilustração do Cálculo de IC.	29
Figura 10. Exemplo de divisão de zonas de controle de iluminação em um ambiente com mais de 250 m ²	32
Figura 11. Circuitos com controle de acionamento individual de luminárias próximas às janelas.	32
Figura 12. Custo total de um edifício em 50 anos.	38
Figura 13. Possibilidade de Interferência no Custo de um Edifício.	39
Figura 14. Página Inicial do RETScreen: configurações básicas.	44
Figura 15. Combustível usado (eletricidade) e sua tarifação de preço unitário (\$/KWh).	46
Figura 16. Tipo de instalação a ser analisada pelo RETScreen.	46
Figura 17. Características de Instalação.	47
Figura 18. Aba de especificação da análise.	47
Figura 19. Resumo da análise de consumo de energia elétrica (combustível): caso de referência.	49
Figura 20. Resumo da análise de consumo de energia elétrica (combustível): caso proposto.	49
Figura 21. Análise das Emissões de CO ₂ - RETScreen.	50
Figura 22. Tópicos da análise financeira gerada pela simulação computacional – RETScreen.	51
Figura 23. Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – RETScreen.	51
Figura 24. Diagrama esquemático da Metodologia proposta.	56
Figura 25. Mapa da extensão territorial do Estado do Pará e da cidade de Belém.	58
Figura 26. Carta Bioclimática de Givoni.	59
Figura 27. Carta Bioclimática com os Dados Climáticos Horários Anuais de Belém, 1964.	59
Figura 28. Normais Climatológicas Mensais de Belém.	61
Figura 29. Percentual Mensal por Estratégia Bioclimática para Belém.	61
Figura 30. Rosa dos Ventos de Belém.	62
Figura 31. Distribuição das Temperaturas do Ar de Belém no Período Diurno.	62
Figura 32. Diagrama da Trajetória Aparente do Sol.	63
Figura 33. Imagem dos Gráficos da Radiação Global (I) máxima por hora e média mensal de radiação diária de Belém.	64
Figura 34. Carta Solar com Radiação Global Horizontal Horária de Belém.	65
Figura 35. Urbanização da UFPA e Maquete eletrônica do Espaço de ensino Mirante do Rio.	68
Figura 36. Planta Baixa Pavimento Térreo – Mirante do Rio.	69
Figura 37. Planta Baixa Pavimento Tipo (1°, 2°, 3° e 4°) – Mirante do Rio.	70
Figura 38. Sobreposição do Mirante do Rio sobre a rosa dos ventos para a orientação das fachadas.	71
Figura 39. Foto da edificação inserida no entorno do terreno.	71
Figura 40. Foto da área bosqueada na lateral leste da edificação.	72

Figura 41. Foto demonstrando a pouca influência da biblioteca central ao sombreamento do Mirante.	72
Figura 42. Cores e revestimentos da parede da envoltória da edificação.	73
Figura 43. Planta de Cobertura da Edificação com as tipologias de cobertura.	74
Figura 44. Detalhes das telhas que compõem a cobertura da envoltória.	74
Figura 45. Laje maciça impermeabilizada e cobertura translúcida do átrio central.	75
Figura 46. Foto externa e interna das esquadrias da edificação.	75
Figura 47. Vistas frontal e lateral dos dispositivos de sombreamento.	76
Figura 48. Desenhos esquemáticos demonstrando a tipologia do brise fixo horizontal.	76
Figura 49. Vista panorâmica do prédio do Espaço de Ensino Mirante do Rio.	77
Figura 50. Identificação dos elementos do entorno imediato através da vista superior da edificação.	77
Figura 51. Faixa de classificação com os limites de cada classificação do nível de desempenho da edificação.	94
Figura 52. ENCE parcial para edificações onde apenas a envoltória e o sistema de iluminação foram inspecionados.	100
Figura 53. Planta baixa do Pavimento Tipo (1,2, 3 e 4).	102
Figura 54. Secção Transversal do Edifício (sem escala).	103
Figura 55. Sistema de Brises Existente e Alternativa Ideal.	105
Figura 56. Diagramas de mascaramento solar para fachada orientada à 85°.	106
Figura 57. Diagramas de mascaramento solar para fachada orientada à 265°.	106
Figura 58. Aba de cadastro de dados de combustível e horário do Modelo Energético.	111
Figura 59. Aba de cadastro de dados das paredes da envoltória.	113
Figura 60. Aba de cadastro das características das janelas da envoltória.	114
Figura 61. Aba de cadastro das características das portas da envoltória.	116
Figura 62. Aba de cadastro das características da cobertura da envoltória.	117
Figura 63. Aba de cadastro das características da ventilação natural da envoltória.	117
Figura 64. Caixa de diálogo dos Equipamentos Elétricos analisados.	119
Figura 65. Especificação da análise do sistema de iluminação.	122
Figura 66. Desenho de componentes de uma envoltória.	138
Figura 67. Áreas de absortância da Fachada Norte.	147
Figura 68. Áreas de absortância da Fachada Sul.	148
Figura 69. Áreas de absortância da Fachada Leste.	149
Figura 70. Áreas de absortância da Fachada Oeste.	149
Figura 71. Áreas de absortância da cobertura do Espaço de Ensino Mirante do Rio.	150
Figura 72. Percentual de abertura da Fachada Norte.	152
Figura 73. Percentual de abertura da Fachada Sul.	152
Figura 74. Percentual de abertura da Fachada Leste.	153
Figura 75. Percentual de abertura da Fachada Oeste.	153
Figura 76. Refletâncias das superfícies internas.	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum).	24
Tabela 2. Tabela de Classificação Geral.	25
Tabela 3. Parâmetros do IC _{máxD}	28
Tabela 4. Parâmetros do IC _{minD}	29
Tabela 5. Síntese dos limites de Transmitância (U) de parede e cobertura por nível de classificação.	30
Tabela 6. Limites de fator solar de vidros e de percentual de abertura zenital para coberturas.	31
Tabela 7. Relação entre pré-requisito e níveis de eficiência.	31
Tabela 8. Horários de início e fim da insolação direta nas orientações cardinais na lat. 0°	63
Tabela 9. Dados Climáticos de Belém com Destaque para as Nebulosidades Médias.	64
Tabela 10. Especificações técnicas da telha termo acústica.	74
Tabela 11. Características da instalação da tipologia 01.	78
Tabela 12. Características da instalação da tipologia 2.	79
Tabela 13. Sistema de Iluminação do Espaço de Ensino Mirante do Rio.	79
Tabela 14. Fator Altura (FA) da edificação Mirante do Rio.	83
Tabela 15. Áreas da Envoltória do Mirante do Rio.	83
Tabela 16. Volume da Envoltória do Mirante do Rio.	84
Tabela 17. Fator Forma da edificação Mirante do Rio.	84
Tabela 18. Percentual de área de Abertura de Fachada.	85
Tabela 19. Ângulo Vertical de Sombreamento - Fachada Norte.	86
Tabela 20. Ângulo Vertical de Sombreamento - Fachada Leste.	86
Tabela 21. Ângulo Vertical de Sombreamento - Fachada Oeste.	86
Tabela 22. Ângulo Vertical de Sombreamento - AVS.	86
Tabela 23. Ângulo Horizontal de sombreamento - Fachada Norte.	87
Tabela 24. Ângulo Horizontal de Sombreamento - Fachada Leste.	87
Tabela 25. Ângulo Horizontal de Sombreamento - Fachada Oeste.	88
Tabela 26. Ângulo Horizontal de Sombreamento – AHS.	88
Tabela 27. Propriedades do Vidro Temperado 10mm.	88
Tabela 28. Propriedades do Vidro Aramado 8mm.	89
Tabela 29. Resumo dos valores obtidos para p cálculo do IC _{env}	91
Tabela 30. Limites dos Intervalos dos Níveis de Eficiência.	91
Tabela 31. Síntese dos pré-requisitos de acordo com o nível de eficiência energética.	92
Tabela 32. Síntese dos pré-requisitos de acordo com o nível de eficiência energética.	92
Tabela 33. Absortância dos materiais ponderada pela área e absortância final das paredes.	93
Tabela 34. Transmitância Térmica da Cobertura condicionada e não condicionada artificialmente.	93
Tabela 35. Absortância Térmica da Cobertura.	93
Tabela 36. Percentual de Abertura Zenital do Espaço de Ensino Mirante do Rio.	94
Tabela 37. Limites para a classificação da Transmitância Térmica (U) W/m ² °C.	95
Tabela 38. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido - Tabela 4.2 do Método da Área da Edificação.	96
Tabela 39. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício.	97
Tabela 40. Relação entre pré-requisito e níveis de eficiência.	97
Tabela 41. Verificação do Cumprimento dos Pré-Requisitos Específicos.	98
Tabela 42. Intervalos de sombreamento das aberturas orientadas à leste e oeste.	107
Tabela 43. Análise de Eficiência Energética - Retscreen.	125

Tabela 44. Viabilidade Financeira.....	125
Tabela 45. Resistência térmica superficial interna e externa.....	140
Tabela 46. Propriedades termofísicas dos materiais usados na envoltória.....	141
Tabela 47. Ponderação das áreas x transmitâncias das superfícies das paredes.....	145
Tabela 48. Resistência térmica da câmara de ar não ventilada.	146
Tabela 49. Especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.	155

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AC	Área Condicionada
APT	Ambientes de Permanência Transitória
ANC	Área Não Condicionada
AU	Área Útil
AQUA	Alta Qualidade Ambiental BEN - Balanço Energético Nacional
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CA	Condicionamento de Ar
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
CUB	Custo Unitário Básico da Construção Civil
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
DOU	Diário Oficial da União
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
ENV	Envoltória
EqNumCA	Equivalente Numérico do Sistema de Ar Condicionado
EqNumDPI	Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação
EqNumEnv	Equivalente Numérico da Envoltória
EqNumV	Equivalente Numérico de Ambientes Não Condicionados e/ou Ventilados Naturalmente
GBC Brasil	<i>Green Buildign Council Brazil</i>
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LEED	<i>Leadership in Energy & Environmental Design</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações
Rio 92	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

MPOG	Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão
PT	Pontuação Total
SLTI	Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
ZBBR	Zoneamento Bioclimático Brasileiro

RESUMO

A preocupação em controlar o crescimento do consumo energético de edificações no Brasil, responsáveis por 51% do uso de energia elétrica no país (Balanço Energético Nacional – BEN, 2016), impulsionou o Governo Federal através da Eletrobrás a criar em 2009 a certificação Procel Edifica. Ela avalia a *performance* energética de empreendimentos e reúne as informações na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A certificação do Procel contém o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C, com um conjunto de diretrizes que auxiliam na elaboração de projetos de construções mais eficientes. O presente trabalho desenvolve uma metodologia voltada para estas edificações não residenciais, propondo como 1ª etapa, avaliar o desempenho energético predial com base das diretrizes estipuladas pelo método prescritivo do regulamento. Depois de realizar o diagnóstico energético é feita a 2ª etapa – uma análise crítica –, identificando os déficits dos sistemas avaliados a fim de sugerir ações de melhorias (3ª etapa), quando houver a possibilidade de potencializar as vantagens energéticas. Por fim, é aplicada a 4ª etapa referente à simulação computacional dessas propostas, com a utilização do *software RETScreen*, que mensura a viabilidade energético-financeira e ambiental do *retrofit* predial. A metodologia foi demonstrada através do estudo de caso em um prédio de ensino da Universidade Federal do Pará. Os resultados mostraram que a edificação obteve classificação geral de maior nível de desempenho (classificação A), porém apresentando déficits que possibilitaram algumas recomendações de intervenções. Estas, apresentaram bons resultados com o *retrofit*, alcançando uma redução anual de 31,4% no consumo energia elétrica, economia financeira de R\$64.335,00 para os cofres públicos e diminuição das emissões em 22,5 toneladas de CO₂ anuais. O estudo apresenta os fundamentos necessários para que o investidor possa aferir o tempo do retorno financeiro (*payback*) do valor investido, a lucratividade anual gerada, além de ratificar os ganhos energéticos e ambientais. Com isso, o diagnostico pode ser usado para justificar investimentos e auxiliar na aquisição de recursos em Fundos de Eficiência Energética, agregando maior valor mercadológico aos mais diversificados tipos de empreendimentos através das questões sustentáveis e energéticas.

PALAVRAS-CHAVES: Eficiência Energética, Etiquetagem de Edificações, RTQ-C, *RETScreen*, *Payback*.

ABSTRACT

The concern of controlling the growth of the energy consumption of buildings in Brazil, responsible for 51% of the use of electric energy in the country (National Energy Balance - BEN, 2016), drove the Federal Government through Eletrobras to create the Procel Edifica certification in 2009. It evaluates the energy *performance* of projects and gathers information on the National Energy Conservation Label (ENCE). The Procel certification contains the Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level of Commercial, Services and Public Buildings - RTQ-C, with a set of guidelines that help in the elaboration of projects of more efficient constructions. The present work develops a methodology focused on these non-residential buildings, proposing as a first step, to evaluate the building energy *performance* based on the guidelines stipulated by the prescriptive method of the regulation. After performing the energy diagnosis, the second step - a critical analysis - is made, identifying the deficits of the evaluated systems in order to suggest improvement actions (3rd step), when there is the possibility of enhancing the energy advantages. Finally, the 4th step regarding the computational simulation of those proposals is applied, using the RETScreen software, which measures the energy-financial and environmental viability of the building retrofit. The methodology was demonstrated through the case study in a teaching building of the Federal University of Pará. The results showed that the building obtained a general classification of a higher level of performance (classification A), but presenting deficits that enabled some recommendations of interventions. Those recommendations showed good results with retrofit, achieving an annual reduction of 31.4% in electricity consumption, financial savings of R\$64,335.00 for public coffers and reduction of emissions by 22.5 tons of CO₂ per year. The study presents the fundamentals necessary for the investor to gauge the time of the financial return (payback) of the amount invested, the annual profitability generated, and ratify the energy and environmental gains. Thereby, the diagnosis can be used to justify investments and assist in the acquisition of resources in Energy Efficiency Funds, adding greater market value to the most diversified types of projects through sustainable and energy issues.

KEYWORDS: Energy Efficiency, Building Labeling, RTQ-C, RETScreen, Payback.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As medidas de eficiência energética se comportam como impulsionadoras do desenvolvimento econômico e social, pois a energia é considerada como um combustível fundamental para o desenvolvimento (IEA, 2014).

A análise do consumo energético predial é uma das ações que visam à conservação dos recursos energéticos do país, economia financeira para os usuários e contribuição para a diminuição das emissões de gases que causam o efeito estufa. Além disso, é uma forma de instigar a população na busca pelo uso de equipamentos mais eficientes e, consequentemente, pela conscientização do consumo de energia elétrica responsável. Um dos principais fatores que motivam os investimentos em eficiência energética é a sua capacidade para diminuir a demanda de energia e gerar economia nos custos dela.

1.2 Motivação

Este trabalho decorreu da necessidade de se explorar o potencial da eficiência energética em edificações não residenciais com o auxílio das diretrizes estipuladas pelo regulamento da certificação brasileira, o PROCEL Edifica (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edificações), e, com isso, poder mensurar os ganhos de redução do consumo de energia e a viabilidade financeira da implantação das medidas de melhorias do desempenho energético das edificações, analisando seu potencial de replicação. E, por fim, aferir o potencial de redução dos impactos ambientais atrelados ao movimento das certificações e ações de eficiência energética em prol da diminuição do aquecimento global.

Dessa motivação surgiram alguns questionamentos:

- Quão grande é o potencial de economia de energia das ações energeticamente eficientes aplicadas aos sistemas prediais (envoltória, iluminação e ar condicionado)?
- Qual o tempo de retorno financeiro (*payback*) do emprego de ações eficientizadoras em um projeto novo ou *retrofit* de uma edificação existente?
- Qual o impacto que o movimento das certificações de eficiência energética é capaz de fomentar em prol da diminuição do aquecimento global?

1.3 Objetivos

1.3.1 Gerais

Analisar a eficiência energética em edificações não residenciais, aplicando as diretrizes estipuladas no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C, quantificando os ganhos energético-financeiros e a contribuição para a mitigação das emissões dos gases do efeito estufa. Esta análise será aplicada no estudo de caso – Espaço de Ensino Mirante do Rio, uma edificação institucional pública que funcionará como novo bloco de salas de aula da Universidade Federal do Pará.

1.3.2 Específicos

- Descobrir o nível de classificação energética, aplicando o método prescritivo do RTQ-C nos sistemas: envoltória e iluminação de uma edificação pública de ensino superior, visando à certificação PROCEL Edifica;
- Identificar e propor ações de eficiência energética para os sistemas citados, independentemente do nível de classificação encontrado após a avaliação pelo RTQ-C;
- Demonstrar e analisar a viabilidade energético-financeira e ambiental das ações de eficiência energética através do *software RETScreen*.

1.3.3 Justificativa

A demanda pela eficiência energética tem se intensificado mundialmente e, dentro deste contexto, avanços significativos foram conquistados no Brasil. No meio desse processo de conscientização surgem o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985; a Lei de Eficiência Energética nº 10.295 de 2001; o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – Procel Edifica, instituído em 2003, pela ELETROBRAS/PROCEL; dentre outros. Até chegar ao Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE Edifica, que avalia a eficiência energética de empreendimentos e reúne as informações na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Os selos de qualidade, antes aplicados somente em eletroeletrônicos, passaram a ser aplicados também em edificações, levando em consideração que, no Brasil, o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais e comerciais, de serviços e públicas é bastante significativo, correspondendo a aproximadamente 51% do total da eletricidade consumida no país (BEN, 2016). No ano de 2011, segundo Lambert (2014), essas edificações apresentavam

um consumo de energia em torno de 46,7% (o setor residencial consumiu 23,3%, o setor comercial 15,4% e o setor público 8% do total), evidenciando o contínuo crescimento do consumo energético predial.

Em contrapartida, o potencial de economia energética desse setor também é expressivo, uma vez que edificações novas construídas de acordo com os regulamentos técnicos de qualidade e normas de desempenho podem chegar a uma economia de até 50%, e até 30% de economia para as edificações reformadas.

O Procel afirma que, ao promover a avaliação da eficiência energética de edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, em parceria com o INMETRO, busca incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz natural, ventilação, calor do sol, entre outros) nas edificações brasileiras, reduzindo esse quadro de aumento de consumo energético, diminuindo o desperdício e, concomitantemente, os impactos sobre o meio ambiente.

Com as ações do Procel e PBE Edifica, novos conceitos ganharam visibilidade e são cada vez mais difundidos, como é o caso das etiquetagens de edificações. Essa etiquetagem é uma forma de avaliar o desempenho energético do projeto e/ou edifício construído com base nos Regulamentos Técnicos de Qualidade – RTQ's destinados a diversas tipologias arquitetônicas. Sendo o RTQ-C para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos, e o RTQ-R, para Edificações Residenciais. Além deles há o RAC - Requisito de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações e seus documentos complementares, como os Manuais para aplicação do RTQ-C, do RTQ-R e do RAC.

Os regulamentos estabelecem os critérios de avaliação do projeto segundo avaliação da eficiência de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar para a ENCE Geral, ou somente de envoltória e ar-condicionado, ou envoltória e iluminação para a ENCE Parcial. Com isso, a etiqueta pode ser concedida de forma parcial, desde que sempre contemple a avaliação da envoltória.

O presente trabalho se enquadra em um contexto nacional atual, onde os desempenhos energéticos das edificações residenciais, comerciais e de serviços configuram-se de maneira central no âmbito da eficiência energética. Perante essa centralidade foi divulgada a obrigatoriedade da etiquetagem energética de projeto e construção para o uso e operação de Edificações Públicas Federais.

A Instrução Normativa MPOG/SLTI nº 02 de 4 de junho de 2014 publicada no Diário Oficial da União (DOU) tornou obrigatória a Etiquetagem de Edificações Públicas Federais novas e existentes que sofrerem reformas (retrofits) com área superior à 500m². A medida

torna imprescindível a classificação do desempenho desses edifícios no patamar mais elevado, pois, segundo o artigo 5º da normativa, os projetos de edificações públicas federais devem, obrigatoriamente, obter a ENCE Geral de Projeto e de Construção classe “A”, nível máximo de eficiência.

Ainda segundo a normativa, as obras de retrofit devem ser contratadas visando à obtenção da ENCE Parcial da Edificação Construída classe “A” para os sistemas individuais de iluminação e de condicionamento de ar, salvo os casos de inviabilidade técnica ou econômica, por restrições intransponíveis do projeto original como, por exemplo, o tombamento da construção.

Estão dispensadas da obtenção da ENCE as edificações com até 500m² de área construída ou cujo valor da obra seja inferior ao equivalente ao Custo Unitário Básico da Construção Civil - CUB Médio Brasil atualizado aplicado a uma edificação de 500m².

Segundo especialistas, a obrigatoriedade da ENCE nas edificações públicas afeta o setor positivamente. O engenheiro Roberto Lambert, membro do CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável e coordenador do Comitê Temático Energia, entende que:

Essa atitude partindo do poder público é uma vitória para o país, pois estimula melhorias em toda a cadeia e dá exemplo ao mercado que envolve tanto a iniciativa pública quanto a iniciativa privada. Não só beneficia as obras públicas, como também incentiva toda a cadeia a buscar eficiência energética (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS - Boletim Informativo, 2014, pág. 12).

A preparação de subsídios pré-estabelecidos, segundo os regulamentos aprovados pelo INMETRO, com informações que deverão ser contempladas no projeto e execução de uma obra que pretenda receber a ENCE é de suma importância, em um momento em que a etiquetagem de edifícios públicos é a primeira a tornar-se obrigatória no âmbito nacional. As principais etapas a serem contratadas em projetos de revitalização típicos em edificações públicas, para fins de aumento da eficiência energética, são (BRASIL, 2014b):

1. Diagnóstico energético;
2. Elaboração de projeto básico;
3. Elaboração de projeto executivo;
4. Execução das obras;
5. Fiscalização e acompanhamento dos resultados.

Nesse sentido, o objeto principal deste trabalho são as edificações não residenciais, porém, com enfoque nas públicas pela obrigatoriedade e importância em dar exemplo ao mercado que envolve tanto a iniciativa pública quanto a iniciativa privada. Com isso, o trabalho tem como estudo de caso o novo Bloco de Salas de Aulas da Universidade Federal do Pará, o Espaço de Ensino Mirante do Rio. O prédio é avaliado segundo o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C) através do método prescritivo.

Sabe-se que o consumo de energia elétrica nos prédios públicos é (cerca de 70%) caracterizado pelo uso dos sistemas de iluminação e climatização dessas edificações. Por essa razão, a substituição de equipamentos ineficientes e também a mudança de hábitos de seus usuários, usualmente, são as primeiras interferências sugeridas nos projetos de eficiência energética. Portanto, complementando a análise gerada pelas diretrizes do RTQ-C foi feita uma proposta de retrofit do sistema de iluminação. Essa proposta visa corrigir os déficits encontrados na análise crítica do sistema da edificação, aumentando o potencial de economia de energia do prédio. Com o diagnóstico, sugeriu-se a aplicação de medidas de efficientização do sistema de iluminação, dentre elas o uso de lâmpadas LED's em substituição ao atual uso de lâmpadas fluorescentes, visando um melhor desempenho energético da edificação.

As lâmpadas Led's possuem, como característica principal, uma vida útil maior agregada ao menor consumo de energia elétrica. A utilização destas lâmpadas representa ainda uma redução significativa da exploração dos recursos naturais, pois, quanto menor o consumo de energia, menor será a necessidade de novas usinas para produzi-la.

Para a complementação do estudo, a nova proposta foi analisada também por simulação computacional utilizando o *software RETScreen Clean Energy Management*, ajudando a determinar a viabilidade energético-financeira e ambiental das medidas de melhoria da eficiência energética propostas neste trabalho para o bloco de salas de aulas, levando em consideração que a metodologia brasileira de certificação de eficiência energética de edificações não contempla a análise financeira em seus processos. Além disso, segundo Cursino (2011), ela também não permite a incorporação direta da avaliação do consumo de energia primária e das emissões de CO₂.

No processo de análise do *RETScreen* está inserido a contabilização da emissão de CO₂ (gás carbônico) que é outro requisito relevante a ser analisado, pois além do programa auxiliar na verificação da redução do consumo energético, também quantifica o potencial de mitigação dos impactos ambientais causados pelo ciclo de vida útil das edificações no que tange a redução das emissões de gases do efeito estufa.

Outra possível contribuição identificada para auxiliar a implantação das políticas de eficiência energética em edificações é a estimativa dos investimentos econômicos necessários para viabilização dos requisitos de eficiência estipulados, assim como a determinação do fator de retorno de capital (*payback*) necessário para se executar as medidas propostas (CURSINO, 2011). Com base no que foi anteriormente exposto, este trabalho visa contribuir com o processo brasileiro de etiquetagem, agregando a vantagem de se quantificarem os custos de implantação dos elementos propostos no projeto e/ou retrofit, verificando a viabilidade energético-financeira de projetos eficientes.

1.3.4 Organização da Dissertação

Esta pesquisa está estruturada em seis capítulos, compreendidos da seguinte forma:

Capítulo 1. INTRODUÇÃO inicia com uma breve apresentação da temática escolhida na pesquisa, a fim de contextualizar o tema da dissertação. Nesse capítulo constam as motivações do estudo e sua problematização que culminaram na formulação dos objetivos gerais e específicos que se pretende alcançar, justificados pela relevância do estudo proposto. Finaliza-se com a distribuição dos tópicos abordados durante o decorrer da pesquisa como embasamento teórico e técnico para desenvolvê-la.

Capítulo 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, que apresenta os principais conceitos obtidos por meio de revisão bibliográfica e documental sobre a eficiência energética voltada para edificações, que norteiam este estudo como, a arquitetura bioclimática, a sustentabilidade, assim como as principais certificações ambientais e energéticas mundiais mais relevantes, com destaque para a certificação Procel Edifica que é ferramenta crucial neste trabalho. Apresenta ainda uma abordagem a respeito do cenário financeiro e ambiental vinculado às construções sustentáveis e/ou energeticamente eficientes.

Capítulo 3. METODOLOGIA DE PESQUISA E ESTUDO DE CASO, expõe todas as etapas que conduzem a elaboração e aplicação da metodologia proposta para uma análise mais completa a respeito da *performance* energética de edificações não residenciais, acrescentando suas consequências econômicas e ambientais à metodologia atualmente empregada nos regulamentos das certificações. A apresentação da edificação que servirá como estudo de caso também ocorre nesse capítulo, possibilitando a continuidade da dissertação com a utilização da edificação e da metodologia no capítulo 4.

Capítulo 4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – ETAPAS 1, 2 e 3, dá início a aplicação da metodologia apresentada no capítulo 3, iniciando com o diagnóstico do nível de eficiência energética da envoltória do estudo de caso, através da aplicação do método

prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C. As etapas posteriores: 2 – análise crítica e 3 – elaboração de ações de melhoria dos sistemas também são empregadas nesse capítulo. Com isso, são apresentados e discutidos os resultados referentes à análise do RTQ-C a fim de demonstrar a prática da metodologia e seus desdobramentos.

Capítulo 5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – ETAPAS 4 e 5, concluindo a utilização da metodologia de pesquisa nesse capítulo, através do *software RETScreen 4.0*, serão avaliados três aspectos necessários à aprovação das medidas propostas (na 3ª etapa) para a estrutura ou equipamentos da edificação. Desse capítulo resultarão os diagnósticos energético, econômico e ambiental dos sistemas analisados.

Capítulo 6. CONCLUSÕES, são documentadas as conclusões observadas de acordo com os objetivos do trabalho, apresentam-se as considerações finais acerca da eficiência energética nas edificações, as limitações presentes na pesquisa e algumas recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTADO DA ARTE

2.1 Os múltiplos benefícios da Eficiência Energética

Segundo a Agência Internacional de Energia (2014), cotidianamente a percepção de que a eficiência energética contribui para que a sociedade possa alcançar um amplo leque de resultados que ajudam na melhoria do bem-estar, do cenário financeiro e ambiental, vem aumentando. Esses benefícios incluem várias vantagens macroeconômicas, aumento do acesso à energia, melhoria da qualidade dos serviços energéticos, redução da poluição atmosférica, entre outros.

A Agência Internacional de Energia (IEA, siga em inglês) refere-se ao conjunto de resultados advindos da eficiência energética como "benefícios múltiplos". Para ela o uso racional da energia resulta em benefícios que abrangem 15 áreas ilustradas na Figura 1.

Figura 1. Os múltiplos benefícios da eficiência energética.



Fonte: EIA 2014 apud Brasil, 2014.

Os múltiplos benefícios da eficiência energética correspondem aos objetivos almejados tanto pelo público em geral quanto pelos decisores políticos, tornando-se um grande propulsor da elaboração e implementação de ações voltadas as boas práticas no setor energético, por serem um poderoso sinal econômico e social.

Os benefícios mais amplos (geração de emprego e crescimento econômico, por exemplo) podem ser extremamente valiosos, tanto em termos econômicos como sociais, porém apenas as reduções da demanda de energia e as emissões de gases com efeito de estufa podem ser mensuradas de forma palpável (IEA, 2014).

Grande parte dos dados críticos sobre impactos mais amplos da eficiência energética são provenientes de modelagens e análises de cenários, além disso, segundo a Agência Internacional (2014), são encontrados fora do setor de energia. Embora essa análise disponibilize informações úteis, ela reflete a ausência de metodologias suficientemente maduras que meçam o escopo e a escala dessas vantagens mais amplas.

Consequentemente, o nível em que a eficiência energética pode contribuir no desenvolvimento da sociedade acaba não sendo suficientemente assimilado e, em geral, é somente considerado nos processos de decisão de políticas nacionais de forma qualitativa. Vale ressaltar que o conhecimento de dados mais concretos das vantagens, advindas de práticas energéticas racionais, pode instigar mais o interesse do público e dos formuladores de políticas, causando desdobramentos positivos em qualquer uma dessas áreas.

Sabe-se que a aplicação de uma avaliação precisa é complexa e desafiadora, entretanto é extremamente pertinente identificar e promover o desenvolvimento de métodos mais robustos para medir os benefícios múltiplos alcançados. Com isso, impulsionar para que esses importantes efeitos sociais e econômicos sejam mais integrados e avaliados para melhor auxiliar a tomada de decisão político-social do país.

2.2 Eficiência Energética em Edificações

O aumento do consumo energético dos edifícios, decorrente das necessidades em manter a qualidade e o conforto interno nos ambientes, é um tema que passou do debate ao estudo de suas origens e formas de diminuí-lo. Isso instigou a crescente e inevitável mudança do ciclo de vida dos edifícios (desde a elaboração, construção e utilização) serem adaptados rapidamente às mudanças climáticas – visando solucionar os desafios derivados das questões energéticas (MASCARÓ, 1985).

Portanto, estratégias para concretizar a redução do uso de energia na edificação foram traçadas nos últimos anos, gerando normas e métodos de avaliação e classificação do consumo energético, como é o caso das certificações energéticas e ambientais que serão abordadas posteriormente.

Antes de abordar as certificações é preciso destacar que a eficiência energética passa a fazer parte da arquitetura como uma necessidade a ser alcançada. Ela se caracteriza como “um

atributo inerente à edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários, com baixo consumo de energia" (LAMBERTS, 2014, pág. 5).

Para Gurgel (2012), o surgimento de termos como: Arquitetura Bioclimática, Arquitetura Sustentável, Ecoarquitetura, Arquitetura Passiva e outros, evidenciam a definição de uma arquitetura mais ambientalmente "responsável". Ela está pautada nas novas preocupações e novos enfoques da atualidade, como as mudanças climáticas, o uso de energias alternativas e da sustentabilidade.

Muito antes, Mascaró (1992) já afirmava que a arquitetura bioclimática permite a conciliação da forma com a matéria e a energia. Esta conciliação configura uma integração efetiva de todos esses parâmetros com a ajuda de instrumentos-síntese, tais como o uso dos dados climáticos, por exemplo. Na arquitetura bioclimática estão presentes os conceitos de Arquitetura Sustentável e de Casa Passiva, que também levam em consideração a sinergia entre as construções, os sistemas de transporte e os espaços públicos.

Sustentabilidade é um conceito definido por Lester Brown como a capacidade de uma comunidade de se manter e se abastecer sem prejudicar as gerações futuras. De uma forma abrangente, a ela estão relacionados os aspectos econômicos, sociais e culturais, além das questões ambientais. Em destaque, a década de 90 foi o período de desenvolvimento e maturidade dos conceitos de sustentabilidade, quando ocorreu a Rio 92 - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

A partir desse momento, o conceito foi muito divulgado tornando-se mais amplo (incluindo temas como energia, água, extração de matéria-prima, resíduos sólidos e líquidos, poluição atmosférica, saúde e segurança, fauna e flora). Hoje em dia, as principais áreas que envolvem a sustentabilidade nas edificações são (informação verbal)¹:

- Questão urbana;
- Uso da energia;
- Uso da água;
- Qualidade do ar;
- Materiais de construção;
- Etapa de construção;
- Conforto;
- Acessibilidade;
- Geração de resíduos durante o uso da edificação;

¹ FERNANDES, Júlia. 2º Workshop Online Gratuito - Edifícios Sustentáveis e Eficientes, 2017. Disponível em: <https://app.webinarjam.net/replay/25055/18be6edb9e/0/iE141208154um>>. Acessado em: 19 de julho de 2017.

- Relação da edificação com a economia local;
- Gestão da edificação;
- Adequação da edificação aos aspectos sociais e culturais;

O equilíbrio de tudo isso depende das ações humanas, pois a Terra está vivendo no limite de sustentação de seus recursos naturais e a sobrevivência humana depende deles. Já o conceito de Casa Passiva foi desenvolvido na Alemanha há muitos anos e tem sido utilizado no mundo todo como base para uma arquitetura sustentável. A respeito disso Gurgel (2012, pág.9) afirma que:

uma edificação passiva interage com o meio ambiente à sua volta. São edifícios cujos projetos são pensados tendo em conta o terreno em que serão construídos, os ângulos de incidência da luz solar durante o ano, as correntes de ar, a massa térmica dos materiais a serem empregados na construção: tudo para que possa obter o máximo de eficiência energética, garantindo conforto térmico e iluminação para seus moradores.

Nos projetos do Design Passivo, tecnologia, conforto, bem-estar e meio ambiente se conjugam de forma eficiente. Gurgel (2012) estipula que os seis princípios do Design Passivo são:

- Adaptação ao clima;
- Orientação correta da construção;
- Aberturas (janelas e portas) bem posicionadas e protegidas;
- Utilização da massa térmica;
- Isolamento térmico; e
- Ventilação cruzada.

Durante o processo de elaboração do projeto arquitetônico cada decisão tomada pelo arquiteto e sua equipe influencia o desempenho térmico e luminoso do edifício. Para que o projeto tenha uma boa *performance*, é importante que estas decisões sejam baseadas no conhecimento das variáveis e conceitos que envolvem a eficiência energética e o conforto ambiental. Estes conceitos e análises devem incorporar-se naturalmente ao processo de projeto desde o programa de necessidades (LAMBERTS, 2014).

O campo de atuação do arquiteto em termos de eficiência energética na edificação abrange principalmente os setores residencial, comercial e público. Com base nos dados do Balanço Energético Nacional - BEN de 2016, as edificações são responsáveis por 51% do consumo de energia elétrica no Brasil. No âmbito internacional, este valor é de 45% nos Estados Unidos e na Europa. Assim, o ambiente construído representa uma poderosa e

necessária alavanca para mudar fundamentalmente os padrões de consumo de recursos naturais e energéticos, além de responder à grave realidade das mudanças climáticas (KATS, 2014).

As edificações contribuem muito para o gasto de energia elétrica, pois demandam dela para atender os sistemas de iluminação artificial, refrigeração e equipamentos elétricos. Estes que, somados a ocupação predial (usuários) e trocas térmicas entre o ambiente interno e externo, produzem carga térmica que deve ser neutralizada pelo sistema de condicionamento de ar (refrigeração, no caso de climas quentes). Requerendo ainda mais energia para atingir temperaturas dentro da zona de conforto.

Portanto, a obtenção de uma edificação energeticamente eficiente é feita através de um conjunto de ações – sobretudo ainda na fase de projeto – que intervenham principalmente na envoltória. Esta, por sua vez, é a principal responsável pela oferta de iluminação natural e pelas trocas térmicas entre os ambientes interno e externo (OLIVEIRA, 2013).

Em 2010, Serafin desenvolveu um trabalho focado na avaliação da redução da demanda e dos gastos energéticos em edificações, após a aplicação de estratégias de eficiência energética. Ao realizar um estudo de caso no prédio da Sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A., em Florianópolis (zona bioclimática 03), foi constatada a efetividade do *retrofit* na redução de 57% da demanda para o sistema de iluminação e de 75% para o sistema de condicionamento de ar. O estudo também mensurou a redução total anual de consumo da edificação em 23%, ressaltando que as principais ações adotadas para alcançar esse resultado satisfatório foram, além das trocas dos sistemas de iluminação e climatização, as mudanças na cobertura da envoltória.

Zemero (2016) estudou a etiquetagem em edificações sob a ótica da viabilidade do uso da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) aplicada em um estudo de caso onde foi analisada a inserção dos *softwares* para melhorar a eficiência energética na atividade projetual arquitetônica. A tecnologia BIM serviu como ferramenta multidisciplinar integrada as metodologias de etiquetagem nacional e projetos de sustentabilidade.

O uso energético em um edifício pode ser racionalizado se o arquiteto conseguir reduzir o emprego da iluminação artificial, do condicionamento de ar e do aquecimento de água. Neste cenário, o que se destaca são basicamente algumas ideias a serem alcançadas no processo de concepção arquitetônica: usar sistemas naturais de condicionamento e iluminação sempre que possível; usar sistemas artificiais mais eficazes; buscar a integração entre os dois (artificial e natural); e investir em tecnologia para aquecimento solar, etc.

ROMÉRO e REIS (2012) entendem que o papel primordial da arquitetura para atenuar os efeitos climáticos indesejáveis aos seres humanos deve ser cumprido. E evitar o impacto contrário que as construções atuais estão causando, ao majorar essas consequências desagradáveis. Portanto, vale ressaltar também algumas das tecnologias ativas, passivas e proativas, que podem ser utilizadas como instrumento de mudança desse contexto.

Tecnologias Passivas

- Materiais de construção opacos e translúcidos aplicados em função da forma;
- Tirar proveito das condições climáticas locais;
- Fator de forma;
- Investigar a influência dos edifícios vizinhos no projeto;
- Os protetores solares exteriores;
- A possibilidade de captação da luz natural sem elevar excessivamente a carga térmica; etc.

Tecnologias ativas

- Lâmpadas adequadas para os ambientes internos e externos;
- Dimensionamento e divisão espacial corretos dos circuitos elétricos;
- Colocação de sensores de presença em áreas de circulações e ambientes de permanência transitória; etc.

Tecnologias proativas

- Coletores solares para geração de calor para aquecimento de água;
- Painéis fotovoltaicos para a geração de energia elétrica;
- Turbinas eólicas de pequeno porte para a geração de energia elétrica; e
- Outras fontes de energia geradoras de eletricidade ou calor, implantadas nos edifícios.

Ao se apoderar do uso dessas tecnologias a arquitetura deve reassumir o papel preponderante que sempre teve, que é o de minimizar os efeitos climáticos e não intensificar, ou agravá-los. Reconectando, assim, a satisfação completa do usuário com a qualidade do bem-estar interno e a atratividade intrínseca na estética arquitetônica.

Na percepção de Mascaró (1992, pág.17):

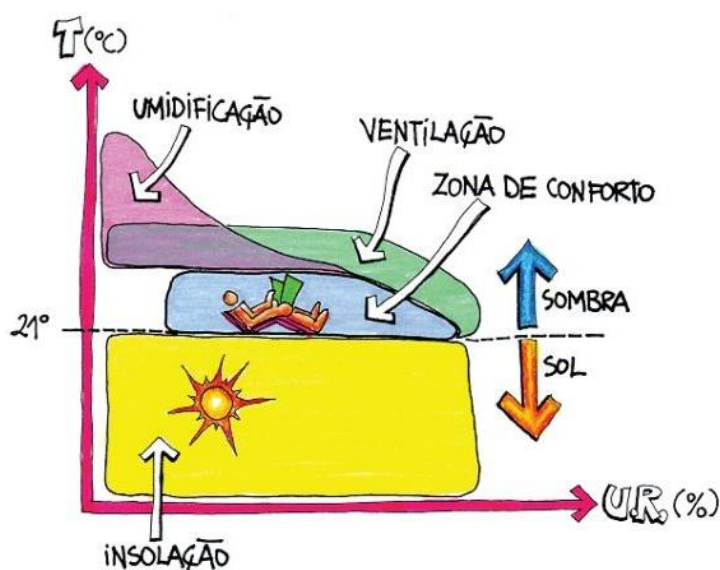
a arquitetura deve evitar o desperdício. Contudo, sem aceitar restrições indevidas. Não se trata de deduzir diretamente a forma das novas edificações a partir de modelos abstratos de grandes vantagens energéticas, mas de desenvolver técnicas de composição para elaborar um projeto arquitetônico energeticamente compatível com a realidade nacional e regional.

Pautado na reflexão feita por Mascaró pode-se entender que construir com o clima se converte em uma obrigatoriedade, quando se analisa o panorama mundial e local da evolução da demanda em relação à oferta de energia. Depois de um longo período de uso intensivo da energia se instaurou a crise energética global, entrando em cena a quebra de paradigma sobre o modelo de economia mundial vigente "consumista-esgotador", que tem como única referência o sistema produção-consumo. Esse modelo tem-se mostrado falho e, portanto, questionável (MASCARÓ, 1985).

Buscando atender a necessidade de se construir com o clima é imprescindível falar do diagrama bioclimático, conhecido como Carta Bioclimática. Desenvolvido por Olgyay, ele propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima. A Figura 2, com o gráfico da carta bioclimática, possui a zona de conforto localizada no centro e os elementos climáticos indicados com curva ao redor, onde fornecem as medidas necessárias de correção para restabelecer a sensação de bem-estar em qualquer ponto fora da área de conforto indicada na Figura 3 com o gráfico esquemático da carta bioclimática adotada para o Brasil (OLIVEIRA, 2013).

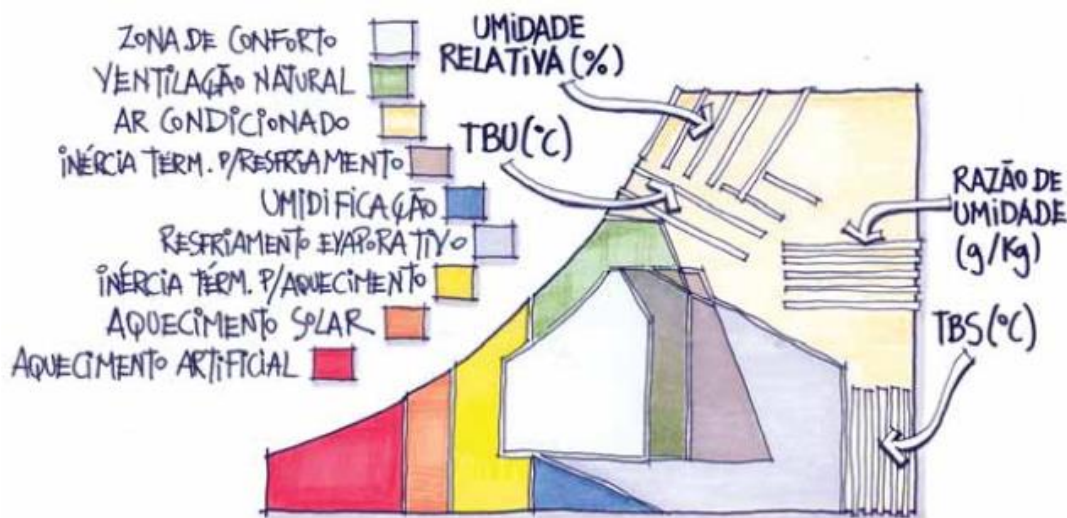
A Carta Bioclimática para Edifícios foi concebida por Givoni, adaptada sobre uma carta psicométrica. Foram corrigidas algumas limitações do diagrama idealizado por Olgyay, propondo estratégias construtivas para adequar a arquitetura ao clima. A carta de Givoni é adaptada para países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, onde os limites máximos de conforto da carta foram expandidos.

Figura 2. Carta Bioclimática de Olgyay.



Fonte: Lamberts, 2014.

Figura 3. Carta Bioclimática adotada para o Brasil.



Fonte: Lamberts, 2014.

A carta é uma maneira de ilustrar a aplicação de princípios de desenho e a seleção de materiais para adequar o edifício ao clima, onde o autor separa as características climáticas que exercem influência no conforto fisiológico das respostas térmicas dos edifícios ou no conjunto de edifícios. Ele ainda analisa por meio de cálculos diversos, os efeitos térmicos das coberturas, a umidade nos edifícios, o impacto da radiação solar sobre eles, a orientação e seus efeitos nas condições do clima interno.

O Brasil, devido sua grande extensão territorial, é dividido em vários climas (equatorial, tropical, semiárido, subtropical, tropical litorâneo e tropical de altitude). Cada clima detém características específicas que deverão ser levadas em consideração para uma melhor adequação do envelope do edifício à região onde ele está inserido (OLIVEIRA, 2013)

Com as transformações climáticas do planeta e com a longa vida útil das edificações (em média 50 anos) é importante conhecer as estratégias bioclimáticas aplicadas para cada diferente região, levando em consideração o local onde a construção está inserida. Por conta disso, as normas técnicas de desempenho térmico de edificações são de extrema importância colaborativa no processo de concepção arquitetônica ou de proposta de *retrofit* energético.

A norma técnica de desempenho térmico de edificações NBR 15220 é composta por cinco partes:

NBR 15220-1: Definições, símbolos e unidades;

NBR 15220-2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

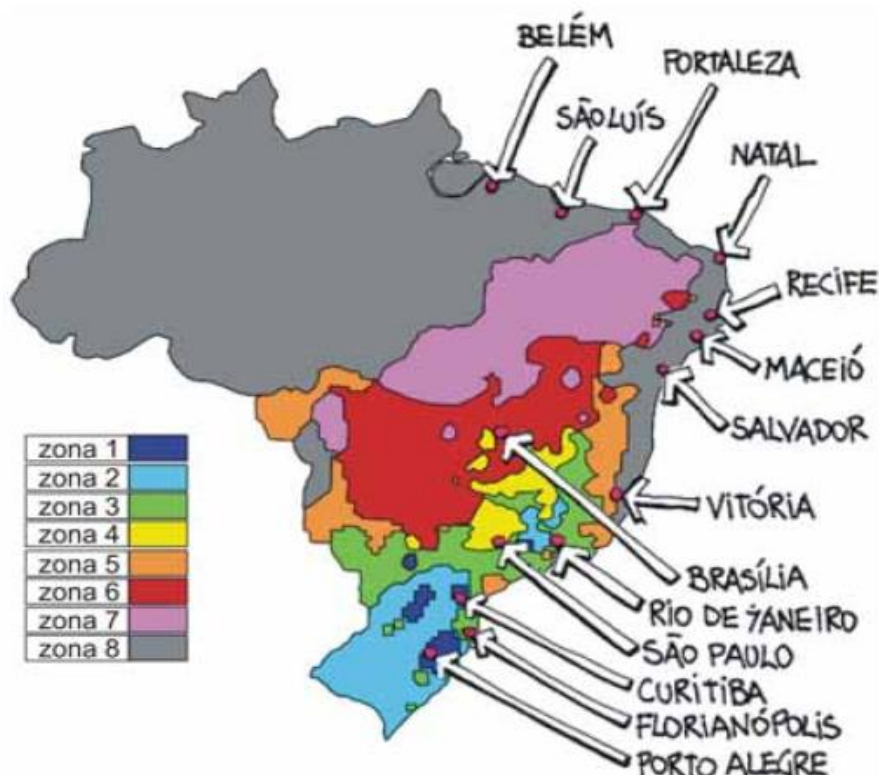
NBR15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro, e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

NBR15220-4: Medição da resistência térmica, e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

NBR15220-5: Medição da resistência térmica, e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A parte 3 da norma estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, subdividindo o país em oito Zonas Bioclimáticas, conforme a Figura 4. Com isso, definiu-se as principais características regionais com diretrizes construtivas para cada uma destas zonas em relação ao tamanho das aberturas, ao sombreamento necessário, ao tipo ideal de paredes e coberturas e também às estratégias bioclimáticas mais recomendadas para o local.

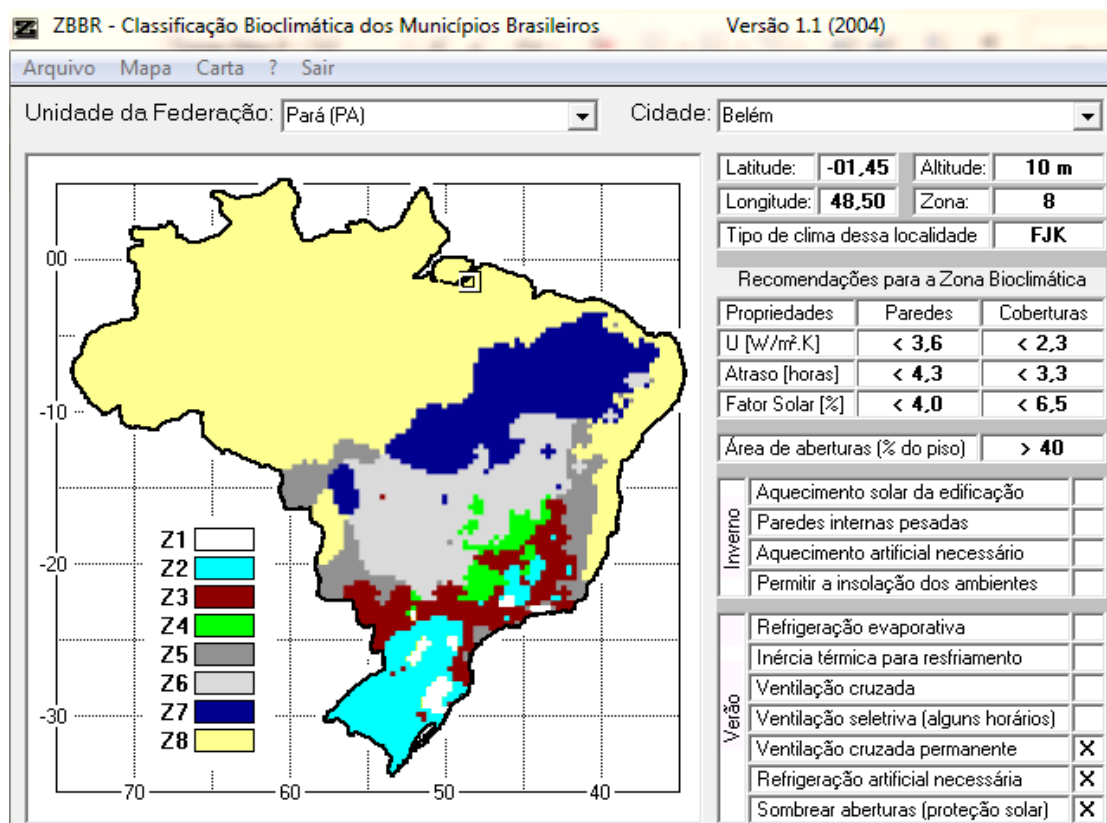
Figura 4. Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: Lamberts, 2014.

A cidade de Belém está incluída na Zona Bioclimática 8, onde suas principais diretrizes construtivas são: o uso de aberturas grandes e totalmente sombreadas, o uso de paredes e coberturas leves e refletoras e o uso de ventilação cruzada permanente durante o ano todo. A Figura 5 mostra um resumo dessas diretrizes indicadas pela norma, geradas pelo software Zoneamento Bioclimático Brasileiro - ZBBR, disponibilizado pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Figura 5. Zoneamento Bioclimático aplicado à cidade de Belém.



Fonte: Zoneamento Bioclimático do Brasil – UFSCar.

A importância dessas diretrizes construtivas estipuladas pelo zoneamento bioclimático, conceitos do design passivo, arquitetura bioclimática, e prática de técnicas ecologicamente sustentáveis são a incorporação delas como instrumento às mais diversas ações e políticas para embasar as certificações ambientais e de eficiência energética.

2.3 Certificações Ambientais e de Eficiência Energética em Edificações

Com a escassez e o uso excessivo dos recursos naturais o mundo se viu obrigado a repensar seus modelos e tentar novos padrões de consumo. Os regulamentos energéticos para o setor de edifícios surgiram na chamada ‘década da energia’ (1970), e continuam se proliferando por uma quantidade cada vez maior de países. Surgiram também as políticas de incentivo e ações governamentais (de caráter voluntário) que visam promover determinadas práticas de eficiência energética ou de uso de uma determinada alternativa ou fonte de energia.

Já as políticas voluntárias/certificações, vieram para agregar valor a uma determinada edificação, como os selos verdes, por exemplo. Por fim, têm-se as políticas voluntárias utilizadas como força de lei, que mesmo possuindo origem voluntária se tornam obrigatórias por determinação de governos municipais, estaduais ou federais.

Em destaque, a década de 90 foi o período de desenvolvimento e maturidade dos conceitos de sustentabilidade, quando ocorreu a Rio 92 - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. A partir desse momento, o conceito foi amplamente divulgado e se tornou mais abrangente (incluindo temas como energia, água, extração de matéria-prima, resíduos sólidos e líquidos, poluição atmosférica, saúde e segurança, fauna, flora, etc.). Já as certificações ambientais “tratam fundamentalmente de cinco grupos de assuntos: local, água, energia, matérias e qualidade do ambiente interior”. (ROMÉRO e REIS, 2012, pág. 75).

A década de 1990, é considerada um marco histórico onde se deu o rápido surgimento e proliferação das certificações ambientais ao redor do mundo. Elas refletiam as especificidades climáticas e construtivas do seu país de origem. Entretanto, algumas delas difundiram-se rapidamente para outros países, a exemplo do *Leed* norte-americano. Outras também encontraram abrigo fora do seu país de origem, mas sofreram adaptações locais, com foi o caso da Francesa *HQE*, adaptada para o Brasil como selo *AQUA*. Foi também nesta década que surgiu o primeiro sistema de certificação ambiental de edifícios: Sistema *BREEAM*.

2.3.1 BREEAM

A certificação *BREEAM* - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* foi desenvolvida no Reino Unido, pela *Building Research Establishment* (BRE), em 1990. Esta certificação britânica é destinada para a construção ou reforma de: edifícios públicos, comerciais e residenciais em geral; além de loteamentos e bairros (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LTD, 2015). O *BREEAM*, assim como as demais certificações também possui critérios a serem avaliados:

- Gestão da construção;
- Consumo de Energia;
- Consumo de Água;
- Poluição;
- Materiais;
- Saúde e Bem-estar;
- Transporte;
- Desperdício;
- Uso da terra; e
- Inovação.

A obtenção do selo agrega benefícios fiscais no Reino Unido, redução de impactos urbanos das edificações, melhor qualidade de vida do usuário, redução geral do impacto ambiental na vida útil, menores custos de manutenção e infraestrutura.

2.3.2 LEED

A organização sem fins lucrativos USGBC (*United States Green Building Council*), criada em 1993 nos Estados Unidos, desenvolveu a Certificação LEED - *Leadership in Energy & Environmental Design* (Liderança em Energia e Design Ambiental). O LEED é o sistema de certificação comercial mais divulgado e aplicado internacionalmente, presente em cerca de 150 países. No Brasil, ele está representado pelo GBC Brasil, criado em 2007 (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2014).

Esta certificação americana é destinada para empreendimentos e bairros sustentáveis, com um abrangente programa que avalia desde o desenvolvimento sustentável local até o bem-estar dos ocupantes. O LEED avalia diversos fatores do projeto, o que chamam de Categorias. São elas:

- Localização e Transporte (*Location and Transportation – LT*);
- Terrenos Sustentáveis (*Sustainable Sites – SS*);
- Eficiência da Água (*Water Efficiency – WE*);
- Energia e Atmosfera (*Energy and Atmosphere – EA*);
- Materiais e Recursos (*Materials and Resources – MR*);
- Qualidade do Ambiente Interno (*Indoor Environmental Quality – EQ*);
- Inovação em Design (*Innovation in Design – IN*);
- Prioridades Regionais (*Regional Priorities – RP*).

Cada categoria citada acima possui Pré-requisitos (itens que são obrigatórios para o projeto atender) e Créditos (itens que dão pontuação ao projeto). O LEED pontua edifícios, de 40 a 110 pontos e assim um projeto pode ser considerado *Certified*, *Silver*, *Gold* ou *Platinum*, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6. Níveis de Certificação LEED.



Fonte: www.usgbc.org/leed.

Tipos de Certificação:

- *New Construction and Major Renovations* (LEED NC, para novas construções ou grandes projetos de renovação);
- *Existing Buildings Operations and Maintenance* (LEED EB_OM, para projetos de manutenção de edifícios já existentes);
- *Commercial Interiores* (LEED CI, para projetos de interior ou edifícios comerciais);
- *Core and Shell Development* (LEED CS, para projetos na envoltória e parte central do edifício);
- *Retail* (LEED *Retail* NC e CI, para lojas de varejo);
- *Schools* (LEED *Schools*, para escolas);
- *Homes* (casas);
- *Neighborhood Development* (LEED ND, para projetos de desenvolvimento de bairro);
- *Healthcare* (LEED *Healthcare*, para unidades de saúde).

O processo da Certificação LEED, inicia com: o registro do projeto (no site www.usgbc.org); coleta de informações pelo time de projetos; cálculos e preparação de memoriais e plantas; envio da primeira fase (Projetos - ao GBC Americano); Coleta e preparação de documentos da segunda fase; Envio da segunda fase (Construção Final); Treinamento para ocupação; Pré-operação e pós entrega; Análise para certificação.

Em janeiro de 2013, o LEED ganhou uma nova versão, a v4, projetada para reduzir ainda mais as emissões de CO₂ das edificações. Benefícios: valorização do produto na venda/locação, redução de impactos urbanos das edificações, melhor qualidade de vida do usuário, redução geral do impacto ambiental na vida útil, menores custos de manutenção e infraestrutura.

O Selo Procel Edificações pode ser utilizado como caminho alternativo para comprovar a conformidade com as exigências do pré-requisito de desempenho energético mínimo no processo de obtenção da certificação internacional de construções sustentáveis LEED, eliminando uma etapa e contribuindo para acelerar e facilitar o processo. O critério de equivalência é válido para edificações comerciais, públicas e de serviços localizadas em todo o território nacional, exceto as destinadas à assistência médica, data centers, instalações industriais, armazéns e laboratórios.

2.3.3 AQUA

O selo AQUA (Alta Qualidade Ambiental), foi criado no Brasil em 2007 pela Fundação Vanzolini em parceria com o instituto francês *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), e desenvolvido pelos professores da Escola Politécnica da USP. A criação da certificação brasileira AQUA é uma versão das normas de construção sustentáveis, adaptada da metodologia francesa HQE – *Haute Qualité Environnementale*, do órgão *Certivéa* (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2015).

O sistema AQUA estabelece 14 critérios de análise divididos em 4 categorias que avaliam a gestão ambiental das obras e as especificidades técnicas e arquitetônicas. Em cada um dos critérios a edificação pode receber a qualificação de bom, superior ou excelente devendo a mesma ter no mínimo três critérios excelentes e, no máximo, sete critérios bons.

Os critérios avaliados são: eco construção, que visa à relação do edifício com o seu entorno, escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos e canteiro de obras com baixo impacto ambiental; eco gestão, englobando a gestão da energia, da água, dos resíduos de uso/operação do edifício e manutenção e permanência do desempenho ambiental; conforto abrangendo, o conforto higrotérmico, acústico, visual e olfativo; e saúde, no que se refere a qualidade sanitária dos ambientes, do ar e da água.

Tipos de Certificação: edifícios habitacionais; escritórios e edifícios escolares; renovação; hospedagem, lazer, bem-estar, eventos e cultura; bairros e loteamentos. São realizadas três auditorias ao longo do projeto e da obra. A primeira que é a certificação da Fase do Programa; a segunda etapa referente à Fase de Concepção; e a terceira etapa referente a Fase de Realização.

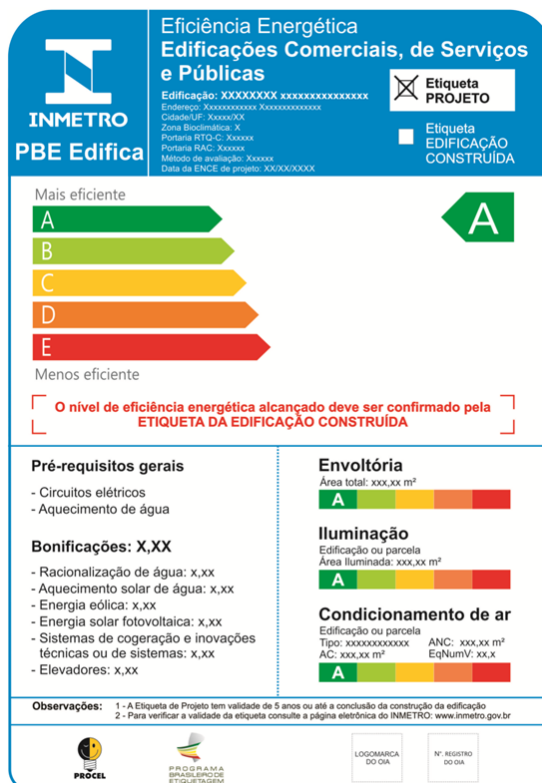
Benefícios: qualidade de vida do usuário; economia de água e energia; disposição de resíduos e manutenção; contribuição para o desenvolvimento social, econômico e ambiental da região.

2.3.4 PROCEL EDIFICA

É uma certificação brasileira desenvolvida em 2003 pelo Ministério de Minas e Energia e das Cidades, em parceria com Universidades e Centros de Pesquisa. O Procel Edifica pode ser considerado mais como uma “etiquetagem” ou identificação do que um certificado, considerando que ele apenas classifica o desempenho de uma edificação. Essa certificação é destinada às edificações residenciais e não residenciais (prédios comerciais, de serviços e públicos).

A ENCE oferece informações, que facilitam a definição de ações para pautar atitudes em prol da sustentabilidade, pois informa o mercado e os consumidores sobre o nível de eficiência no uso da energia e da água, com níveis de “A” (maior eficiência) a “E” (menor eficiência). É a etiqueta de conformidade ao atendimento dos requisitos e pré-requisitos estipulados na avaliação do desempenho energético da edificação, ver Figura 7. Pode ser concedida em dois momentos distintos: na fase de projeto, e após a construção do edifício.

Figura 7. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).



Fonte: Procel Info.

Para a análise da edificação o regulamento estipula critérios avaliados. Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas:

- Envoltória;
- Iluminação e;
- Condicionamento de ar.

A etiqueta pode ser concedida de forma parcial, desde que sempre contemple a avaliação da envoltória. Nos edifícios residenciais são avaliados:

- Envoltória;
- O sistema de aquecimento de água, e

- Os sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares (iluminação, elevadores, bombas centrífugas etc.).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica- PROCEL promove o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais. O objetivo é incentivar a elaboração de projetos que aproveitem ao máximo a capacidade de iluminação e ventilação natural das construções.

2.4 Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C.

A Eficiência Energética em Edificações é uma combinação de técnicas e estratégias estipuladas pela arquitetura bioclimática, aplicadas ao projeto arquitetônico, a fim de trabalhar as intempéries climáticas para possibilitar o conforto ambiental da edificação, aliada a utilização de equipamentos e sistemas eficientes que minimizam a utilização de energia elétrica.

Com base nisso, a classificação da edificação, pelo RTQ-C, é obtida através da avaliação de três sistemas individuais e de seus respectivos pesos: envoltória (Env) que possui um peso de 30% em relação ao consumo de energia elétrica da edificação; o sistema de iluminação (DPI) também com peso de 30%; e o sistema de condicionamento de ar (CA) contendo um peso de 40% (mais elevado por obter a maior despesa de energia elétrica destinada para este fim).

Esses sistemas são analisados por equações, tabelas e parâmetros limites, sendo obtida uma pontuação que indica o nível de eficiência parcial dos sistemas e geral do edifício. A equação 2.1 do regulamento, representada pela Figura 8, pondera estes sistemas através dos pesos estabelecidos e ainda permite somar à pontuação final, bonificações. Estas, podem ser adquiridas com inovações tecnológicas, uso de energias renováveis, cogeração ou com a otimização do aproveitamento de recursos hídricos.

Por equações, tabelas e parâmetros limites, é obtida uma pontuação que indica o nível de eficiência parcial dos sistemas e geral do edifício; válido para edifícios condicionados artificialmente, ou parcialmente condicionados.

O número de pontos recebidos na avaliação de cada sistema individual representa o equivalente numérico, ou seja, um número de pontos correspondente à determinada eficiência, atribuídos de acordo com a Tabela 2.2 do regulamento (representada na Tabela 1), mas ainda não é o resultado da classificação final.

Figura 8. Equação 2.1 do RTQ-C. Cálculo PT - Pontuação Total.

$$PT = 0,30 \left\{ \left(\text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + 0,30 (\text{EqNumDPI}) + 0,40 \left\{ \left(\text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + b \cdot \frac{1}{0}$$

Envoltória Iluminação Condicionamento de Ar

Fonte: LINSE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

Onde:

PT: Pontuação Total com áreas não condicionadas (EqNumV);

EqNumEnv: é o equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: é o equivalente numérico do sistema de iluminação;

EqNumCA: é o equivalente numérico do sistema de ar condicionado;

EqNumV: é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT: área de piso de ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC: é a área de piso de ambientes não condicionados de permanência prolongada;

AC: área de piso de ambientes condicionados;

AU: área útil;

b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1.

A classificação geral da edificação é obtida na equação geral, de acordo com os valores correspondentes informados na Tabela 2.3 do RTQ-C, também representadas na Tabela 2.

Tabela 1. Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum).

Classificação	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Manual do RTQ-C, 2016.

Tabela 2. Tabela de Classificação Geral.

PT	Classificação Final
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: Manual do RTQ-C, 2016.

2.4.1 Procedimento de Determinação da Eficiência

O regulamento especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios, criando condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. O RTQ-C aplica-se a edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados. Edifícios de uso misto, tanto de uso residencial e comercial, como de uso residencial e de serviços ou de uso residencial e público, devem ter suas parcelas não residenciais avaliadas separadamente. “Estádios devem ser avaliados conforme o ANEXO IV” (RTQ-C, 2013).

A análise dessas edificações se dá através dos métodos prescritivo ou de simulação. O método prescritivo é baseado em equações e tabelas com valores pré-definidos, já o método de simulação é a representação simplificada de uma realidade, portanto, compara-se o desempenho do edifício proposto (real) com um edifício similar (de referência), cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido. Lembrando que, segundo o regulamento, é recomendado utilizar o método de simulação ou ferramentas de simulação simplificadas em edificações que possuem um grande percentual de abertura de fachada total (PAFt), os vidros possuem alto desempenho e/ou os elementos de sombreamento são diferenciados por orientação (RTQ-C, 2013).

Para as áreas de permanência prolongada, no caso de edifícios que possuem áreas não condicionadas, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas. Edifícios totalmente ventilados naturalmente podem receber a ENCE Geral, desde que se comprove (por simulação computacional) que os ambientes atendem às temperaturas de conforto.

Os edifícios podem ter a envoltória, o sistema de iluminação, e o sistema de condicionamento de ar avaliados separadamente, recebendo uma classificação parcial do nível de eficiência referente a cada um destes itens. Na classificação geral do edifício, as

classificações por requisitos devem ser avaliadas, resultando numa classificação final. Para isso, pesos são atribuídos para cada requisito, e de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de A - mais eficiente, a E - menos eficiente (RTQ-C, 2016).

Para classificação do sistema de iluminação, e do sistema de condicionamento de ar, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas; para a classificação da iluminação e condicionamento de ar, as parcelas devem ser iguais para que possam fazer parte da mesma ENCE. Para a avaliação da envoltória, o nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa.

A concessão da etiqueta será realizada nas diferentes fases:

- Projeto de nova edificação;
- Edificação construída, após o Habite-se;
- Edificação existente, após a reforma com vistas à melhoria da eficiência energética (*Retrofit*).

2.4.2 RTQ-C Pré-requisitos Gerais

Para o edifício ser elegível à etiquetagem, deve cumprir os seguintes requisitos mínimos, que podem interferir na classificação final da edificação rebaixando o nível de eficiência alcançado na pontuação final calculada, caso os pré-requisitos a seguir não sejam cumpridos:

Circuitos elétricos

Possuir circuito elétrico separado por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar, e outros; ou possuir instalado equipamento que possibilite medição por uso final. Exceções: hotéis, desde que possuam desligamento automático para os quartos; edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo; e edificações cuja data de construção seja anterior a junho de 2009.

Aquecimento de água

Para edificações com alta demanda de água quente, igual ou superior a 10% do consumo anual, devem apresentar uma estimativa da demanda de água quente:

- **Nível A:** Comprovar que 100% de água quente é atendida por um ou mais dos sistemas eficientes (aquecimento solar), e atender as condições de isolamento das tubulações descritas no regulamento;

- **Nível B:** Comprovar que um percentual igual ou maior de 70% de água quente é atendido por um ou mais dos sistemas eficientes (aquecimento solar), e atender as condições de isolamento das tubulações descritas no regulamento;
- **Nível C:** Sistema contemplado com aquecimento elétrico ou que comprove menos de 70% de aquecimento solar ou a gás;

2.4.3 RTQ-C Pré-requisitos Específicos

Além dos pré-requisitos gerais, há pré-requisitos específicos que devem ser atendidos para os três sistemas: Envoltória, Iluminação, Condicionamento de Ar e para a Simulação.

2.4.4 Bonificações

Além da pontuação obtida, o regulamento permite que a edificação aumente a eficiência recebendo até um ponto na classificação geral, com iniciativas que se caracterizam como sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, sistemas ou fontes renováveis de energia, etc. Porém, para que pontuem as iniciativas deverão ser justificadas e a economia gerada deve ser comprovada.

2.4.5 Análise da Envoltória

O método de classificação de eficiência da envoltória é feito através de duas equações, uma aplicada para os casos de edificações com área de projeção menor que 500m², e outra para edificações com área de projeção maior que 500m². Em caso de terraços ou edificações de forma irregular, Ape (área de projeção do edifício) deve ser considerada como a área de projeção da edificação no plano horizontal. Além da Ape, essa equação é estipulada de acordo com a Zona Bioclimática (apresentada na NBR 15220 - Parte 3) onde a edificação está inserida, e do Fator de Forma da edificação. O valor final resulta no indicador de consumo da envoltória do edifício (ICenv).

O cálculo do indicador de consumo (IC) visa prever como a envoltória de um edifício vai impactar o seu gasto de energia. A envoltória protege o interior da edificação, portanto quanto mais exposto o interior da edificação, maior a troca térmica permitida entre o interior e o exterior. Assim, envoltórias com maiores trocas térmicas implicam em elevados ganhos de calor em climas mais quentes (radiação solar, temperatura, etc.) ou maiores perdas de calor em climas frios (MANUAL RTQ-C, 2016).

Procedimento para classificação:

O ICenv proposto deve ser calculado com as equações 3.3 a 3.12 do RTQ-C, de acordo com a cidade e Zona Bioclimática onde o edifício está inserido. A cidade de Belém, onde está inserido o prédio do Bloco de Salas de Aulas do Campus Básico da UFPA, está classificada como zona bioclimática 8.

Conforme estipula o regulamento, para esta Zona são propostas duas equações para a determinação do Indicador de Consumo: a equação (1) (3.11 do RTQ-C), para edifícios com área de projeção menor ou igual que 500m² com um limite máximo para o Fator de Forma=0,48; e a equação (2) (3.12 do RTQ-C), para edifícios com área de projeção maior que 500m² com limite mínimo para o fator de forma igual a 0,17.

(1)

$$IC_{env} = 454,27 \cdot FA - 1641,37 \cdot FF + 33,47 \cdot PAFT + 7,06 \cdot FS + 0,31 \cdot AVS - 0,29 \cdot AHS - 1,27 \cdot PAFT \cdot AVS + 0,33 \cdot PAFT \cdot AHS + 718$$

(2)

$$IC_{env} = -160,36 \cdot FA + 1277,29 \cdot FF - 19,21 \cdot PAFT + 2,95 \cdot FS - 0,36 \cdot AVS - 0,16 \cdot AHS + 290,25 \cdot FF \cdot PAFT + 0,01 \cdot PAFT \cdot AVS \cdot AHS - 120,58$$

É importante destacar que para obter o ICenv, é necessário determinar alguns fatores, como o cálculo da transmitância térmica da parede e da cobertura; o cálculo da absorptância térmica de superfícies; o cálculo do Fator Forma ($FF = A_{env}/V_{tot}$) e Fator Altura ($FA = A_{p_{cob}}/A_{tot}$); encontrar o Percentual de Abertura na Fachada total (PAFt); estipular os Ângulos de Sombreamento Horizontal e Vertical (AHS e AVS); contabilizar a área total da edificação e analisar os limites do Fator Forma.

O IC obtido deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E.

Depois de encontrar equação ICenv com os dados do projeto do edifício, calcula-se o limite máximo do indicador de consumo para aquela volumetria, ICmáxD, por meio da mesma equação, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 3.2 do regulamento (representada pela Tabela 3, abaixo); o ICmáxD representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E;

Tabela 3. Parâmetros do ICmáxD.

ICmáxD	PAFt	FS	AVS	AHS
	0,6	0,61	0	0

Fonte: RTQ-C, 2013.

Calcula-se o limite mínimo $IC_{mín}$ por meio da equação, com os parâmetros fornecidos pela tabela 3.3 do regulamento (representada pela Tabela 4). O $IC_{mín}$ representa o menor valor para aquela volumetria.

Tabela 4. Parâmetros do $IC_{mínD}$.

$IC_{mínD}$	PAFt	FS	AVS	AHS
	0,05	0,87	0	0

Fonte: RTQ-C, 2013.

Os limites $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$ representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação que varia de A a E.

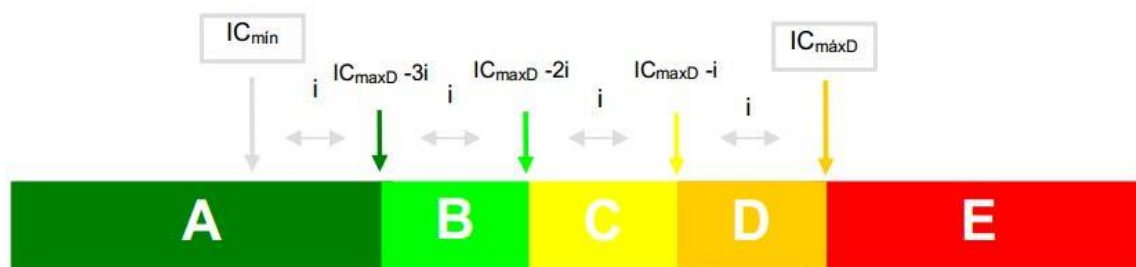
A divisão “i” do intervalo é calculada com a equação (3).

(3)

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{mín})}{4}$$

Com o valor do $IC_{máxD}$, $IC_{mín}$ e i calculados, preenche-se a tabela mostrada na Figura 9:

Figura 9. Ilustração do Cálculo de IC.



Fonte: RTQ-C, 2013.

Pré-Requisitos específicos da envoltória

Para o atendimento aos pré-requisitos específicos, deve-se analisar os componentes construtivos que compõem a estrutura da envoltória da edificação (paredes das fachadas e cobertura). Essa análise é de extrema importância já que a envoltória de qualquer edificação é a principal camada receptora das intempéries climáticas, sendo responsável pelas trocas térmicas que o ambiente interno vai sofrer.

- **Transmitância térmica (U)**

Levando em consideração as Zonas Bioclimáticas, a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) de ambientes condicionados artificialmente e das paredes externas (U_{par}), não deve ultrapassar os seguintes limites (Tabela 5):

Tabela 5. Síntese dos limites de Transmitância (U) de parede e cobertura por nível de classificação.

Transmitância W/m²°C Elemento Construtivo	Zona Bioclimática	Nível A		Nível B		Nível C e D	
		Cond.	Não Cond.	Cond.	Não Cond.	Cond.	Não Cond.
Ucob	1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
	3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		
Upa	1 e 2	1,0		2,0		3,7	
	3 a 6	3,7		3,7			
	7 e 8	2,5 CT < 80KL/m²K	3,7 CT > 80KJ/m²K	2,5 CT < 80KJ/m²K	3,7 ct > 801kj/m²K	2,5 CT < 80KJ/m²K	3,7 CT > 80KJ/m²K

Fonte: Linse, 2016.

• Cores e Absortância (α) de Superfície

Utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absortância solar com $\alpha < 0,5$ do espectro solar. Em coberturas, também se deve utilizar cor de absortância solar baixa $\alpha < 0,5$.

Outra alternativa é o uso de telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água, pois considera-se que, independentemente do valor da absortância solar, estas coberturas apresentam bom desempenho térmico.

Em edificações situadas na Zona Bioclimática 1 (cidades mais frias do Brasil, como Curitiba), não é necessário cumprir com esse pré-requisito, para permitir absortâncias elevadas que possam aumentar os ganhos térmicos por radiação nos edifícios no inverno, possibilitando uma calefação natural, consequentemente, reduzindo os gastos energéticos (LINSE, 2016).

A especificação dos valores referentes à absortância solar dos materiais empregados na edificação, devem ser obtidos diretamente com o fabricante do material, ou através da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). A verificação deste pré-requisito é a média ponderada de cada parcela de fachada ou cobertura pela área que ocupam.

• Iluminação Zenital

Para conseguir a classificação com nível máximo "A", as edificações que possuam abertura zenital devem atender os valores limites para o Fator Solar Máximo do vidro $FS_{m\acute{a}x}$, ou do sistema de aberturas, para as porcentagens de abertura zenital PAZ, segundo a tabela estipulada pelo regulamento técnico e apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Limites de fator solar de vidros e de percentual de abertura zenital para coberturas.

PAZ	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
FS	0,87	0,67	0,52	0,30

Fonte: RTQ-C, 2013.

Em edificações que pretendem alcançar classificação A, mas que possuam percentual de abertura zenital maior que 5%, deve-se utilizar simulação computacional.

2.4.6 Sistema de Iluminação

A classificação para o Sistema de Iluminação visa avaliar a potência elétrica de iluminação instalada na edificação e as opções de acionamento e aproveitamento de luz natural, através de pré-requisitos e cálculos envolvendo a eficiência e o projeto luminotécnico (método prescritivo).

Pré-requisitos específicos do sistema de iluminação

O sistema de iluminação deve atender aos pré-requisitos específicos para cada nível pretendido, sendo sempre aplicados por ambiente, visando garantir que o sistema de iluminação só funcione quando for efetivamente necessário. Portanto, tem-se na Tabela 7:

Tabela 7. Relação entre pré-requisito e níveis de eficiência.

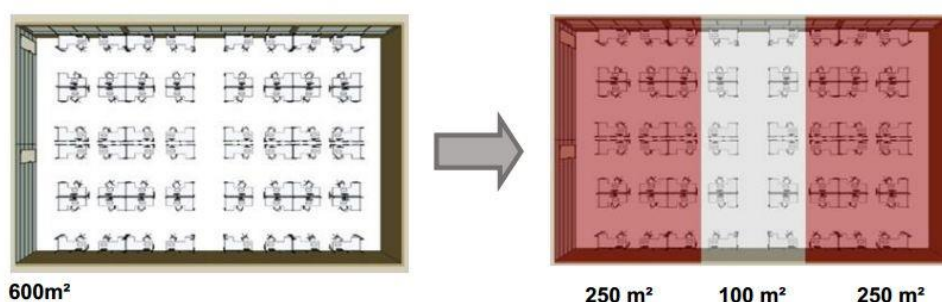
Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos Circuitos	SIM	SIM	SIM
Contribuição da Luz Natural	SIM	SIM	
Desligamento Automático do sistema de iluminação	SIM		

Fonte: RTQ-C, 2013.

- **Divisão dos Circuitos**

É destinado para o acionamento independente da iluminação interna de cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto, caracterizando-se pela setorização do ambiente, quando houver poucos usuários no local. A divisão é feita com a utilização de pelo menos um dispositivo de controle manual acessível, e que permita visão clara de todo o ambiente a ser iluminado. Para ambientes maiores do que 250m², cada dispositivo de controle instalado deve controlar: uma área de até 250m² para ambientes até 1000m²; uma área de até 1000m² para ambientes maiores do que 1000m², ver Figura 10.

Figura 10. Exemplo de divisão de zonas de controle de iluminação em um ambiente com mais de 250 m².

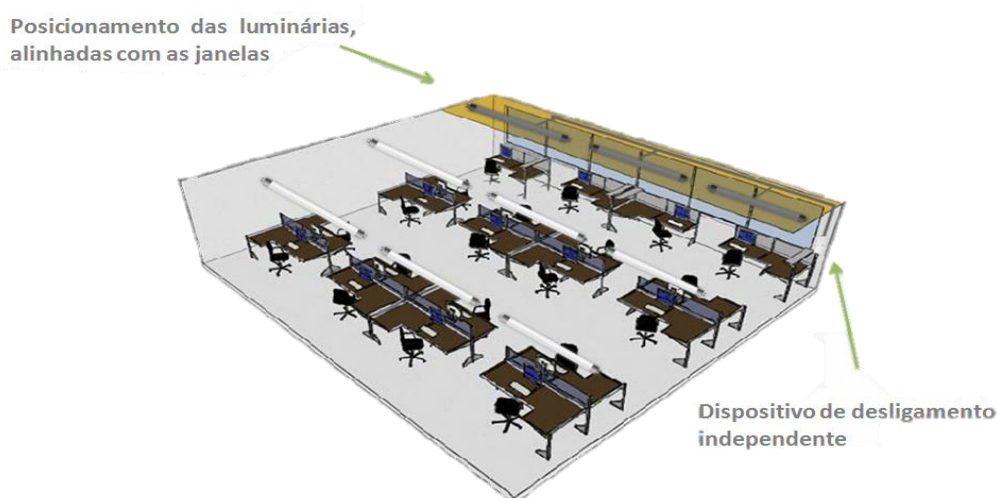


Fonte: INMETRO, 2016.

- **Contribuição da Luz Natural**

Visando reduzir a necessidade de uso da iluminação artificial, com o máximo aproveitamento da luz solar, este pré-requisito determina que ambientes que contenham mais de uma fileira de luminárias paralelas à (s) abertura (s) possuam dispositivo de desligamento (manual ou automático) independentemente do restante do sistema, ver Figura 11. Edificações com função de hospedagem são isentas dessa obrigatoriedade.

Figura 11. Circuitos com controle de acionamento individual de luminárias próximas às janelas.



Fonte: INMETRO, 2010.

- **Desligamento automático do sistema de iluminação**

O RTQ-C determina a utilização de dispositivos que garantam o desligamento dos sistemas de iluminação de forma automática quando ninguém se encontrar presente, visando evitar ambientes desocupados com iluminação artificial ativada. Portanto, o sistema de iluminação interna de ambientes maiores que 250m² deverá possuir um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação.

Esse sistema pode ser: um desligamento da iluminação em um horário pré-determinado; um sensor de presença que desligue a iluminação 30 minutos após a saída de todos os ocupantes; ou sistema de alarme que indique que a área está desocupada.

Procedimento de determinação da eficiência

O método da área do edifício, e o método das atividades do edifício, são as duas diferentes tipologias de avaliação, que classificam o sistema de iluminação pelo RTQ-C. Os métodos consideram a densidade de potência instalada limite (DPIL) para cada nível de classificação pretendido, além de verificar o atendimento aos três pré-requisitos específicos mencionados anteriormente. A escolha do método de avaliação do sistema de iluminação dependerá das atividades principais desenvolvidas na edificação.

Vale frisar ainda que, ao analisar a existência de muitas áreas de estacionamento cobertas, com aberturas para ventilação permanente e grande densidade de potência instalada, o RTQ-C passa a avaliar também sistema de iluminação de ambientes abertos e cobertos, a exemplo de alguns tipos de estacionamentos que tenham as características já citadas.

- **Método das Atividades**

É o segundo método do regulamento, aplicado nos casos em que o método das áreas não pode ser aplicado. Enquanto o método da área da edificação avalia o sistema de iluminação de forma geral, este método avalia separadamente cada ambiente e seu uso de forma individual. Considerando todas as atividades existentes nas edificações, é calculada a DPI (densidade de potência instalada) e comparada com a DPIL predeterminada para cada atividade do edifício.

Ainda proporciona uma bonificação, opcional, com o aumento da densidade de potência limite em função do espaço interno dos ambientes, gerando um aumento em 20% na densidade de potência de iluminação limite (DPIL) para ambientes com um índice de ambiente (K) menor, ou *Room Cavity Ratio* (RCR), maior que o definido nas tabelas do método. Ver equação (4) e (5) respectivamente.

(4) e (5)

$$K = \frac{A_t + A_{pt}}{A_p} \quad \text{ou} \quad RCR = \frac{2,5 \times H_p \times P}{A}$$

Onde:

K: índice do ambiente (adimensional);

At: Área de teto (m²);

Apt: Área do plano de trabalho (m²);

Ap: Área de parede entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m^2).

RCR: *Room Cavity Ratio* (adimensional);

Hp: Altura da parede (entre o plano iluminante e o plano de trabalho);

P: Perímetro do ambiente;

A: Área do ambiente (m^2).

Para a avaliação desse método deve-se, primeiramente, identificar adequadamente as atividades encontradas no edifício, de acordo com a Tabela 4.2 fornecida pelo RTQ-C; Em seguida, consultar a densidade de potência de iluminação limite (DPIL– W/m^2) para cada nível de eficiência para cada uma das atividades, estipulada na mesma tabela. Lembrando que, para atividades não listadas deve-se escolher uma atividade equivalente.

Encontra-se a potência limite para cada atividade, ao multiplicar a área iluminada de cada atividade pela DPIL. Já a potência limite para o edifício será dada pela soma das potências limites das atividades. Comparar a potência limite do edifício com a potência instalada no edifício, identificando o EqNum (equivalente numérico) do sistema de iluminação.

Por fim, verificar o cumprimento dos pré-requisitos por ambiente. O EqNum deverá ser corrigido através da ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos e a potência instalada e o nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação.

- **Método da Área do Edifício**

Através do método da área do edifício todos os ambientes são avaliados de forma conjunta, aplicando-se um único valor limite para o sistema de iluminação. A aplicação deste método é recomendada para edifícios que possuam até três atividades principais ou para atividades que ocupem mais de 30% da área da edificação. Este método define limites de densidade de potência em iluminação para edificações como um todo. Tais limites determinados pelo regulamento já admitem a existência de ambientes com funções secundárias, como copas, circulações, escadas e depósitos: desta forma são considerados apenas os valores das atividades principais da edificação.

Para a avaliação, deve-se seguir as seguintes etapas, segundo o RTQ-C:

- 1) Identificar a atividade principal do edifício, de acordo com a tabela 4.1 do regulamento técnico, e a densidade de potência de iluminação limite (DPIL – W/m^2) para cada nível de eficiência. Sendo que, para edifícios com atividades não listadas, deve-se escolher uma atividade equivalente;

- 2) Determinar a área iluminada do edifício;
- 3) Coletar os dados técnicos referentes ao sistema de iluminação de cada ambiente analisado (luminária, tipo e quantidade de lâmpada por luminária, potência das lâmpadas e reatores), para calcular a densidade de potência de iluminação (DPI);
- 4) Multiplicar a área iluminada pela DPIL para encontrar a potência-limite do edifício;
- 5) Fazer a verificação do nível de eficiência, calculada através da potência total instalada no edifício, e não por atividade, comparando a potência total instalada no edifício e a potência-limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação e;
- 6) Verificar o atendimento dos pré-requisitos em todos os ambientes.

Se existirem ambientes que não atendem aos pré-requisitos, o EqNum deverá ser corrigido através da ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos e a potência instalada e o nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação.

2.4.7 Sistema de Condicionamento de Ar

A determinação da eficiência do sistema de ar condicionado é obtida através da verificação da eficiência de cada aparelho e o atendimento ou não dos pré-requisitos. A eficiência de cada aparelho deve ser obrigatoriamente conhecida, obtida através verificação da classificação da ENCE obtida nas Tabelas do PBE/INMETRO e de acordo com as normas brasileiras e/ou internacionais de condicionadores de ar, conforme item 5.3 do regulamento.

No site do INMETRO (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>), encontram-se tabelas atualizadas com classes de eficiência energética para cada tipologia de aparelho:

- Condicionadores de Ar cassete
- Condicionadores de ar - tipo Janela;
- Condicionadores de Ar - tipo Split High Wall
- Condicionadores de Ar Split: piso – teto

Os sistemas e aparelhos condicionadores de ar não etiquetados pelo PBE/INMETRO (como os sistemas centrais de condicionamento de ar) devem seguir o item 5.4 do regulamento, e serão classificados de acordo com os níveis e requisitos a seguir, através das tabelas da ASHRAE apresentadas no regulamento:

Para o nível A, deve-se atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na Tabela 5.4 do RTQ-C, ou para os condicionadores de ar tipo VRF (Fluxo de Refrigerante

Variável) devem atender as Tabelas 5.4A e 5.4B; já os requisitos mínimos de eficiência da Tabela 5.5 devem ser atendidos pelos resfriadores de líquido. Os condensadores e torres de arrefecimento devem atender aos requisitos mínimos de eficiência da Tabela 5.6 do regulamento. Todo o sistema de condicionamento de ar deve respeitar os requisitos estabelecidos nos itens 5.4.1 a 5.4.7, quando aplicável.

Pré-requisitos específicos do sistema de condicionamento de ar

A determinação do nível de eficiência de um sistema de condicionamento de ar depende além do nível de eficiência do equipamento, também do cumprimento dos pré-requisitos (exigidos apenas para nível de eficiência A), avaliados em cada ambiente separadamente.

- **Isolamento térmico das Tubulações:** devem possuir as espessuras mínimas apresentadas pelas tabelas 5.1 e 5.2 no regulamento, para sistemas de aquecimento e refrigeração, respectivamente. Caso contrário, a espessura mínima (E) deve ser determinada pela Equação 2.2 do regulamento;
- **Condicionamento de ar por aquecimento artificial:** devem atender aos indicadores mínimos, de eficiência energética, indicados para cada sistema.

2.4.8 Método de Simulação

O método de simulação é uma alternativa para avaliação da eficiência de forma mais completa e/ou flexível. É indicado para permitir:

- A liberdade de projeto seja na forma da edificação, na natureza de suas aberturas ou proteções solares ou nos sistemas utilizados;
- A incorporação de inovações tecnológicas, comprovando níveis de eficiência elevados; o uso de estratégias passivas de condicionamento, possibilitando edificações não condicionadas ou parcialmente condicionadas;
- A incorporação de soluções não previstas no RTQ-C.

Este último item abrange todas as soluções arquitetônicas ou dos sistemas que porventura existam no projeto e que não são possíveis de serem analisadas através do método prescritivo. O método de simulação é válido para alcançar a etiqueta completa da edificação, sem a necessidade das etiquetas parciais.

Válido para edifícios condicionados artificialmente, parcialmente condicionados ou não condicionados, o método de simulação é recomendado em edificações onde o PA_{Ft} é elevado, os vidros possuem alto desempenho e/ou os elementos de sombreamento são diferenciados por orientação (LINSE, 2016).

Para os edifícios que possuem áreas não condicionadas (ventilação natural), é obrigatório comprovar por simulação que estes ambientes de permanência prolongada proporcionam temperaturas dentro da zona de conforto em um percentual de horas ocupadas. O percentual de horas ocupadas em conforto (POC) alcançado na simulação indica o equivalente numérico de ventilação, a ser utilizado na equação da pontuação total (LINSE, 2016).

O RTQ-C, estipula que a avaliação do edifício através da simulação utilize um modelo real, com todas as características do edifício avaliado; e um modelo de referência, similar ao modelo real, porém com características e parâmetros de acordo com o nível pretendido estipulado pelo método prescritivo.

Programa de simulação

O regulamento exige algumas características mínimas para o programa computacional de simulação termo energética como: possuir atributos para a análise da demanda de energia em edifícios; ter validação concedida pela *ASHRAE Standard 140*; modelar 8760 horas por ano; modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos e sistemas de ar condicionado (definidos separadamente para cada dia da semana e feriados); modelar efeitos de inércia térmica; permitir a modelagem de multizonas térmicas; ser capaz de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto; caso o edifício proposto utilizar sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da *ASHRAE90.1*; determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de Ar; produzir relatórios horários do uso final de energia.

Recentemente, Zemero (2016) em sua pesquisa de dissertação fez uma crítica às ferramentas de simulação do RTQ (Regulamento Técnico da Qualidade), que utiliza programas como *Domus* e *Energy Plus*. Estes *softwares* possuem interface pouco didática, o que acarreta pouca utilização do método da simulação de desempenho energético e centraliza a aplicação da simulação à laboratórios especializados.

Após explanar algumas das principais certificações prediais nacionais e internacionais, conclui-se que o objetivo principal das políticas voluntárias de certificação ambiental e energética existentes no mundo é elevar o desempenho ecoeficiente dos edifícios. Como consequência, fornecem-lhes um selo que agregue valor e comprove sua participação na prática sustentável e/ou de *performance* energética.

Todavia, faz-se necessário o entendimento dos impactos financeiros e ambientais que essas políticas e ações acarretam, para tentar desmistificar alguns mitos que se tornam

barreiras à implantação dos paradigmas do desenvolvimento sustentável e energeticamente eficiente. Questionamentos que devem ser esclarecidos: Como mensurar esses benefícios gerados? Quais as garantias e suas vantagens competitivas no mercado? Como o uso racional da energia está relacionado com a economia e o meio ambiente? É muito caro ser sustentável ou energeticamente eficiente?

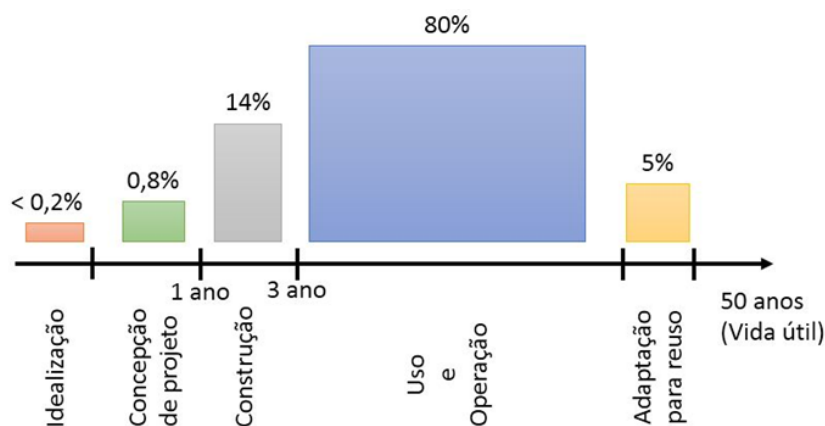
2.5 Cenário Financeiro das Edificações

A percepção generalizada de que os custos com a construção de edifícios sustentáveis são consideravelmente maiores que a construção de edifícios convencionais continua sendo confirmada por pesquisas nacionais e internacionais. Elas indicam também que o principal empecilho contra as edificações sustentáveis ainda é a preocupação com os custos iniciais (KATS, 2014).

Para desmistificar esses pensamentos e tentar quebrar os paradigmas relacionados aos gastos da construção de edificações verdes (*green buildings*), é preciso entender que o período da vida útil é a etapa que possui o maior peso nas despesas de uma edificação, de acordo com Ceotto (2008). Sendo que esta etapa de uso e operação é estimada em média 50 anos – onde se dá 80% dos gastos totais. Com isso, o custo de um edifício não deve ser mensurado somente no momento em que ele é construído, como muitas pessoas pensam.

A fase de construção detém a segunda maior porcentagem dos custos (14%), porém com uma proporção muito inferior ao da vida útil. Em seguida vem os 5% de despesas destinados a adaptação para promover a reutilização da edificação, fase responsável pela implementação das ações de intervenção que visam à efficientização energética da edificação. Enquanto que as menores porcentagens de gastos ficam para as fases de concepção de projeto e idealização, com 0,2% e 0,8% respectivamente. Ver Figura 12.

Figura 12. Custo total de um edifício em 50 anos.



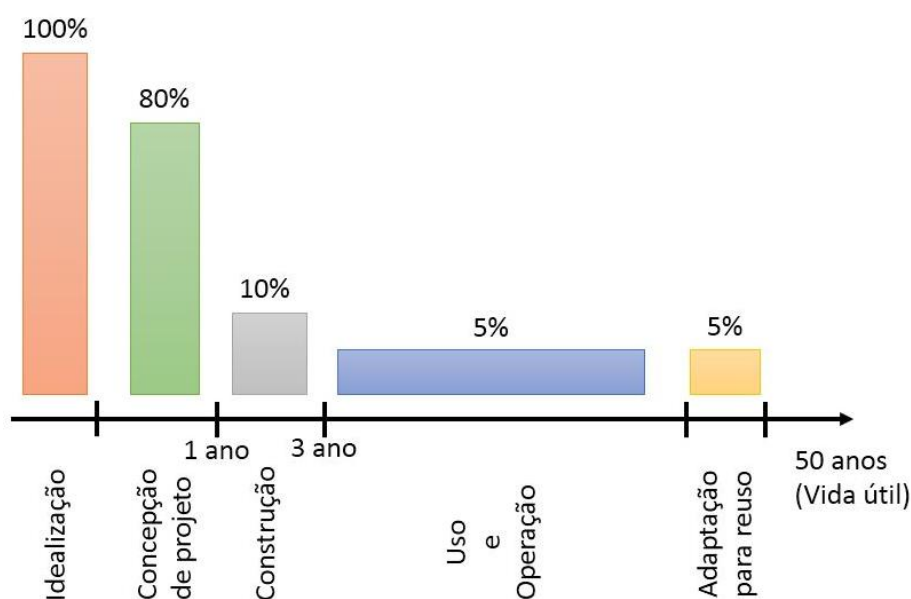
Fonte: Adaptado de Ceotto, 2008.

Analisando a Figura 12, é possível inferir que não faz sentido focar apenas nos custos de construção da edificação. A respeito disso, Fernandes (2017, informação verbal²) observou que esse foco corresponde a mentalidade das construtoras, que visam muito os gastos da fase de execução do empreendimento, muitas vezes por ter somente a responsabilidade nessa etapa do processo. Porém, quando o enfoque visa à construção de edificações mais eficientes e sustentáveis, ou que se almeje mais desempenho e qualidade, a preocupação se volta à redução dos 80% das despesas financeiras da fase de uso e operação.

É pertinente ressaltar que os aspectos mais relevantes dessa fase de custos elevados são os consumos de água e energia, portanto, esses passam a ser os alvos das mudanças que abrangem todos os aspectos das melhorias no projeto ou na construção de um modo geral.

A Figura 13 faz relação com a Figura 12, e complementa as discussões até então apresentadas, pois mostra qual a possibilidade de interferência direta no custo de uma edificação. Em que etapa do ciclo de vida de uma edificação podem ser elaboradas mudanças que potencialmente minimizem suas despesas?

Figura 13. Possibilidade de Interferência no Custo de um Edifício.



Fonte: Adaptado de Ceotto, 2008.

A resposta para essa questão está explícita na Figura 13, onde Ceotto apresenta a etapa de idealização, do projeto da futura edificação, como a melhor etapa de planejamento visando à minimização das despesas, tendo 100% de possibilidade de intervenção. A fase de concepção e projeto é tão importante quanto a de idealização, porém com uma diminuição em 20% de

³FERNANDES, Júlia. 2º Workshop Online Gratuito - Edifícios Sustentáveis e Eficientes, 2017. Disponível em: <https://app.webinarjam.net/replay/25055/18be6edb9e/0/iE141208154um>>. Acessado em: 19 de julho de 2017.

viabilidade dessas modificações. Contudo, ainda mantém 80% da importância na interferência que resultará em ganhos financeiros, energéticos e ambientais futuros.

Consequentemente, os projetistas (arquitetos e engenheiros) têm a grande responsabilidade de interferir nos custos futuros das decisões de projeto, na aplicação de uma arquitetura integrada ao clima local – arquitetura bioclimática –; no uso racional dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar; e na aplicação de tecnologias que mitiguem os gastos e o consumo de água e energia.

O projeto tem 80% de chance de definir os gastos de um edifício como um todo durante a vida útil dele (uso e operação), que consome também uma porcentagem de 80% desses custos. Então, “é no projeto que nascem as intenções de sustentabilidade, a obra (10%) vem como uma etapa de executar o que eu planejei muito bem”, como cita Júlia Fernandes, a arquiteta e consultora em eficiência energética e sustentabilidade, sócia da empresa Quali-A: Conforto Ambiental e Eficiência Energética, um Organismo Acreditado pelo INMETRO (OIA) que emite certificações de eficiência energética (Informação verbal¹).

No modelo sustentável, as fases de planejamento e projeto são mais demoradas e custosas. Em contrapartida, vão trazer economias de recursos, tempo e dinheiro nas fases de construção, uso e manutenção da edificação (ciclo de vida) (Quali-A, 2017). É importante lembrar que é da economia dessas etapas que provêm os recursos para o investimento, tendo em vista que uma construção pode ser considerada sustentável quando ela possui baixo custo na etapa de operação e manutenção (CEOTTO, 2008).

É intrínseco aos profissionais que almejam trabalhar com a sustentabilidade na construção a busca pela assimilação de novos conceitos em: sistemas, processos, vida útil e custo-benefício. O ideal é assimilar esses novos conceitos e elaborar propostas eficazes na etapa certa, entendendo as especificidades de cada situação. Com isso, os responsáveis (arquitetos e engenheiros) pela cadeia produtiva dos meios de construção devem assumir responsabilidade técnica e buscar inovações, seja em novas tecnologias de alto desempenho em equipamentos, sistemas e materiais; como em técnicas projetuais e construtivas (Quali-A, 2017).

Do mesmo modo, é preponderante mensurar os impactos negativos das construções para prevenir e diminuir prejuízos futuros, convertendo-os em vantagens competitivas. As simulações e análises de desempenho da edificação são exemplos de mecanismos utilizados para prever as desvantagens. Isso leva a uma garantia efetiva de que somente sejam construídas edificações com desempenho adequado.

Dominando isso, o Brasil tem a chance de focar na gestão do consumo energético das edificações que serão construídas e assim conter transtornos futuros mais complexos enfrentados atualmente por outras economias, como a reforma de edificações ineficientes (PESSOA, 2013).

Kats (2014) acreditava que “a transformação sustentável é altamente rentável”, além de abrangente, podendo ser empregada nos mais diversos tipos de edificações, desde instituições de ensino, até em igrejas e hospitais. Ele analisou 170 edificações norte-americanas com certificação LEED, concluindo que a execução dos edifícios sustentáveis custa, apenas, cerca de 2% a mais do que os convencionais. O autor ressalta que grande parte das construções incluídas nestes estudos adotaram antecipadamente as estratégias de construção sustentável.

Os valores adicionais ao se construir de maneira sustentável, são recompensados e ultrapassados pelos seus benefícios, pois as vantagens incluem, além da redução das despesas com energia e água, o aumento da saúde, da produtividade e amplos benefícios sociais. Esses ganhos são cinco a dez vezes maiores que seu acréscimo de custo. Lembrando que apenas as economias diretas de energia mais do que compensam esses custos (KATS, 2014).

O estudo comprova que algum ou todo o custo adicional do edifício sustentável é compensado por economias resultantes da aplicação de estratégias de design passivo adotadas no projeto. Como exemplo, Kats (2014) cita o melhor isolamento da envoltória que reduz o dimensionamento do sistema de aquecimento ou resfriamento, e o aumento de luz solar ou acesso a vistas externas que diminui a densidade de potência exigida para a iluminação, etc.

Com a explanação, fica evidente que a prévia incorporação de diretrizes sustentáveis ao processo de projeto é crucial para se alcançar projetos rentáveis, haja vista que as reformas para tornar os edifícios eficientes possuem maiores desembolsos adicionais, isso em parte pelo fato de características como a orientação geográfica da edificação e elementos estruturais empregados não serem fáceis de mudar, efetivamente limitando as alternativas de efficientização da construção.

Para a Agência Internacional de Energia a eficiência energética, quando comparada com outras opções (nuclear, captura e armazenamento de carbono e até energia renovável), obtém benefícios substanciais em termos de custo-benefício e retorno mais curtos de reduções de GEE (IEA, 2014). Com isso os benefícios financeiros de uma mudança do projeto convencional para o sustentável oferecem uma grande e única oportunidade de fortalecer a economia ao tratar o monumental problema do aquecimento global (KATS, 2014).

2.6 Cenário Ambiental das Edificações

Conforme se constatou, os edifícios representam uma das principais fontes de consumo de energia internacionalmente e no Brasil. Como a maioria das emissões relacionadas às ações humanas são provenientes da geração de energia, é possível correlacionar que as edificações também são, parcialmente, responsáveis pelo alto crescimento das emissões de CO₂. Consequentemente, a eficiência energética de edificações deve ser considerada como prioridade no cenário ambiental pela alta relevância de suas contribuições benéficas (CBCS, 2014).

Este é um fato importante, pois indica que profundas reduções na emissão de CO₂ derivadas das minimizações do consumo energético pelas edificações existentes (responsáveis por aproximadamente 50% de emissões), podem ser eficazes e alcançadas por uma estratégia nacional de tornar sustentáveis tanto as edificações já existentes quanto as novas. O que para Kats (2014), converte o ambiente construído em um gerador de grandes impactos positivos na economia e no meio ambiente.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês) até o ano 2050 as medidas de eficiência energética podem contribuir com cerca de 40% da redução de CO₂ para evitar uma mudança climática desastrosa e manter o aquecimento global abaixo de 2°C (IEA, 2014). Nesse enfoque, foi realizada na França a Conferência do Clima da ONU em dezembro de 2015. Nela a meta assumida pelo governo brasileiro na 21ª Conferência das Partes (COP-21), foi de alcançar 10% de ganho de eficiência no setor elétrico até 2030 (SCHNEIDER ELETRIC, 2016).

Segundo Cursino (2011), para realizar as estimativas de consumo e geração de eletricidade em relação aos cenários de 2030, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) considera a contribuição da autoprodução, bem como das reduções de consumo de energia elétrica proporcionadas por políticas de eficiência energética.

Visando as consequências dos impactos ambientais no futuro do planeta entre os anos de 2050 e 2100, foram estipuladas também em Paris metas que devem ser cumpridas por todos os países para neutralizar as emissões dos gases que provocam o efeito estufa (GREENPEACE, 2015).

O Brasil garante uma posição confortável perante as nações desenvolvidas quando estão em pauta as emissões de gases do efeito estufa do Setor de Energia, por possuir uma matriz energética bem diversificada e participação de fontes renováveis predominante, representando 73,1% da oferta interna de eletricidade em 2014, distribuída entre hidráulica (63,2%), biomassa (7,8%) e eólica (2,1%).

Porém, Miranda (2012) constatou que as usinas hidrelétricas (que compõem a maior parte da matriz energética brasileira), apesar de serem fonte de geração de energia limpa, também possuem participação nas emissões. Estas emissões têm relação direta com a decomposição da biomassa submersa em seus reservatórios. Considerando a importância do setor elétrico para a economia de um país e os impactos ambientais causados por ele, o trabalho dela propôs o cálculo do fator de emissão de gases de efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira, através da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Com base em informações atuais dos dados do Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa - SEEG 2015, as emissões de gases de efeito estufa do Brasil em 2014 permaneceram estáveis em relação ao ano anterior, apesar da queda de 18% na taxa de desmatamento da Amazônia. Com a desaceleração do desmatamento em 2014, era esperado que as emissões também caíssem, mas não foi o que se verificou. Uma alta de 6% na quantidade de carbono emitida pelo setor de energia impediu que a queda de 9,7% no setor de mudança de uso da terra (desmatamento) fizesse diferença na contribuição do país para o aquecimento global no ano passado.

Em 2014, o setor de energia emitiu 479,1 milhões de toneladas (mt) de CO₂ equivalente (apresentando um crescimento de 30,2% entre 2010 e 2014). Atualmente ele está lado a lado com o desmatamento (486,1mt de CO₂e), como principal fonte de gases-estufa da economia brasileira (SEEG, 2015). A mudança climática tem se mostrado preocupante devido seu efeito atingir uma escala global. Os gases que parcialmente causam esse impacto se disseminam aceleradamente na atmosfera terrestre, não fazendo diferença a localização onde são emitidos.

Dentre as diversas atividades geradoras de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor de energia nacional, estão o consumo final de energia, intrínseco no consumo energético das edificações. O que reforça a relevância desse estudo no cenário atual.

No enfoque regional, o Estado do Pará, (onde está localizada a edificação objeto deste estudo de caso) é o Estado que lidera as emissões de CO₂ com a prática do desmatamento. Mesmo que as emissões geradas no Estado sejam predominantemente provenientes do desmatamento, é imprescindível que as edificações que aqui estão inseridas não atuem como coadjuvante e contribuam ainda mais com essa degradação ambiental. A conscientização, seja em qualquer setor que possa colaborar com a redução das emissões de GEE e do desperdício de energia, é de extrema relevância. Relacionado a isso (CURSINO, 2011, pág. 149) conclui:

a análise das regulamentações brasileiras frente o panorama internacional revelou que o modelo adotado no Brasil é compatível com os modelos adotados em outros países e que ainda existe espaço para novas medidas, como a avaliação do consumo de energia primária e das emissões de CO₂e,

para isso é fundamental um esforço no sentido de se aprimorar as metodologias de avaliação, de forma a se estimar o consumo de energia final pelas edificações.

Cursino (2011), ainda afirma que a avaliação do consumo de energia elétrica e das emissões de CO₂e não são incorporadas diretamente nas metodologias atuais empregadas nos regulamentos técnicos brasileiros. A falta de definição dos investimentos econômicos necessários para viabilização dos requisitos de eficiência estipulados, assim como a não consideração do retorno de capital empregado para se obter as medidas propostas, são outras lacunas identificadas na implantação das políticas de eficiência energética para edificações brasileiras. As avaliações econômicas também representam uma importante oportunidade para realização de novas pesquisas.

2.7 Análise Computacional: Software RETScreen

O programa é disponibilizado pelo governo do Canadá, e traz como uma das suas vantagens a vasta aplicabilidade. Foi desenvolvido principalmente para dar suporte à tomada de decisão no setor de energia limpa, porém, ele foi utilizado neste trabalho para mensurar os ganhos energéticos, a viabilidade financeira e a contribuição de mitigação dos impactos ambientais no setor energético.

Figura 14. Pagina Inicial do RETScreen: configurações básicas.

Informação sobre o projeto [Veja banco de Dados do projeto](#)

Nome do Projeto:

Localização do Projeto:

Preparado para:

Preparado por:

Tipo de projeto:

Tipo de instalação:

Tipo de análise:

Poder calorífico de referência:

Ver parâmetros: ☐

Condições de Referência do site [Selecionar local de dados climáticos](#)

Localização dos dados climáticos:

Mostrar dado: ☐

[Completar a planilha de Modelo Energético](#)

RETScreen4 2013-08-27 © Minister of Natural Resources Canada 1997-2013. NRCan/CanmetENERGY

Fonte: RETScreen.

O software *RETScreen 4.0* contribui para avaliar as estratégias de projetos novos ou de *retrofits* dos sistemas das construções (envoltória, sistema de iluminação e de condicionamento de ar). Como exemplo, medidas como a troca de equipamentos existentes na edificação são adotadas para otimizar o sistema de ar condicionado visando à eficiência energética.

É pertinente mencionar que na revisão da literatura pouco foi encontrado sobre o uso desse programa vinculado a análise da *performance* de edificações. Contudo, esse software foi utilizado por Ribeiro (2016), na sua dissertação. Primeiramente, o autor aplicou a metodologia prescritiva do RTQ-C, onde analisou o desempenho energético do prédio do Centro de Eficiência Energética da Amazônia – CEAMAZON, localizado na cidade de Belém – PA. Por se tratar de um laboratório de pesquisas vinculado à Universidade Federal do Pará, o estudo buscou enquadrar a edificação na classificação mais elevada (nível A) por levar em consideração a instrução normativa MPOG/ ITL nº2 de 2014.

O retorno financeiro do investimento para a realização do *retrofit* proposto para a edificação foi mensurado em menos de um ano no programa *RETScreen*, o que mostrou a viabilidade financeira das medidas. O programa mensurou uma redução anual de 14,6 toneladas de emissões de CO₂ e na análise energética apontou redução de 25% de consumo de energia do sistema de iluminação, propiciadas pelo *retrofit*.

Retomando a explanação, para a utilização do software primeiramente devem ser preenchidos alguns itens essenciais no programa, que servirão como diretrizes para a caracterização do objeto estudado (Figura 14), como:

Nome do projeto: Análise de Eficiência Energética em Edificações Públicas;

Localização do Projeto: Belém, Pará - Brasil;

Tipo de projeto: Ações de Eficiência Energética;

Tipo de instalação: Institucional;

Tipo de análise: Método 1;

Idioma: Português;

Moeda: Reais e;

Localização dos dados climáticos: Belém.

O tipo de combustível também deve ser informado, nesse caso, a eletricidade, e acrescentado o preço unitário tarifado no momento atual, como mostra a Figura 15.

Figura 15. Combustível usado (eletricidade) e sua tarifação de preço unitário (\$/KWh).

Modelo Energético RETScreen - Projeto de ações de eficiência energética

Combustíveis & horários		☒ Mostrar dado
Combustível	Tipo de Combustível 1	
Tipo de Combustível	Eletricidade	
Consumo de combustível - unitário	MWh	
Preço combustível - unidade	\$/kWh	
Preço do combustível		

Fonte: RETScreen 4.0.

Em seguida é necessário escolher o tipo de instalação a ser analisada, dentre as opções disponibilizadas pelo programa, como mostra a Figura 16, e preencher a caixa de diálogo com as características do sistema. No caso desse trabalho foram acionadas as características da instalação das lâmpadas. Lembrando que antes é preciso escolher a tipologia e as propriedades técnicas da lâmpada ou sistema de iluminação (potência, Lumens, temperatura de cor, eficiência e outros), que irão compor o caso proposto em substituição ao caso de referência/existente, de acordo com o cálculo luminotécnico (ver apêndice B) e segundo a norma NBR ISO CIE 8995-1.

Figura 16. Tipo de instalação a ser analisada pelo RETScreen.

Características da instalação				☒ Mostrar dado
Mostrar:	Aquecimento	Refrigeração	Eletricidade	
Economia de combustível	MWh	MWh	MWh	
Sistema de Aquecimento				
Sistema de refrigeração				
Invólucro do prédio				
Ventilação				
Lâmpadas				
Equipamento elétrico				
Água quente				
Bombas				
Ventiladores				
Motores				
Eletricidade de processo				
Calor do processo				
Vapor do processo				
Perdas de vapor				
Recuperação de Calor				
Ar comprimido				
Refrigeração				
Outro				
Total	0	0	0	

Fonte: RETScreen 4.0.

Essa aba sobre as características da instalação já mostra dados referentes à diferença da quantidade de consumo de energia do caso existente em comparação com o caso proposto, valores em MWh. Mostra também a quantificação do custo inicial empregado para implantar

a nova proposta, a economia de combustível (energia) gerada, a economia de O&M (O=operação e M=manutenção), e o retorno financeiro do investimento efetuado. Ver Figura 17.

Figura 17. Características de Instalação.

Características da instalação				
Custo inicial incremental \$	Economia - custo de combustível \$	Economia de O&M incremental \$	Retorno simples ano	Inclui a medida ? ☐
0	0	0		

Fonte: *RETScreen* 4.0.

Na caixa de diálogo sobre as características das lâmpadas (Figura 18) entram as informações de nível de iluminamento, com base na norma NBR ISO/CIE 8995-1/ de 2013 - Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior, que estipula níveis de iluminância e outros fatores para o projeto luminotécnico de ambientes internos, em substituição a então extinta NBR 5413 DE 1992 - Iluminância de Interiores.

Figura 18. Aba de especificação da análise.

RETScreen

Lâmpadas

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Descrição

Método

☐ 1
☒ 2

Caso de referência
Caso proposto

☐ Tipo de ambiente

Nível de Iluminamento	Lux		
Tipo de lâmpada e de receptáculo		Halógena de metal cerâmico	Halógena de metal cerâmico
Eficiência luminosa	lm/W	80,4	80,4
Carga elétrica	W		
Número de dispositivos - sugerido			0
Número de dispositivos			
Nível de Iluminamento - variância	%		0,0
Horas de operação	h/d		
Custo inicial incremental	\$		
Economia de O&M incremental	\$		
Número de unidades		1	1
Demanda de eletricidade	MWh	0	0 0,0%

Impacto climatização ambiental

☒ Sim
☐ Não

Impacto aquecimento ambiental

☒ Sim
☐ Não

Fonte: *RETScreen* 4.0.

"O método escolhido dependerá tipicamente da disponibilidade de dados de entrada e da fase de desenvolvimento do projeto (por exemplo: estudo de viabilidade prévia vs. estudo de viabilidade)." Manual do usuário *RETSscreen* 4.0.

Além do nível de iluminância (lux), determinado pelo programa de acordo com o tipo de ambiente previamente selecionado, é preciso escolher o tipo de lâmpada para que o programa forneça o valor da eficiência luminosa lm/w. O próximo dado de entrada é de extrema importância porque diz respeito à carga elétrica de lâmpadas e reatores, ou seja, sua potência. O número de dispositivos e as horas de operação do ambiente vão ajudar a quantificar o consumo energético.

Após fazer o levantamento de dados do sistema, é necessário escolher as lâmpadas mais eficientes que irão substituir o sistema atual. Essas novas lâmpadas devem ter a mesma quantidade de lumens e temperatura de cor das existentes no projeto luminotécnico. É importante lembrar, que se a edificação for existente o levantamento dos dados do sistema de iluminação atual deve ser feito *in loco*.

Com as lâmpadas mais eficientes escolhidas, seguindo as normas de iluminação já citadas, é preciso realizar uma pesquisa de custos tanto das lâmpadas existentes quanto das novas. Esse levantamento de preços servirá para o cálculo do custo inicial incremental, que é o valor investido para executar as alterações de melhoria propostas no retrofit do sistema elétrico. Já a economia de O&M (operação e manutenção) é obtida através da análise da equação (6) elaborada por Aquino (2016):

(6)

$$O\&M = Ni.Pa.\frac{Vn}{Va^2}.T.365$$

Onde:

Ni: número de lâmpadas por luminária;

Pa: preço da lâmpada antiga;

Vn: vida útil da lâmpada nova;

Va²: vida útil da lâmpada antiga, ao quadrado;

T: tempo de utilização em horas por dia;

365: quantidade de dias de um ano;

Inseridos os dados técnicos referentes as características da instalação (lâmpadas, ou lâmpadas e reatores) o programa gera um resumo da análise do consumo de eletricidade no caso de referência e no caso proposto, com os custos referentes a cada caso. A partir disso, é possível estimar a economia do consumo de eletricidade e dos gastos financeiros. Ver Figura 19 e Figura 20.

Figura 19. Resumo da análise de consumo de energia elétrica (combustível): caso de referência.

Resumo ☒ Mostrar dado				
Tipo de Combustível	Combustível		Caso de referência	
	Consumo de combustível - unitário	Preço do combustível	Consumo de combustível	Custo do combustível
Verificação do projeto	Consumo de combustível - unitário	Consumo de combustível - histórico	Consumo de combustível	Consumo de combustível - variância
Tipo de Combustível			Caso de referência	
	Aquecimento MWh	Refrigeração MWh	Eletricidade MWh	Total MWh
Consumo de combustível				
Consumo de combustível - caso de referência				0
Consumo de combustível - caso proposto				0
Economia de combustível				0
Economia de combustível - %				

Fonte: RETScreen 4.0.

Figura 20. Resumo da análise de consumo de energia elétrica (combustível): caso proposto.

Resumo			
Caso proposto		Economia - custo de combustível	
Consumo de combustível	Custo do combustível	Economia de combustível	Economia - custo de combustível

Fonte: RETScreen 4.0.

É possível, através da simulação do *software*, fazer a quantificação das emissões de gases do efeito estufa (GEE), ver Figura 21. A análise dos impactos ambientais é gerada automaticamente após a inserção dos dados técnicos que caracterizam o sistema de iluminação. A análise é feita com base no sistema elétrico de referência, considerando a matriz energética do país-região em questão. O programa possui uma vasta base de dados com os valores do fator de emissões de CO₂ em tCO₂/MWh. Além do país-região, o programa permite a escolha do tipo de combustível a ser analisado (gás natural, carvão, óleo, etc), caso o usuário queira uma análise personalizada e específica.

O Fator de Emissão de CO₂ para o Brasil é de 0,087 tCO₂/MWh para o ano de 2016 e de 0,0817 tCO₂/MWh para 2017, de acordo com o Ministério da Ciência e Tecnologia. O valor das emissões é então calculado com uma multiplicação simples do valor do fator de emissão de CO₂ pelo valor do consumo do combustível (energia elétrica), tanto para o caso de referência quanto para o caso proposto.

Então são obtidos os valores de emissão de tonelada de CO₂ em ambos os casos (Figura 21). São quantificadas também as reduções anuais brutas e líquidas dessas emissões e a receita pela redução de GEE. Esta, pode ser transformada em créditos pela conversão em reais da redução de GEE por tonelada de CO₂ - o crédito de carbono.

Figura 21. Análise das Emissões de CO₂ - RETScreen.

☑ Análise de Emissões		
Emissão de GEE		
Caso de referência	tCO ₂	0,0
Caso proposto	tCO ₂	0,0
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO ₂	0,0
Custo de transação dos créditos de GEE	%	
Redução anual líquida de emissões de GEE	tCO ₂	0,0
Receita pela redução de GEE		
Crédito para redução de GEE	\$/tCO ₂	
é equivalente a	0,0	Pessoas reduzindo uso de energia em 20%

Fonte: RETScreen 4.0.

Originados pelo Protocolo de Quioto, os créditos de carbono ou redução certificada de emissões são certificados que comprovam a diminuição da emissão de gases do efeito estufa (GEE), podendo ser emitidos para uma pessoa ou empresa. É importante ressaltar que por convenção, 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂) corresponde a um crédito de carbono. Esse crédito pode ser negociado no mercado internacional com os países que têm metas a cumprir.

Concomitante a análise de emissões, o *RETScreen* também gera a análise financeira, automaticamente, com base na taxa de inflação do período atual e na vida do projeto, parâmetros previamente estipulados. O valor da taxa de inflação atual, é estipulada entorno de 6,2881% (IPCA de dezembro de 2016), pela Bovespa.

Demonstrado na Figura 22, na análise financeira o programa quantifica o custo total do investimento inicial das ações de eficiência energética (como por exemplo, o custo da compra das lâmpadas por tipologias).

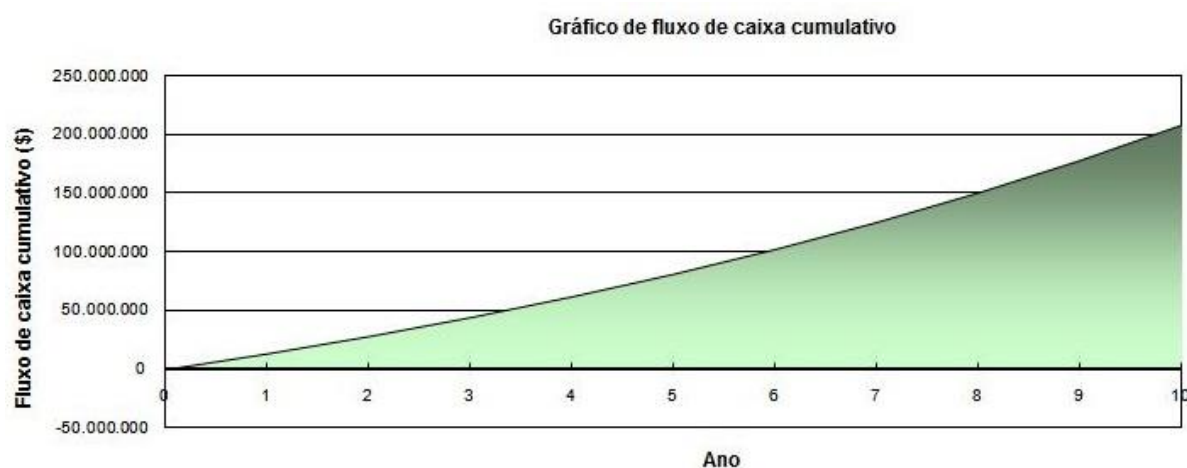
O valor da economia anual e o tempo do retorno financeiro do investimento são gerados automaticamente, e consequentemente a lucratividade do fluxo de caixa acumulativo (Figura 23), que segundo o Ministro dos Recursos Naturais do Canadá (2005) “mantém o controle, numa base anual, de todas as despesas (saídas) e os rendimentos (entradas) gerados pelo projeto de energia limpa”, em uma projeção em anos da implantação do projeto novo ou *retrofit*.

Figura 22. Tópicos da análise financeira gerada pela simulação computacional – Retscreen.

Análise Financeira		
Parâmetros financeiros		
Taxa de inflação	%	
Vida do projeto	ano	
Razão da dívida	%	
Custos iniciais		
Ações de Eficiência energética	\$	0
Outro	\$	
Total de custos de investimento	\$	0
Incentivos e subsídios	\$	
Pagamento anual de custos e empréstimos		
Custo (economia) de O&M	\$	0
Custo combustível - caso proposto	\$	0
Outro	\$	
Total de custos anuais	\$	0
Economia anual e receita		
Custo combustível - caso de referência	\$	0
Outro	\$	
Total de economia e receita anual	\$	0
Viabil. Financeira		
TIR antes impostos - ativos	%	
Retorno simples	ano	
Retorno do capital próprio	ano	

Fonte: RETScreen 4.0.

Figura 23. Gráfico de fluxo de caixa cumulativo – RETScreen.



Fonte: RETScreen 4.0.

2.8 Considerações sobre a Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica apontou que o aumento do consumo energético dos edifícios, fez aumentar a busca pela adaptação deles às mudanças climáticas, através do resgate e disseminação de uma arquitetura mais ambientalmente "responsável". Com isso estratégias para concretizar a redução do uso de energia na edificação são traçadas mundialmente nos últimos anos, gerando normas e métodos de avaliação e classificação do consumo energético, como é o caso das certificações energéticas e ambientais.

Com base nisso, destacou-se nesse capítulo a certificação Procel Edifica que é ferramenta crucial neste trabalho, juntamente com uma abordagem a respeito do cenário financeiro e ambiental vinculado aos benefícios gerados pelas construções sustentáveis e/ou energeticamente eficientes. Lembrando que a eficiência ambiental e energética das construções tem potencial para orientar profundas reduções nas despesas com consumo de água, energia e emissões de gases causadores de mudanças climáticas.

A partir do que foi exposto, o próximo capítulo engloba todos esses aspectos abordados na elaboração de uma metodologia de verificação do potencial de efficientização das construções, apresentada a seguir.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA E ESTUDO DE CASO

3.1 Considerações Iniciais

O conteúdo que vem sendo exposto nos capítulos anteriores até o momento, serve de embasamento teórico para a elaboração estrutural da metodologia de pesquisa posposta neste capítulo. Em virtude do que foi abordado, percebeu-se a necessidade da incorporação direta da avaliação do consumo de energia; da estimativa dos investimentos econômicos iniciais, necessários para viabilização do cumprimento dos requisitos de eficiência estipulados; assim como a determinação do retorno do capital (*payback*) necessário para se executar as medidas propostas e da determinação das consequentes reduções nas emissões de CO₂.

A metodologia pode ser amplamente empregada em qualquer tipo de edificação não residencial. Ela consegue ser utilizada tanto para edificações existentes que passem por um processo de *retrofit* e precisem validar suas alterações, quanto para a etapa de projeto de uma edificação nova. Além de poder ser empregada para avaliar os resultados da análise feita com o método prescritivo e também com o de simulação do RTQ-C, pois ambos convergem para o mesmo propósito – a classificação energética – que será investigada criticamente. Relembrando que na etapa de projeto ela terá muito mais eficácia na perspectiva de alcançar um excelente desempenho, garantindo o máximo de benefícios da futura edificação.

Essa metodologia possui uma etapa que permite o aprimoramento das estratégias que já estão sendo aplicadas pelos projetistas no projeto, a fim de que seja realmente comprovada a eficácia e evitando que na finalização do projeto ou na execução da obra, sejam constatados erros ou lacunas da fase de concepção projetual. Pois se algum item ou requisito passar despercebido na fase inicial de projeto, não será possível mensurar sua importância futura, ou seja, o impacto que causaria no desempenho energético geral da edificação. Algumas medidas são pequenas e pontuais (exemplo, troca de lâmpadas ineficientes por outras eficientes), mas podem causar um enorme benefício energético-ambiental e financeiro.

Com isso, a visão mais ampla do processo produtivo também é um propósito do método, mostrando as vantagens e desvantagens das técnicas estratégicas que os projetistas pretendem utilizar, no projeto arquitetônico principalmente. A intenção é permitir um leque de opções de análise, indo além da análise de classificação energética ou de conforto, e entrar na esfera financeira resultante das ações e no âmbito da discussão global sobre as mudanças climáticas.

3.2 Metodologia de Pesquisa

Apresentada na Figura 24, a metodologia inicia com a aplicação do método prescritivo do RTQ-C para análise da edificação nos três sistemas, avaliando os requisitos e pré-requisitos gerais e específicos da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar de edificações não residenciais, por meio do equacionamento de uma série de variáveis referentes aos aspectos construtivos da edificação – Etapa 1. Em seguida é feita a comparação dos resultados obtidos com os valores-base definidos no regulamento para determinar o nível de classificação final da edificação.

Após a classificação do nível de eficiência energética e da definição da ENCE Parcial (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) para cada sistema, é realizada uma análise crítica da edificação – Etapa 2 da Figura 24, identificando o potencial de efficientização dos sistemas avaliados. Essa segunda análise não se limita às diretrizes do regulamento, tendo como objetivo recomendar ações de melhorias sempre que houver possibilidade de potencializar os ganhos energéticos, ou seja, mesmo em casos onde a classificação já é a máxima - Etapa 3.

Como exemplo de ação de eficiência energética tem-se a substituição de equipamentos de refrigeração ineficientes, ou seja, aqueles sem a etiqueta do INMETRO ou com etiquetas de níveis inferiores ao A (nível máximo de desempenho energético), por equipamentos etiquetados e com selo A de eficiência.

Outra ação a ser adotada para a efficientização da edificação pode ser o redimensionamento dos sistemas de refrigeração e iluminação artificiais com base nos limites adequados estipulados nas normas e regulamentos específicos. A abertura de janelas (de preferência na etapa de projeto das futuras edificações ou em retrofits) é uma alternativa possível para uma maior contribuição da iluminação e ventilação naturais e, assim, minimizar os gastos energéticos com sistemas artificiais de iluminação e refrigeração.

É imprescindível reforçar que a tomada de decisão para a implantação dessas e outras ações de efficientização deve ser cautelosamente estudada, avaliando sempre a viabilidade de sua execução, se são factíveis de serem empregadas na prática. E desta forma, justificando a importância da simulação computacional e a utilização do *software RetScreen*, que proporcionará a verificação da viabilidade dessas medidas.

A simulação computacional poderá ser a última etapa da metodologia apresentada nesta dissertação – Etapa 4 da Figura 24, onde, através do *RETScreen*, serão avaliados três aspectos

necessários à aprovação das medidas propostas sobre a estrutura ou equipamentos da edificação: energético, econômico e ambiental.

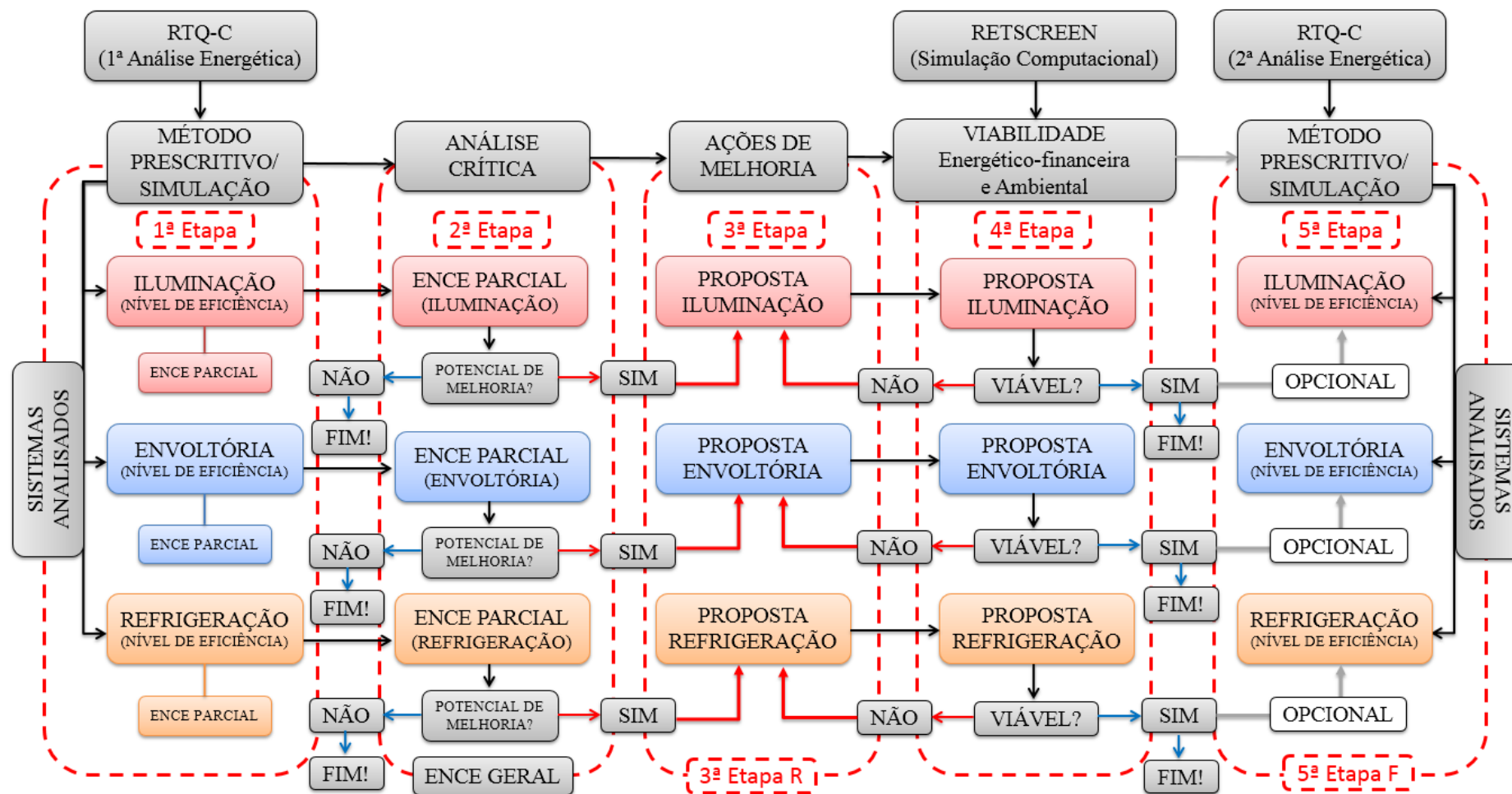
A análise energética tem a função de comprovar a redução do consumo de energia elétrica, comparando o consumo energético do caso de referência (existente ou proposta 01 de projeto) com o consumo energético do caso proposto (reforma ou proposta 02 de projeto), quantificado a partir dos dados inseridos no programa. A análise econômica apresenta o tempo do retorno financeiro (*payback*) do valor investido para a execução das ações propostas, além de calcular a lucratividade que o investimento terá com ganhos energéticos e/ou com a economia de operação e manutenção.

E a análise ambiental, por sua vez, propõe-se a quantificar a emissão de gases do efeito estufa dos dois cenários apresentados, fazendo o balanço das emissões anuais do caso referência e do caso proposto e, assim, estipulando a possível redução anual em toneladas de gás carbônico.

A simulação no *RETScreen* 4.0 gera um diagnóstico da edificação para ratificar os ganhos energéticos. O diagnóstico energético busca listar as oportunidades de redução de energia, o custo-benefício de cada ação e os resultados esperados. Ela comprova, também, o quanto as medidas de efficientização são válidas e factíveis. Já a comprovação da redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, além de exibir o compromisso ambiental do projeto, pode ser convertida em crédito carbono para, posteriormente, ser negociado no mercado internacional e gerar lucro adicional ao cliente. Futuramente, esta redução comprovada das emissões dos gases poluentes pode servir como bonificação para a obtenção da ENCE, representando um acréscimo na pontuação final, aumentando, portanto, seu nível de eficiência na etiqueta.

Caso a 4ª etapa referente aos três diagnósticos mencionados resulte em um parecer desfavorável, de inviabilidade das medidas propostas, a 3ª etapa da metodologia é retomada onde serão propostas outras soluções em substituição ou retificação às já sugeridas. Esse retorno para a etapa anterior está identificado no diagrama da metodologia na Figura 24, como 3ª etapa “R” de retorno, ou seja, uma retomada para a elaboração de outras novas propostas de melhoria do (os) sistema (as). Em seguida a etapa de simulação também é retomada para analisar as novas proposições. Essas etapas cíclicas mostram a flexibilidade da metodologia, que deve ser utilizada com bom senso a fim de que se encontre um consenso na escolha das medidas que realmente serão executadas. A definição delas estará sujeita a uma série de fatores específicos, como: o valor do orçamento da obra; o *payback* desejado; a disponibilidade de mão de obra, material e/ ou fornecedor, etc.

Figura 24. Diagrama esquemático da Metodologia proposta.



Fonte: Autora.

Após constatar-se a viabilidade das alterações através de relatórios de diagnósticos elaborados com base nos resultados da simulação do *RETScreen* 4.0, pode-se reavaliar com os métodos do RTQ-C os sistemas parciais ou de uma forma geral (caso todos tenham passado por ajustes) – 5 Etapa. Esta última etapa, tem a função de confirmar o bom desempenho obtido na primeira análise, se for o caso; ou confirmar que as propostas de melhoria ajudaram a edificação analisada a aumentar seu nível de eficiência energética, caso tenha sido abaixo do esperado. Ratificando que a estratégia traçada foi verdadeiramente eficaz e viável.

Além de agregar valor mercadológico ao empreendimento, com as questões de sustentabilidade e eficiência energética, a metodologia pode ser aplicada para gerar diagnósticos importantes para justificar investimentos nos empreendimentos ou buscar recursos em Fundos de Eficiência Energética. As ações mais comuns de eficiência energética incluem (IEA, 2014):

- Migração da iluminação convencional para *LED*;
- Automação (uso de sensores/acionamentos, inversores de frequência, etc....);
- Uso de equipamentos de alta eficiência;
- Aquecimento solar (água);
- Energia Solar fotovoltaica;
- Economia de gás e de água, etc.

Além do fundo, existem outras formas de pagar o investimento com a própria economia gerada. Com isso, a metodologia desenvolvida será apresentada na avaliação do desempenho energético do novo prédio e Bloco de Salas de Aula da UFPA, o Mirante do Rio, com base nas diretrizes estipuladas pelo RTQ-C. Estudo de caso aplicado nesta dissertação.

3.3 Estudo de Caso

3.3.1 Descrição do Local e Clima

A cidade de Belém é a capital do Estado do Pará. O Pará, segundo maior Estado do Brasil em extensão, está localizado no centro da região Norte do Brasil. Seus limites são os seguintes: Estado do Amapá e o Suriname (Norte); Mato Grosso (Sul); Maranhão (Leste); Amazonas (Oeste); Oceano Atlântico (Nordeste); Tocantins (Sudeste) e estado de Roraima e Guiana (Noroeste), Figura 25. A extensão territorial do Pará é de 1.248.042,515km², divididos em 144 municípios.

Figura 25. Mapa da extensão territorial do Estado do Pará e da cidade de Belém.



Fonte: Google Maps, 2016.

A cidade de Belém localiza-se a 2.140 quilômetros de distância da capital federal, Brasília. Segundo o IBGE 2016, possui área de 1.059,458 km² e população de 1.439.561 habitantes, estimativa do ano de 2015. É a segunda cidade mais populosa da Região Norte e a décima - primeira do Brasil. Possui um dos maiores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) entre os municípios do norte brasileiro.

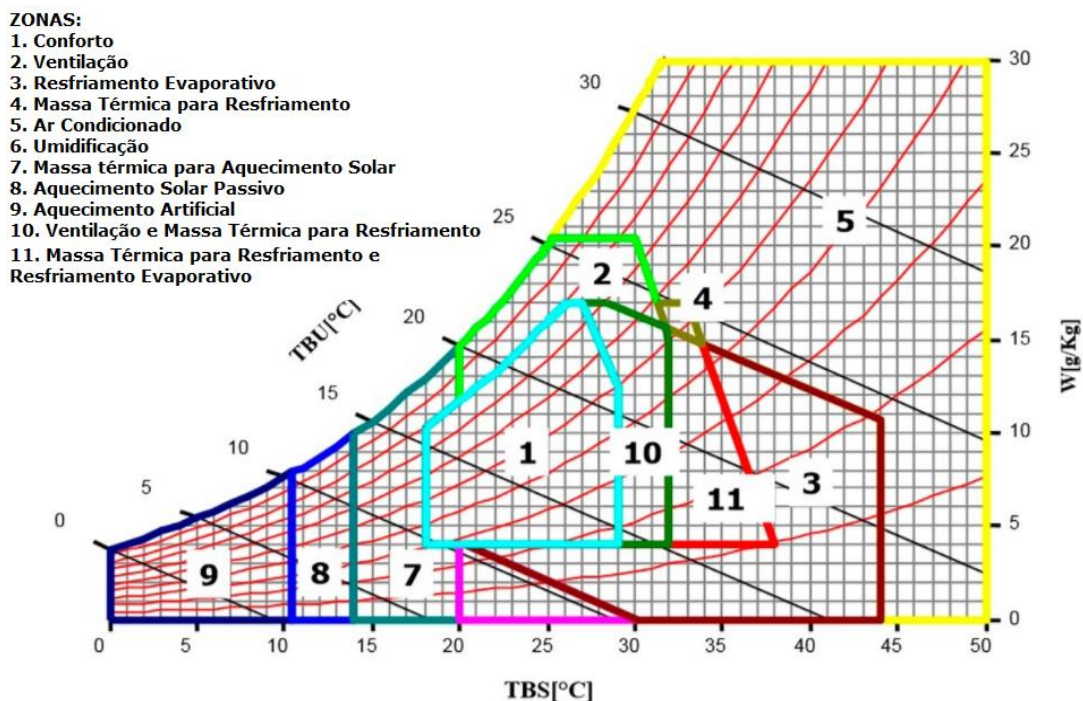
Belém encontra-se situada próximo da linha do Equador, tendo como coordenadas a latitude de 1°27'55.23" Sul, e longitude 48°29'12.63" Oeste. Apresenta clima equatorial, quente e úmido, típico amazônico, tendo como característica altas temperaturas e alta umidade relativa do ar o ano todo. A temperatura anual média, registrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em 2016, na faixa dos 26°C e temperaturas máximas acima dos 30°C o ano todo. Além do alto volume pluviométrico por conta das chuvas constantes. Considerando as precipitações pluviais, o inverno amazônico é a estação das grandes chuvas. Por isso, o clima da região é marcado por duas estações: o verão, que para a Região Norte indica o início do período chuvoso (de dezembro a maio) e o inverno, indicando o período mais seco (de junho a novembro).

3.3.2 Dados Climáticos de Belém e as Estratégias Bioclimáticas

Conforme Szokolay (1987 apud Lamberts 2012), “psicrometria é o estudo do ar úmido e das mudanças em suas condições” considerando as variações e os processos de transferência de calor. A Carta Bioclimática de Givoni utiliza o Diagrama Psicrométrico com as Temperaturas de Bulbo Úmido (TBU) e as Temperaturas de Bulbo Seco (TBS) baseadas nos

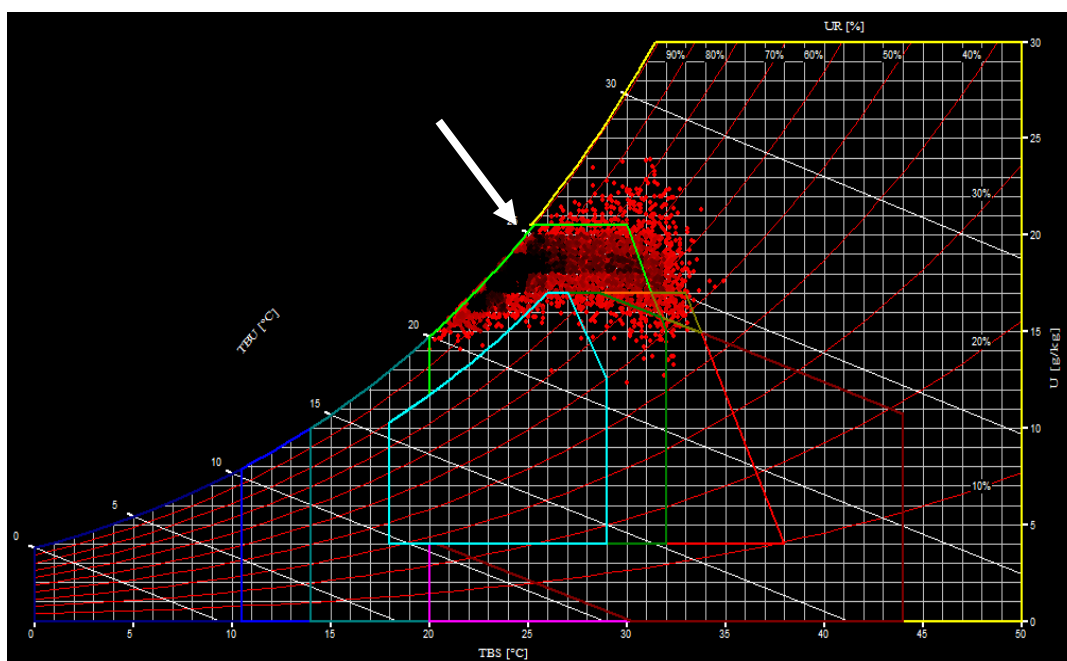
dados climáticos de cada localidade, com isso é possível saber quais as melhores estratégias bioclimáticas. Esta carta é a mais indicada para o Brasil e é uma importante ferramenta para os projetistas. A Figura 26 indica as Zonas Bioclimáticas e será utilizada como referência para a análise bioclimática de Belém a seguir, Figura 27.

Figura 26. Carta Bioclimática de Givoni.



Fonte: Imagem extraída do software *Analysis Bio* e adaptada pela autora.

Figura 27. Carta Bioclimática com os Dados Climáticos Horários Anuais de Belém, 1964.



Fonte: *Software Analysis Bio*.

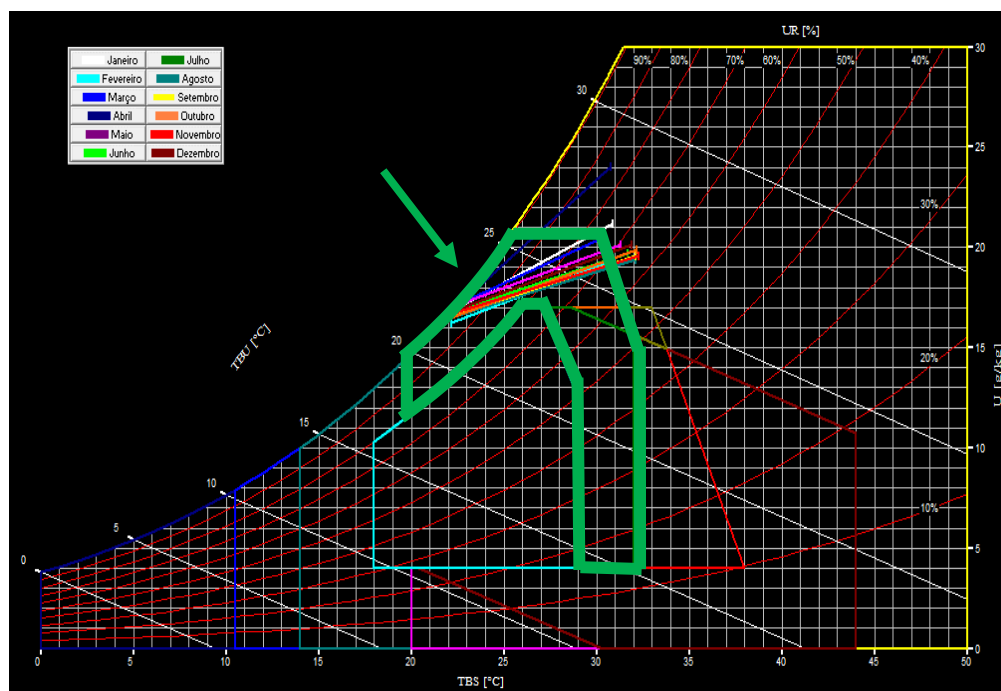
Ao analisar a carta bioclimática de Belém, nota-se que a concentração de ocorrências climáticas está concentrada na mancha escura indicada pela seta na Figura 27. Os pontos vermelhos e brancos estão situados predominantemente na zona de ventilação diurna e consideravelmente na zona de refrigeração (ar condicionado).

Conforme o relatório gerado no programa *Analysis Bio*, Belém está 0,708% das horas dentro da zona de conforto, e o restante corresponde à sensação de desconforto causado pelo calor. As estratégias bioclimáticas indicadas são ventilação (88,8% das horas anuais), alta inércia para resfriamento (4,46%), resfriamento evaporativo (2,33%) e o condicionamento de ar artificial (9,05%). O relatório ainda indica que o sombreamento é recomendado 100% do tempo, ou seja, a radiação direta deve ser evitada.

O *software* pode fazer análises sazonais ou para períodos de tempo específicos. Além disso, pode-se analisar os dados mensais através das normais climatológicas. Lamberts (2012) descreve como são construídas essas linhas mensais. Para efeito deste trabalho, limitou-se a defini-las como uma descrição geométrica das variáveis de temperatura e umidade e quando plotadas na carta psicrométricas, estas ilustram mensalmente os requerimentos de cada estratégia bioclimática, e que por empregarem valores médios, são menos suscetíveis a erros projetuais.

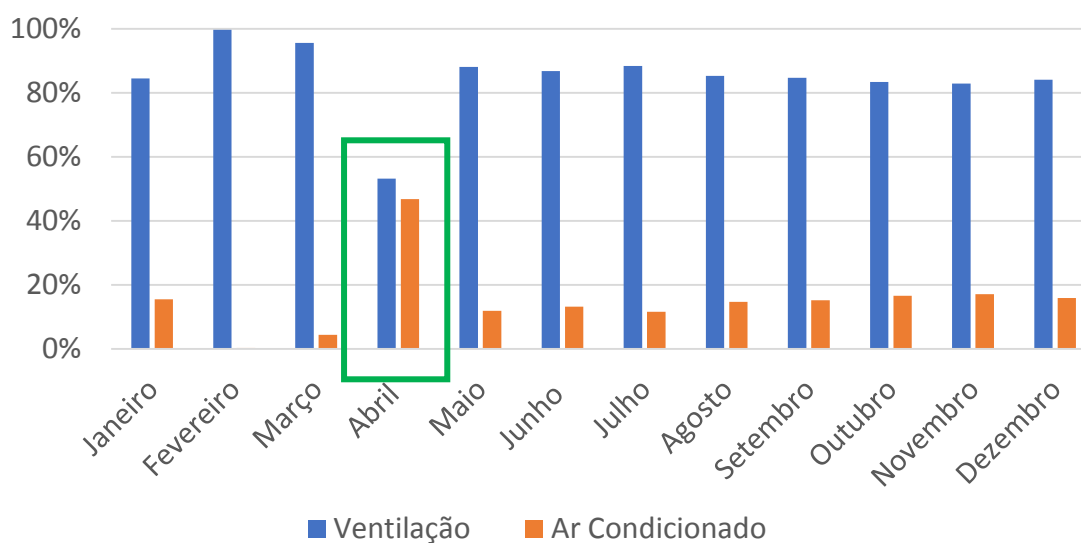
A Figura 28 e Figura 29 demonstram as normais climatológicas de Belém e os percentuais mensais de cada estratégia bioclimática baseados nos dados do Relatório gerado pelo programa *Analysis Bio*. Os dados indicam que na maior parte das horas a ventilação é a melhor estratégia para Belém, com exceção para o mês de abril, onde requer 47% das horas o uso do ar condicionado para atingir a condição de conforto.

Figura 28. Normais Climatológicas Mensais de Belém.



Fonte: Normais Climatológicas de Belém apresentados pelo *Software Analysis Bio*.

Figura 29. Percentual Mensal por Estratégia Bioclimática para Belém.

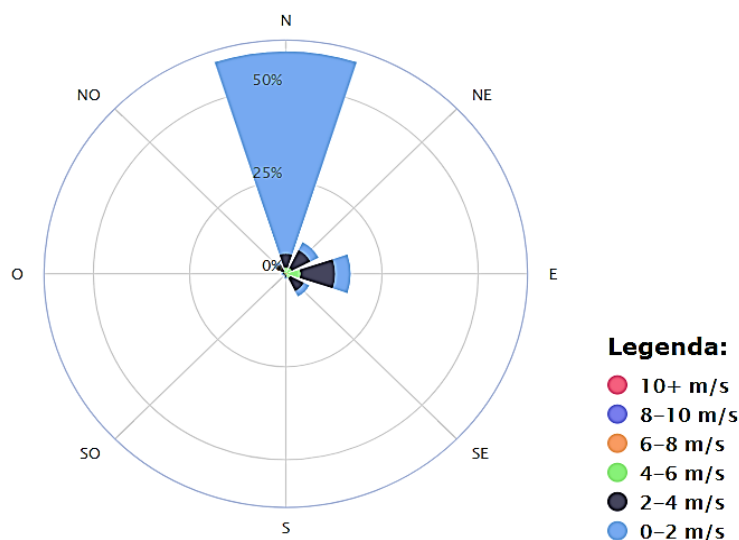


Fonte: Relatório das Normais Climatológicas de Belém indicados pelo programa *Analysis Bio*.

A Figura 30 mostra que apesar da frequência maior dos ventos serem provenientes do Norte, a velocidade dos ventos do Leste é maior e, portanto, ajudando a dissipar a energia (calor) por evaporação da água sobre a superfície da pele (dados do Projeteer – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes, para o ano de 2016). Corbella e Yannas (2013), afirmam que quanto mais rápida a renovação da camada de ar sobre a pele, maior a diminuição da sua temperatura, ocasionando o aumento da sensação de conforto. Porém, é

preciso observar os extremos da temperatura externa que pode fazer com que a ventilação não seja bem-vinda.

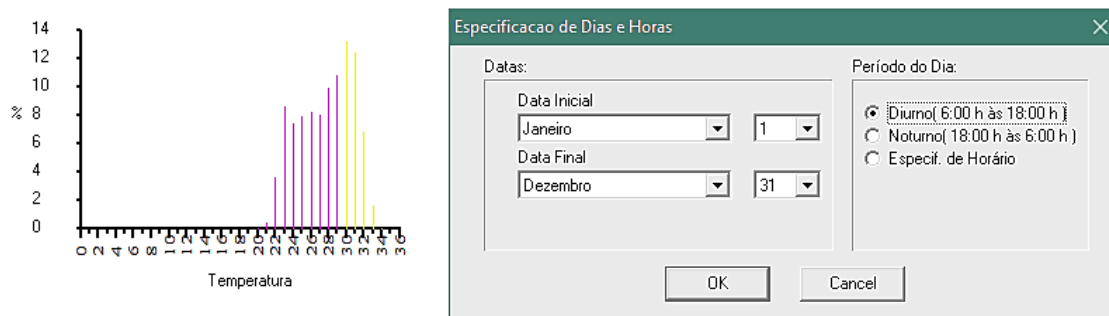
Figura 30. Rosa dos Ventos de Belém.



Fonte: [www.http://projeteee.mma.gov.br](http://projeteee.mma.gov.br).

Contudo, outras variáveis climáticas também influenciam nas tomadas de decisão arquitetônica. A temperatura, a radiação solar e a nebulosidade influenciam consideravelmente o ganho de carga térmica do edifício. A Figura 31 mostra a distribuição das temperaturas do ar ao longo do ano para o período diurno, que corresponde o período entre seis da manhã e seis da tarde, na cidade de Belém.

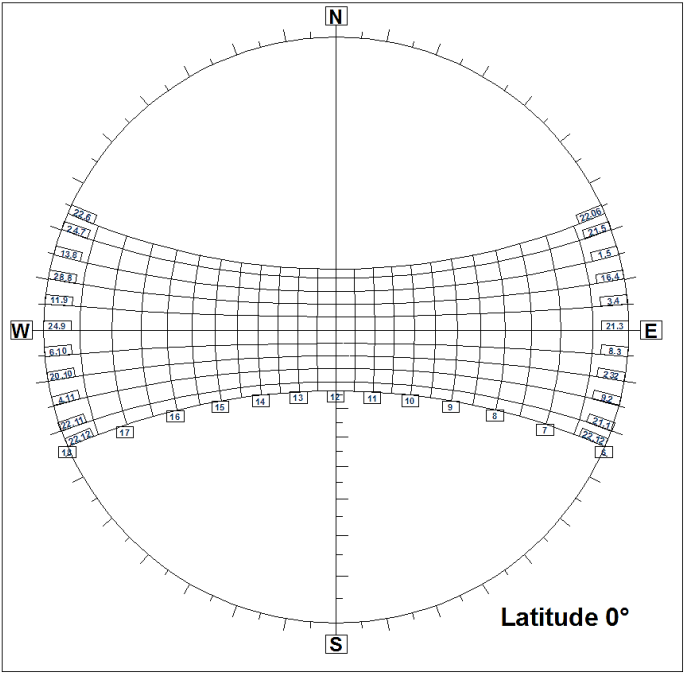
Figura 31. Distribuição das Temperaturas do Ar de Belém no Período Diurno.



Fonte: Dados Climatológicos de Belém de 1964 processados no Software *Analysis Bio*.

Foi decidido analisar apenas esse período, já que a latitude de Belém faz com que os períodos noturno e diurno tenham o mesmo número de horas em praticamente todas as épocas do ano. A Figura 32 mostra o diagrama da trajetória aparente do sol para a latitude 0° indica os horários em que a insolação direta incide sobre cada fachada contidos na Tabela 8.

Figura 32. Diagrama da Trajetória Aparente do Sol.



Fonte: Autora.

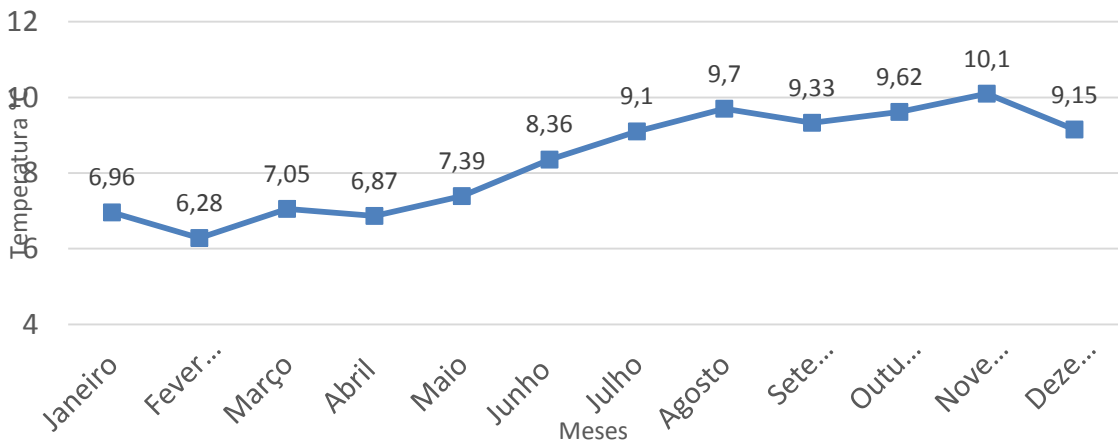
Tabela 8. Horários de início e fim da insolação direta nas orientações cardinais na lat. 0°.

Período	Norte	Leste	Sul	Oeste
22 de junho	06h / 18h	06h / 12h	- / -	12h / 18h
Equinócios	06h / 18h	06h / 12h	06h / 18h	12h / 18h
22 de dezembro	- / -	06h / 12h	06h / 18h	12h / 18h

Fonte: Software Analysis Bio

Além disso, a amplitude das temperaturas de Belém não é muito alta, devido à alta umidade relativa do ar, o que faz com que as temperaturas não variem muito ao longo do dia. O Gráfico 1 ilustra os dados de Amplitude de Temperatura para Belém.

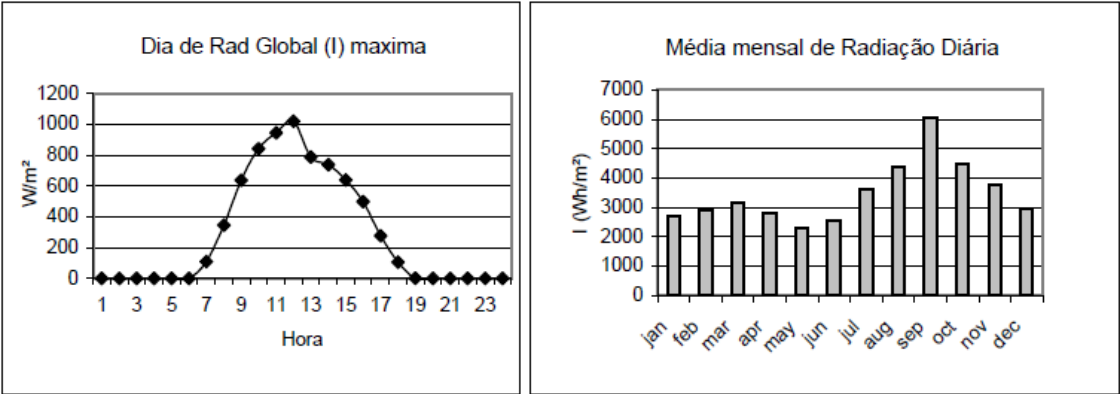
Gráfico 1. Amplitude de Temperatura Média Mensal (Diferença entre T_{máx.} e T_{mín.}).



Fonte: Software Analysis Bio.

Os mesmos dados climatológicos utilizados ainda indicam as horas em que Belém recebe mais radiação solar ao longo do ano. Percebe-se ao analisar a Figura 33 que os horários críticos, onde a radiação passa dos 800W/m², estão no intervalo entre 10 da manhã e meio dia. Contudo, a radiação acima de 500W/m² apresenta-se no intervalo entre 9 da manhã e 4 da tarde.

Figura 33. Imagem dos Gráficos da Radiação Global (I) máxima por hora e média mensal de radiação diária de Belém.



Fonte: Resumo do Arquivo Climático de Referência TRY (do inglês, *Test Reference Year*).

Entretanto, há um fator que influencia muitíssimo na radiação solar direta: a nebulosidade. Com o céu parcialmente ou completamente nublado, os níveis de radiação diminuem sensivelmente. No caso de Belém, a nebulosidade média mensal varia de 5.2 no mês de agosto a 8.6 no mês de março, conforme dados do software ArquiTrop 3.0 ilustrados na Tabela 9. Esses números representam o percentual global da abóbada celeste coberta por nuvens.

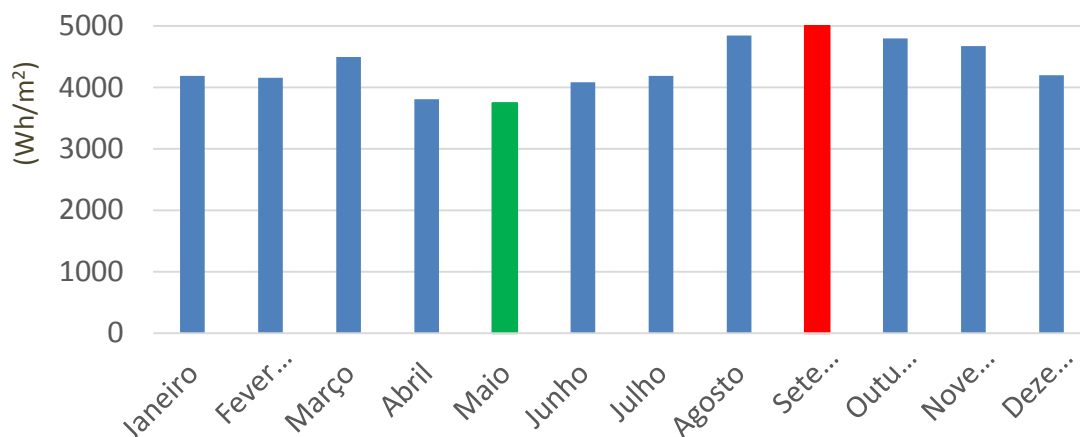
Tabela 9. Dados Climáticos de Belém com Destaque para as Nebulosidades Médias.

>> ARQUITROP 3.0 - BANCO DE DADOS CLIMATICOS									FICHA : 2/PA		<<	
Cidade: BELEM				UF:PA	Lat:01 28	Lon:48 27	Alt: 24					
		MAX. ABS.	MIN. ABS.	AMPL ABS.	MED. MAX.	MED. MIN.	AMPL MED.	UM RL	CHU TOT	NEB MED	DIR VEN	VEL VEN
01	JAN	34.6	19.5	15.1	31.0	22.6	8.4	89	318	7.7	90	2.6
02	FEV	33.7	20.2	13.5	30.4	22.7	7.7	91	407	8.3	90	2.6
03	MAR	34.5	19.6	14.9	30.3	22.8	7.5	91	436	8.6	90	3.1
04	ABR	34.1	21.1	13.0	30.8	23.0	7.8	90	381	8.2	90	3.1
05	MAI	34.1	20.4	13.7	31.4	22.9	8.5	87	264	7.4	90	2.6
06	JUN	34.1	20.2	13.9	31.8	22.5	9.3	84	164	6.1	90	3.1
07	JUL	34.2	19.5	14.7	31.7	22.2	9.5	83	160	5.6	90	3.1
08	AGO	34.0	19.1	14.9	32.0	22.1	9.9	83	116	5.2	90	3.1
09	SET	33.7	19.4	14.3	31.9	22.0	9.9	84	119	5.6	90	3.1
10	OUT	34.4	18.9	15.5	32.0	22.0	10.0	83	104	5.5	90	3.1
11	NOV	35.1	19.4	15.7	32.2	22.1	10.1	82	90	6.0	90	3.1
12	DEZ	35.4	19.3	16.1	31.8	22.4	9.4	85	197	6.8	90	3.1
13	ANO	34.3	19.7	14.6	31.4	22.4	9.0	86	2756	6.8	90	3.1

Fonte: Dados do Software ArquiTrop 3.0

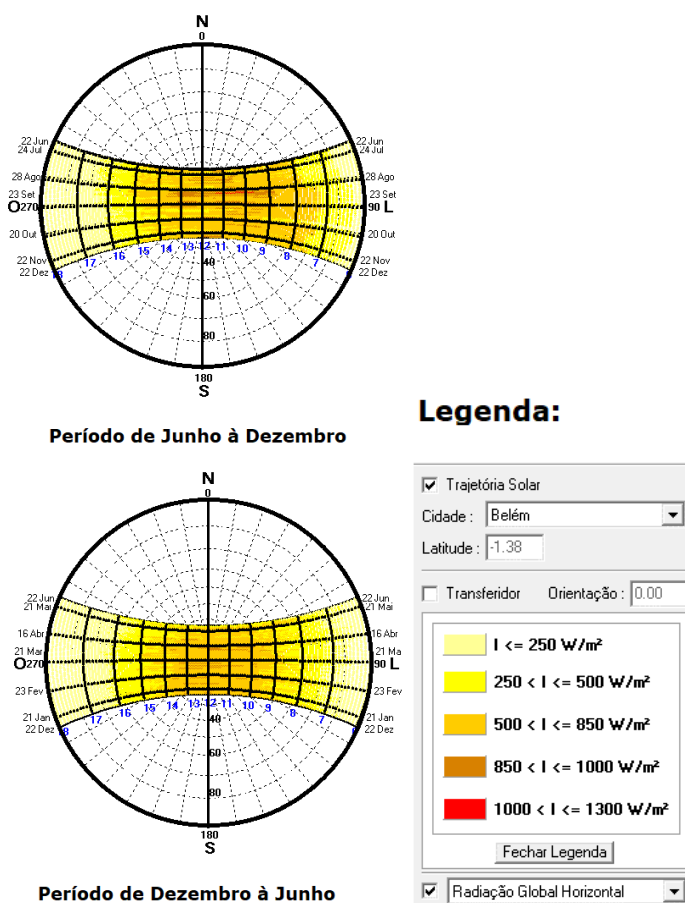
O Gráfico 2 ilustra os dados mais recentes de Radiação Solar Mensal de Belém coletados pelo INMET, indicando que o segundo semestre do ano apresenta níveis de radiação mais elevados, cujo pico é no mês de setembro. Já o mês de maio apresenta o menor nível. A Figura 34 também ilustra os dados da Radiação Global Horizontal Horária de Belém na Carta Solar, confirmando o segundo semestre como intervalo crítico.

Gráfico 2. Dados do INMET de radiação solar mensal de Belém.



Fonte: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE (UFSC).

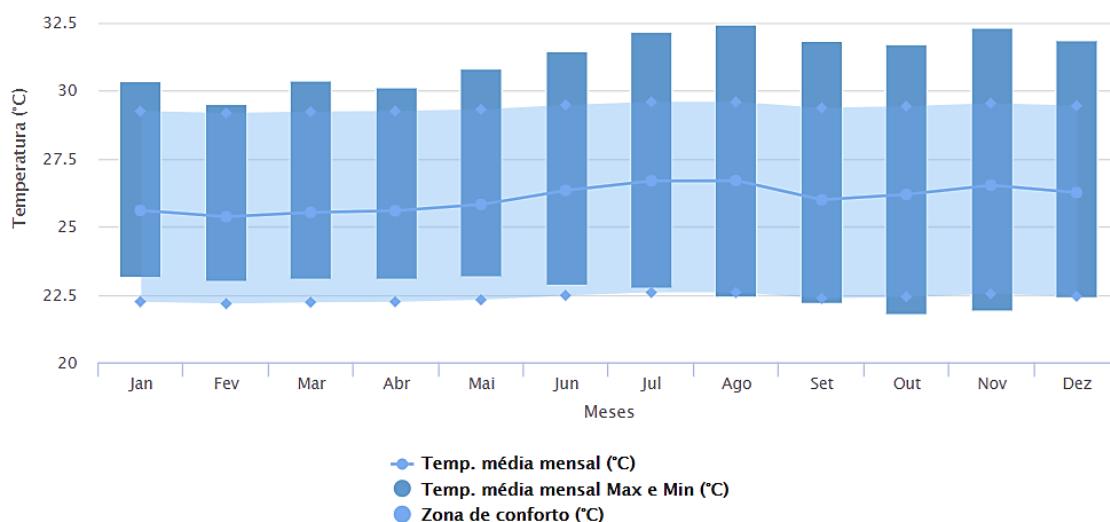
Figura 34. Carta Solar com Radiação Global Horizontal Horária de Belém.



Fonte: Software SOL-AR.

Os Gráfico 3 e Gráfico 4, a seguir, foram extraídas do site do Projeteee, desenvolvido pelo LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC em parceria com o Ministério do Meio Ambiente. Os arquivos climáticos adotados pela plataforma são do INMET, 2016. O Gráfico 3 mostra as temperaturas médias, máximas e mínimas de Belém e a temperatura da Zona de Conforto mensal. Já o Gráfico 4 indica de radiação global horizontal diária máxima e mínima e a sua média mensal.

Gráfico 3. Gráfico de Temperatura e Zona de Conforto.



Fonte: [www.http://projeteee.mma.gov.br](http://projeteee.mma.gov.br).

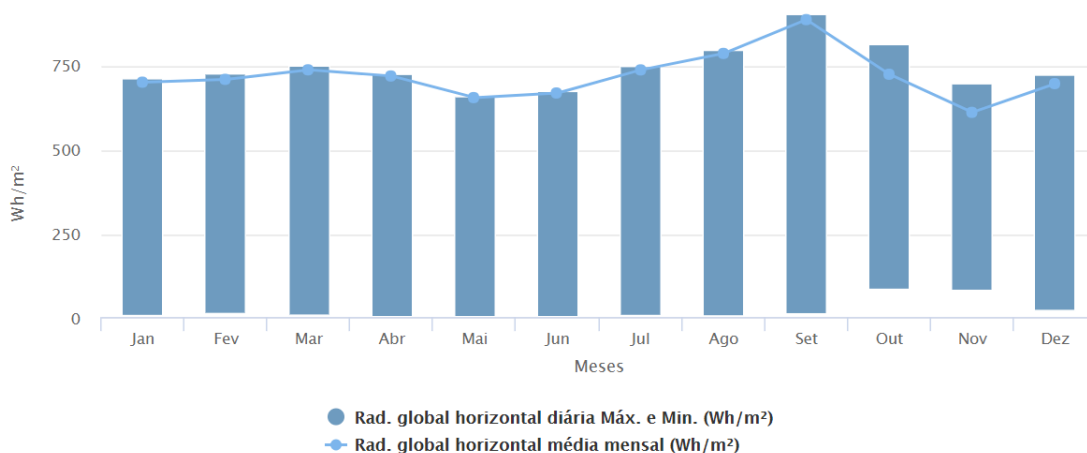
No Gráfico 3, pode-se notar que as temperaturas máximas na capital paraense estão sempre acima do limite máximo estipulado como zona de conforto, que se concentra abaixo dos 29°C. Percebe-se que de julho a dezembro esse distanciamento se acentua ainda mais, com destaque para os meses de agosto e novembro que ficaram com 2,77°C e 2,66°C respectivamente, acima da temperatura da zona de conforto para esses meses.

Analisando o Gráfico 3, o período com temperaturas mais amenas identificado como de janeiro a junho, tem fevereiro como o melhor mês de 2016, em termos de conforto térmico. Ele foi único com a temperatura máxima abaixo dos 30°C, esta que predomina o ano todo, apesar da média ficar entrono dos 25 e 26°C. A sua temperatura mínima de fevereiro está dentro da zona de conforto e a máxima foi a que mais se aproximou da zona, o que confirma este como sendo o mês mais climaticamente agradável do ano.

A própria NBR 15220-3 classifica como Zona Bioclimática 8 uma grande parcela do território brasileiro, definindo estratégias iguais para latitudes com quase 20 graus de diferença. Entretanto, ressalta que “o condicionamento passivo será insuficiente durante as

horas mais quentes” (ABNT, 2003). A homogeneização dos dados climáticos em zonas muito extensas pode induzir à falta de uma análise mais profunda e pontual da localidade onde será implantado o edifício.

Gráfico 4. Gráfico de Radiação Diária Máx. e Min. Mensal com Valores Médios.



Fonte: [www.http://projeteee.mma.gov.br](http://projeteee.mma.gov.br).

O Gráfico 4 mostra bem a necessidade de projetar edificações com dispositivos de sombreamento à radiação solar, pois se percebe que os altos níveis de radiação são presentes em todos os meses do ano sempre acima de 650Wh/m². A incidência dessa alta radiação nas fachadas das edificações, projetadas em Belém, implica em elevados ganhos de carga térmica para o interior dos ambientes.

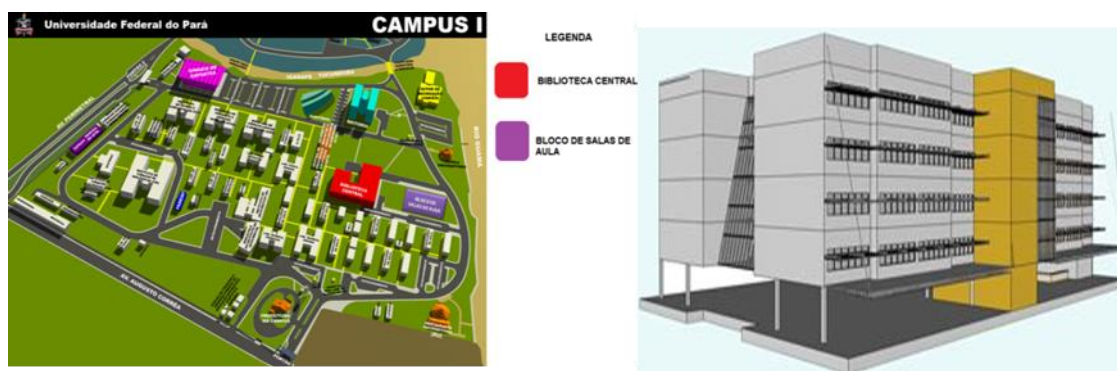
Isso se converte em um alto gasto energético pelos equipamentos de resfriamento, caso o projeto da edificação não contemple as estratégias corretas, como por exemplo, as bioclimáticas de ventilação, sombreamento e também as técnicas de isolamento térmico nos elementos de composição da envoltória (paredes e cobertura). Lembrando que mesmo com o bom uso dessas estratégias projetuais o clima da região ainda exige arrefecimento artificial, o que traz a necessidade de pensar em todos os elementos climáticos que implicam no projeto arquitetônico em consequentemente no consumo energético final da edificação.

Todos os dados climáticos acima apresentam um panorama do perfil climático de Belém e deveria invariavelmente servir como parâmetros para os projetistas que buscam diminuir o consumo energético dos seus edifícios. Contudo, fazer uma interpretação holística desses dados e gráficos exige uma atenção extra, já que a maior parte dos autores do assunto tratam as soluções arquitetônicas para clima tropical-úmido de forma geral, muitas vezes engessando regras que podem se aplicar a algumas latitudes e condições climáticas regionais, mas não a outras.

3.3.3 Edificação Analisada

O objeto de estudo escolhido para aplicação e análise do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C) foi o prédio de salas de aulas da Universidade Federal do Pará – Espaço de Ensino Mirante do Rio. Este prédio de ensino está localizado no Campus I, Setor Básico da Universidade Federal do Pará - UFPA, no bairro do Guamá em Belém-PA (Figura 35).

Figura 35. Urbanização da UFPA e Maquete eletrônica do Espaço de ensino Mirante do Rio.



Fonte: www.portal.ufpa.br.

O projeto do bloco foi elaborado com o intuito de substituir os defasados pavilhões térreos de salas de aula por blocos verticais. A edificação passa a concentrar as atividades de ensino, proporcionando o reordenamento dos espaços do Campus, além de otimizar o controle e a manutenção das salas de aula.

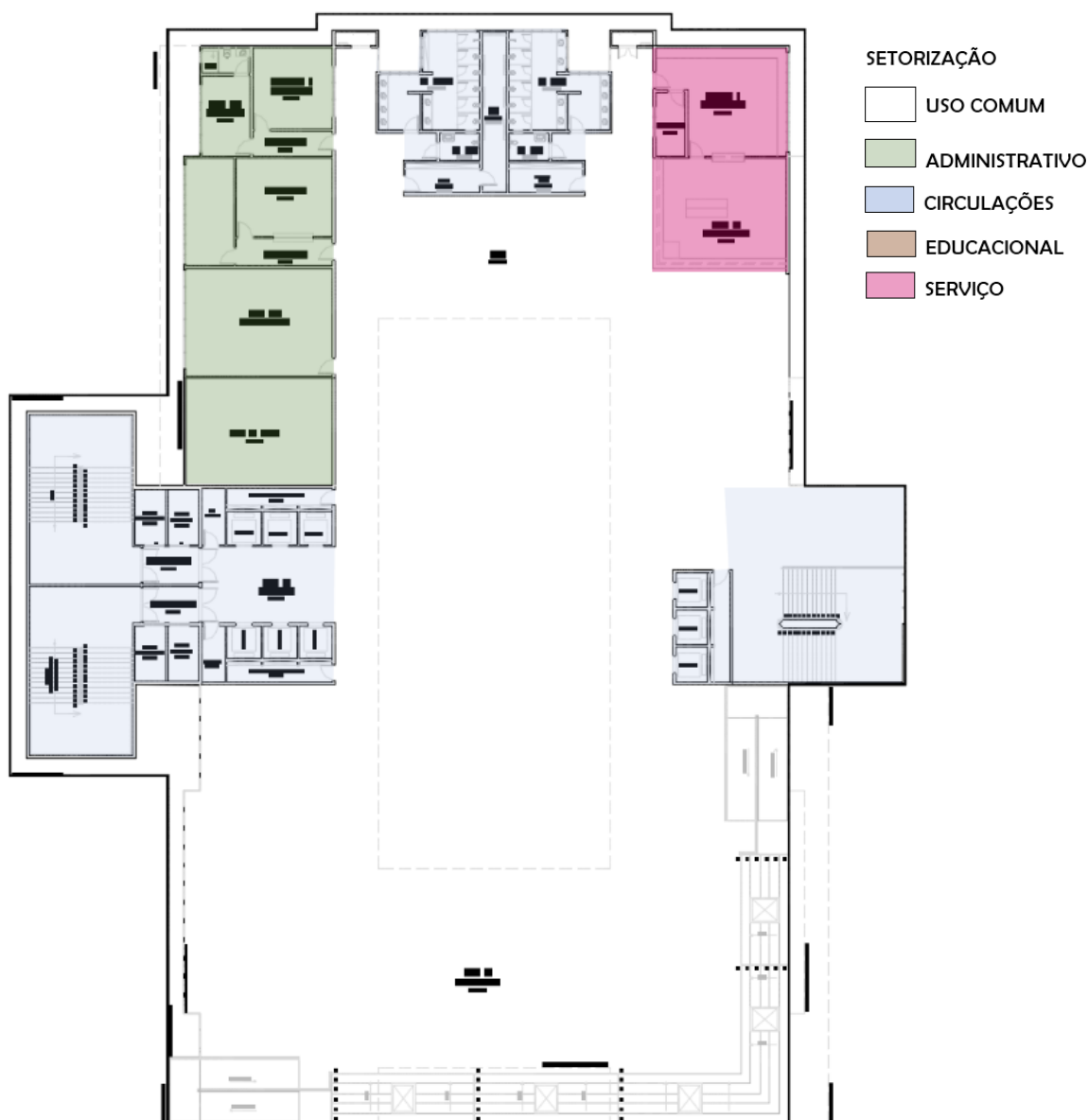
Segundo matéria publicada no site da UFPA em 2012: "A intenção é proporcionar mais áreas verdes, áreas de convivência, estacionamentos e mais espaços para serem usados pela comunidade acadêmica." Na matéria a arquiteta Ana Beatriz Galende, da Assessoria Técnica da Prefeitura da UFPA, ressalta que o projeto contempla a diretriz do Plano Diretor de Obras do Campus do Guamá, que prevê a verticalização das futuras construções da universidade. A Normativa nº02 de 2014, que exige das edificações novas e retrofits possuírem Certificação Nível A de Eficiência Energética.

Com uma área de projeção de 3.800m², a edificação fica situada de frente para a orla da universidade, banhada pelo Rio Guamá, justificando o seu nome: Mirante do Rio. A edificação possui estrutura em concreto armado e tem 5 pavimentos, onde serão ministradas aulas dos mais variados cursos de graduação, voltadas para atender as necessidades de todo o Setor Básico.

O pavimento térreo será destinado a vários ambientes de apoio como: secretaria, pequeno almoxarifado, sala para professores, sala de sistema de controle e automação, sala para vigilantes, lanchonete e área livre de convivência para alunos (Figura 36).

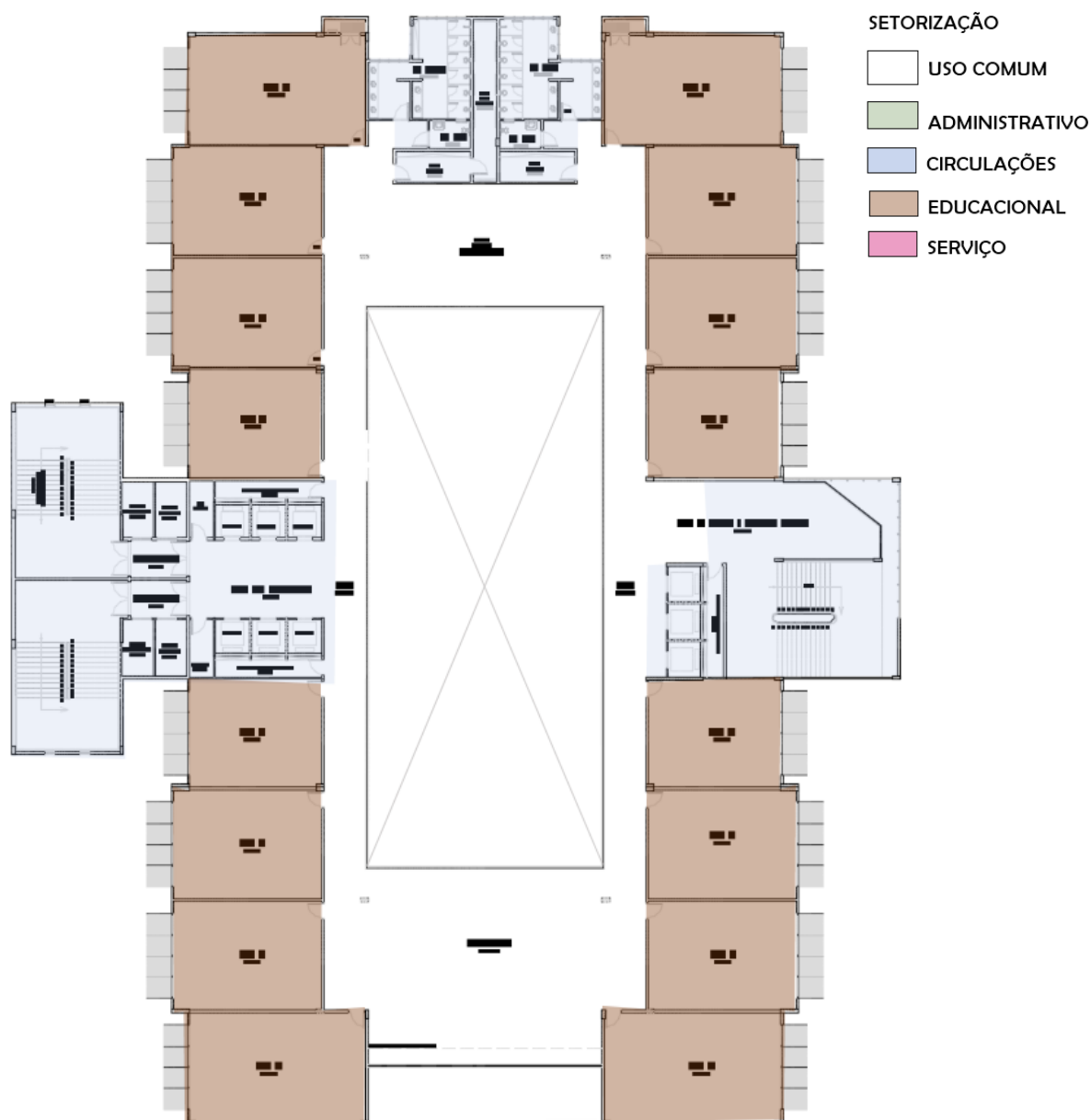
Os demais pavimentos (Figura 37) são compostos por salas de aulas: 16 unidades por pavimento, com capacidade média para 40 alunos por sala. O prédio conta ainda com nove elevadores, três escadas, acessibilidade, bem como banheiros em todos os pavimentos. Esses dados são importantes para a caracterização das funções e atividades de cada ambiente, servindo como base na escolha do método de análise do sistema de iluminação do RTQ-C, como será visto a seguir.

Figura 36. Planta Baixa Pavimento Térreo – Mirante do Rio.



Fonte: Adaptado do acervo da UFPA

Figura 37. Planta Baixa Pavimento Tipo (1º, 2º, 3º e 4º) – Mirante do Rio.

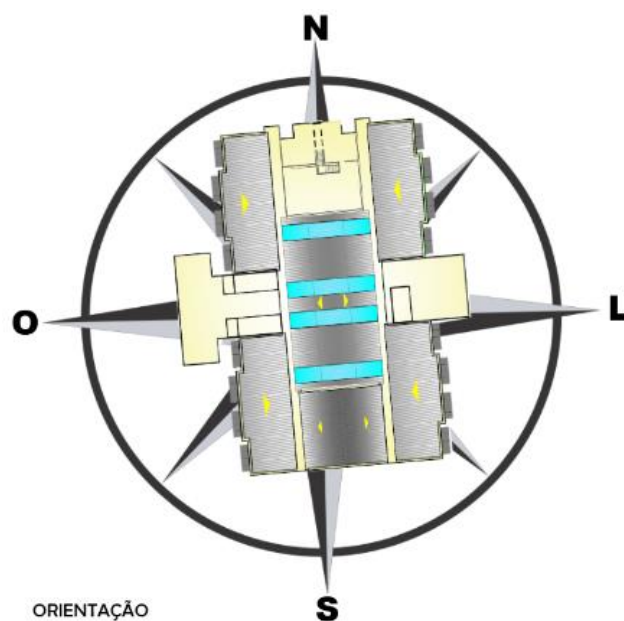


Fonte: Adaptado do acervo da UFPA

Orientação

A edificação está orientada com seu eixo longitudinal no sentido Norte-Sul, com o deslocamento de 5° no sentido anti-horário. A Figura 38 ilustra a sobreposição da edificação e a rosa dos ventos para a determinação das fachadas conforme os quadrantes estabelecidos pelo Programa de Etiquetagem de Edificações. Observa-se a orientação para o leste da fachada frontal composta por pele de vidro. A fachada que possui grandes vãos livres para proporcionar a vista para o rio, está voltada para o sul.

Figura 38. Sobreposição do Mirante do Rio sobre a rosa dos ventos para a orientação das fachadas.



Fonte: Autora.

No entorno do Mirante do Rio encontram-se: o prédio da Biblioteca Central, na frente da fachada norte e uma ampla área livre bosqueada em frente a fachada leste. A fachada sul está voltada para a orla e existem alguns dos antigos blocos de salas de aula, paralelos à fachada oeste da edificação.

Se não fossem os brises de sombreamento aplicados nas fachadas leste e oeste o Mirante ficaria exposto à insolação durante todo o ano, já que os elementos do entorno da edificação não chegam a gerar sombras nas fachadas, pois os poucos prédios, vegetações e equipamentos urbanos que o circundam não possuem altura ou distância suficiente obstruir a radiação solar, como pode ser visto na Figura 39, Figura 40 e Figura 41.

Figura 39. Foto da edificação inserida no entorno do terreno.



Fonte: Autora.

Figura 40. Foto da área bosqueada na lateral leste da edificação.



Fonte: Autora.

Figura 41. Foto demonstrando a pouca influência da biblioteca central ao sombreamento do Mirante.



Fonte: Autora.

3.3.4 Envoltória

Características Construtivas da edificação

Paredes

A envoltória da edificação possui sistema estrutural (laje, pilares e vigas) em concreto armado. O sistema de vedação da envoltória (paredes internas e externas) é feito em alvenaria composta por bloco de concreto celular autoclavado de 2 furos (500 kg/m^3), assentados na maior dimensão. O tijolo de concreto celular possui dimensões de $90 \times 190 \times 390 \text{ mm}$ que recebem argamassa (1900 kg/m^3) de 2,5 centímetros nas duas superfícies, totalizando paredes com 15 centímetros de espessura, aproximadamente. A argamassa de assentamento e a de reboco (2000 kg/m^3) entre os tijolos tem 1,5 cm e 2,5 cm de espessura, respectivamente (NBR 15220-2/2003).

O RTQ-C leva em consideração a avaliação da transmitância nos pré-requisitos específicos de envoltória, considerando a média das transmitâncias dos diferentes materiais que constituem a envoltória ponderada pelas áreas que ocupam.

Cores e revestimentos externos

As fachadas da edificação são revestidas, predominantemente, com revestimento cerâmico de 10x10cm na cor neve, além de possuir algumas superfícies também com revestimento cerâmico de 10x10cm, porém, na cor amarela, caracterizando a predominância de cores externas claras da envoltória (Figura 42). Além de pintura acrílica na cor branca nas áreas que não recebem revestimento cerâmico. Internamente, o revestimento é feito em pintura acrílica branca.

Figura 42. Cores e revestimentos da parede da envoltória da edificação.

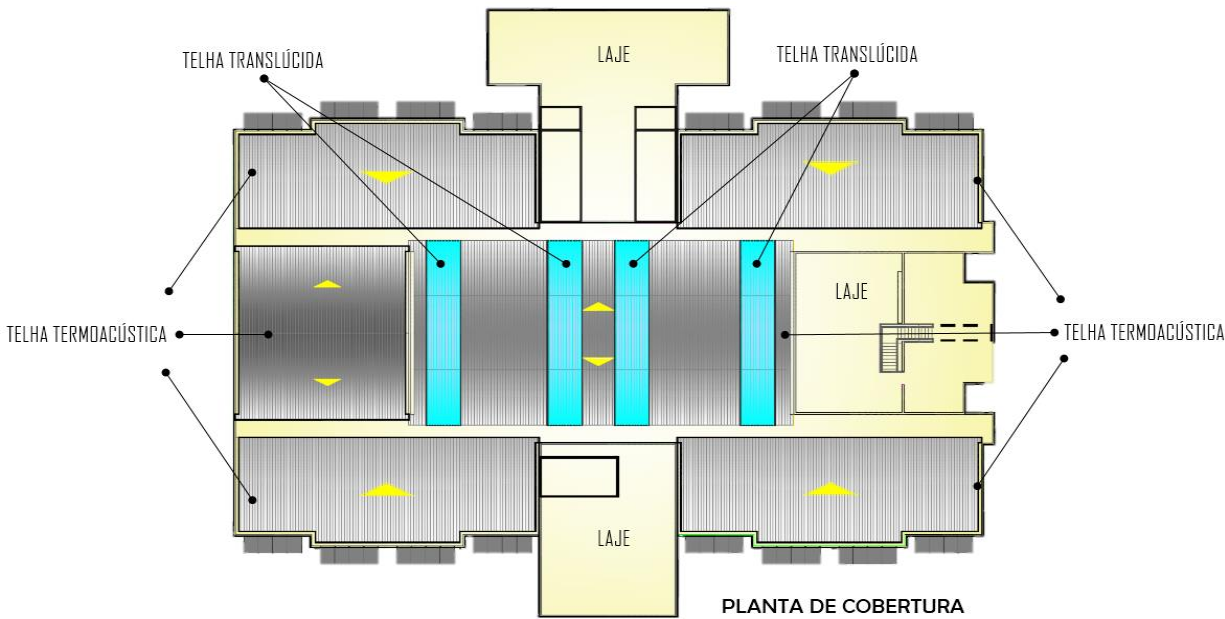


Fonte: Autora.

Cobertura

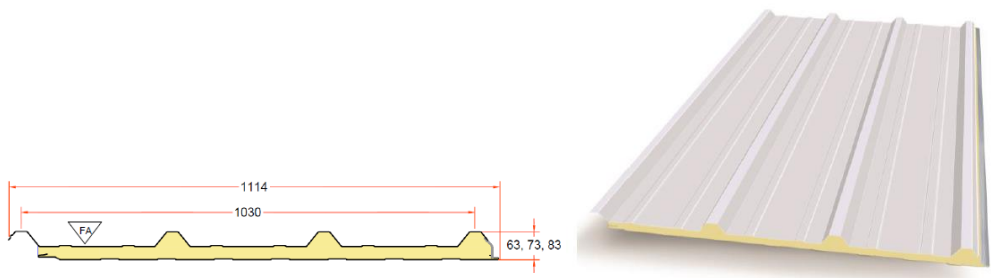
A edificação possui três tipos de elementos que compõem a sua cobertura, como mostra a Figura 43: telha termo acústica (43mm de espessura) com revestimento em pintura esmaltada branca, ilustrada na Figura 44; telha translúcida de polycarbonato com 2mm de espessura (Tabela 10), cobrindo o átrio central (Figura 45); e laje maciça (10cm de espessura) com impermeabilização em manta asfáltica (3mm de espessura), como mostra também na Figura 45.

Figura 43. Planta de Cobertura da Edificação com as tipologias de cobertura.



Fonte: Autora.

Figura 44. Detalhes das telhas que compõem a cobertura da envoltória.



Fonte: http://www.perfilor.com.br/lermais_materias.php?cd_materias=138

Tabela 10. Especificações técnicas da telha termo acústica.

Comprimento:	Máx. 12m e Mín. 3m
Espessura da chapa de aço:	De 0,43 a 0,65 mm
Tipos de chapa de aço:	Galvanizado Z225 ou Galvalume AZ150
Densidade:	38kg/m³
Coefficiente Global (U) de Transmissão de Calor, em função de sua espessura:	- 30 mm PUR – 0,73 (W/m²K). - 40 mm PUR – 0,56 (W/m²K). - 50 MM pur – 0,46 (W/m²K).

Fonte: Catálogo Perfilor, 2016.

Figura 45. Laje maciça impermeabilizada e cobertura translúcida do átrio central.



Fonte: Autora.

Aberturas

Um elemento importante a ser analisado na envoltória são as aberturas, pois elas propiciam a entrada direta de vento, radiação solar e iluminação natural, interferindo diretamente nos níveis de conforto térmico e conforto visual da edificação.

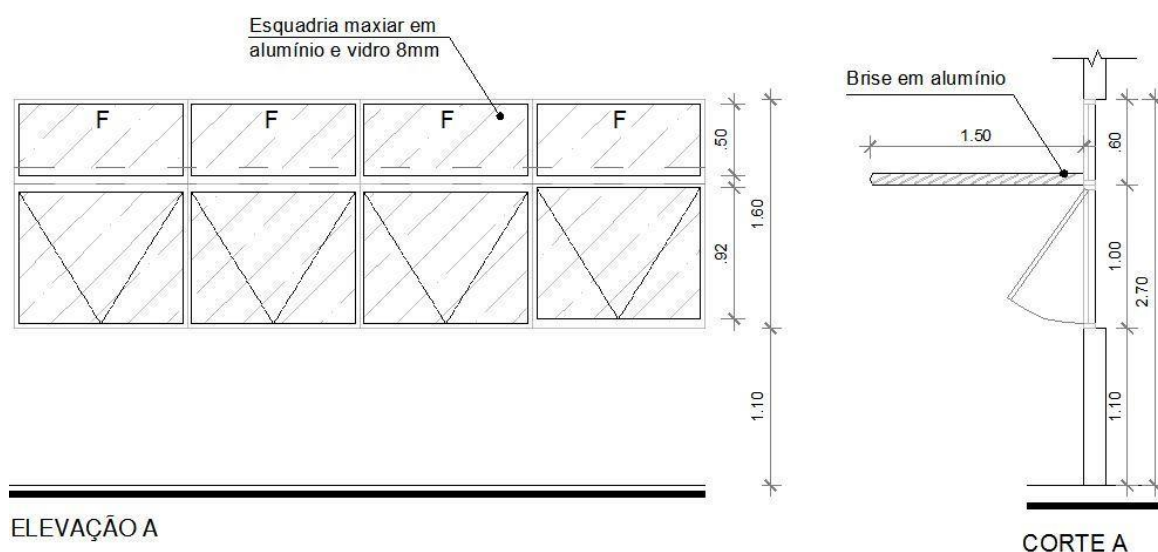
As esquadrias na envoltória em estudo são de alumínio adonísado natural com acabamento em pintura eletrostática na cor branca (Figura 46 e Figura 47). Os fechamentos são em vidro aramado de 10mm e 8mm com película contra radiação solar FAB 3M, linha *Window*, *Scotchint* BC-35. Esse padrão segue para toda a edificação.

Figura 46. Foto externa e interna das esquadrias da edificação.



Fonte: Autora.

Figura 47. Vistas frontal e lateral dos dispositivos de sombreamento.

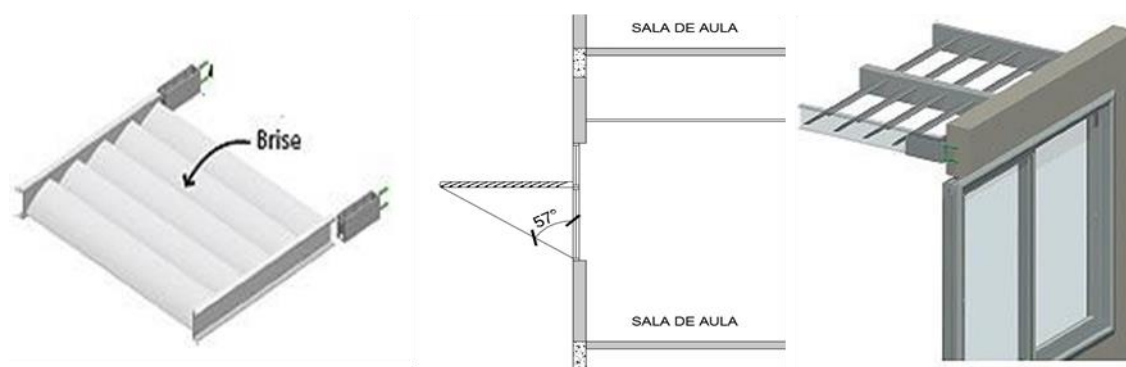


Fonte: Adaptado pela autora do acervo UFPA.

Dispositivo Externo de Proteção Solar - Brise

Os brises aplicados na envoltória da edificação, ilustrados na Figura 48, são em alumínio adonizado natural com acabamento em pintura eletrostática na cor branca. Estão fixados na estrutura da edificação, acoplados às esquadrias das salas de aula. Eles estão dispostos na posição horizontal, formando de ângulos verticais de sombreamento de 57° graus nas aberturas dos ambientes onde estão inseridos. Os brises possuem aletas em alumínio inclinadas a 26° , dispostas lado a lado e formando uma haste de sombreamento perpendicular a fachada.

Figura 48. Desenhos esquemáticos demonstrando a tipologia do brise fixo horizontal.

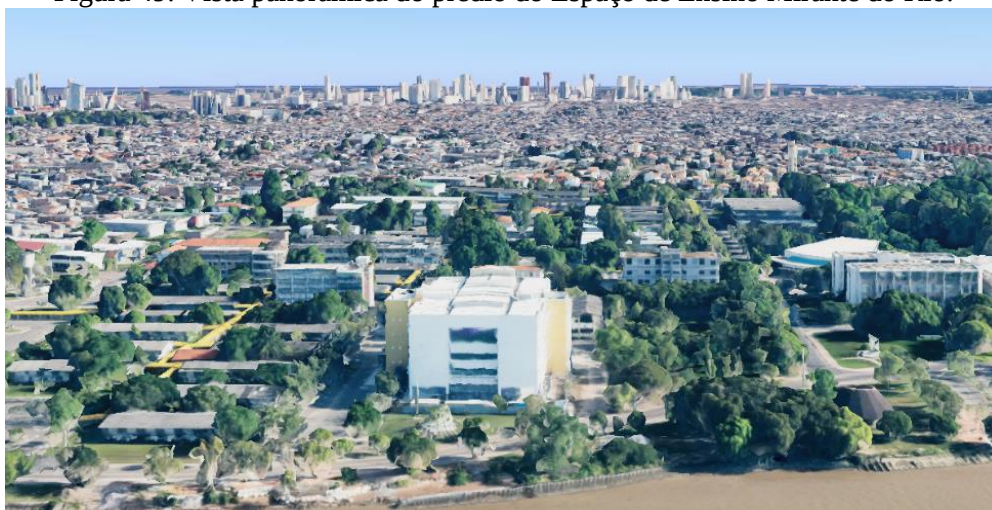


Fonte: Catálogo de referência Alcoa.

Entorno

A vista panorâmica da edificação na Figura 49 evidencia melhor que o Mirante não apresenta em seu entorno elementos de obstrução da radiação solar ou da ventilação, por estar situado entre edificações de menor porte nas fachadas norte e oeste, além de ter na frente de sua fachada leste uma considerável área bosqueada e a fachada sul voltada para a orla do rio Guamá. A Figura 50 mostra a disposição dos elementos que compõem o entorno do prédio.

Figura 49. Vista panorâmica do prédio do Espaço de Ensino Mirante do Rio.



Fonte: <https://earth.google.com>

Figura 50. Identificação dos elementos do entorno imediato através da vista superior da edificação.



Fonte: <https://earth.google.com>

O prédio da biblioteca central, situada na frente da fachada norte do prédio do Espaço de Ensino Mirante do Rio (edificação no círculo vermelho na Figura 50), possui 9,80m de altura e um afastamento de 13m em relação à edificação em estudo. Já os antigos blocos de salas de aula (destacados pela área pontilhada da Figura 50) têm altura de 4,75m e seus afastamentos variam de 20 a 30m da fachada oeste. A área bosqueada tem afastamento de 10m da fachada leste e a orla do rio Guamá possui aproximadamente 50m de distância da fachada sul.

Esses elementos identificados no entorno não causam sombras, principalmente, pelo grande porte do novo prédio de salas de aula, constituído de 5 pavimentos, o que totaliza uma altura de aproximadamente 23m e uma planta baixa com dimensões de 66,15m por 40m.

3.3.5 Sistema de Iluminação Artificial

A avaliação do sistema de iluminação dos blocos foi realizada com auxílio de plantas baixas e elétricas, e também com o levantamento *in loco* das características do conjunto formado por lâmpada e reator em cada ambiente. Pelo que foi constatado no levantamento de dados, todas as salas possuem a mesma tipologia de luminárias, lâmpadas e reatores, como mostram as tabelas a seguir.

- Informações Técnicas:

A tipologia 01 é composta por luminária de embutir com aletas metálicas para lâmpadas fluorescentes tubulares T8 (ver Tabela 11) instaladas nas salas de aula, circulações, cozinha e setor administrativo.

Tabela 11. Características da instalação da tipologia 01.

Equipamento	Características	Referência
Luminária	Duas lâmpadas com refletor e aletas de alumínio	
Lâmpada	Lâmpadas Fluorescentes Tubular 28W, 2900 lm	
Reator	Eletrônico: 2x28W Perdas: 6W	
Potência Total	62W	

Fonte: Autora.

A tipologia 02 é composta por luminária de embutir com corpo refletor em chapa de aço para lâmpadas fluorescentes compactas (ver Tabela 12) instaladas nos banheiros, *shafts* e circulações verticais.

Tabela 12. Características da instalação da tipologia 2.

Equipamento	Características	Referência
Luminária	Embutir com corpo e refletor em chapa de aço tratada com pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca.	
Lâmpada	Duas lâmpadas fluorescentes compactas 20W cada, 1220lm	
Potência Total	40W	

Fonte: Autora.

Na Tabela 13 são apresentados os dados referentes ao levantamento quantitativo e qualitativo de todo o sistema de iluminação da edificação. Com esses dados é possível aplicar a metodologia prescritiva do RTQ-C para obter-se a densidade de potência instalada (DPI) para ser comparada com os níveis de densidade de potência limite (DPIL) estipulados na tabela 4.2 (pág. 46, do regulamento), que define a classificação do nível de eficiência do sistema.

Tabela 13. Sistema de Iluminação do Espaço de Ensino Mirante do Rio.

Pavimento Térreo					
Ambiente	Área (m ²)	Quant. Lumin. (Unid.)	Potência Equip. (W)	Potência Instalada de Iluminação (W)	Quant. de Paviment. (Unid.)
Circulação Pilotis	1216,68	65	62	4030	1
Área de Atendimento	50,04	12	62	744	1
Cozinha	45,3	10	62	620	1
Depósito	7,12	2	40	80	1
Controle e Automação	24,25	4	62	248	1
Wc	4,57	1	40	40	1
Sala dos Vigilantes	14,79	2	40	80	1
Circulação 1	7,5	2	40	80	1
Secretaria	28,43	4	62	248	1
Almoxarifado	19,5	2	40	80	1
Circulação 2	9,98	2	40	80	1
Sala Dos Professores	59,8	9	62	558	1
DML	4,93	1	40	40	1
Depósito	4,93	1	40	40	1

Pavimento: Térreo, 01, 02, 03 e 04					
Ambiente	Área (m²)	Quant. Lumin. (Unid.)	Potência Equip. (W)	Potência Instalada de Iluminação (W)	Quant. de Paviment. (Unid.)
Wc Fem	29,82	6	40	240	5
Wc PNE Fem	4,2	1	40	40	5
Shaft Elétrico 01 e 02	17,24	2	40	80	5
Wc Masc	29,82	6	40	240	5
Wc PNE Masc	4,2	1	40	40	5
Shaft Hidro Sanitário	14,55	3	40	120	5
Shaft para Ar Condicionado 01, 02 E 03	24,75	6	40	240	5
Antecâmara 01	7,78	1	40	40	5
Antecâmara 02	7,78	1	40	40	5
Escada 01 (1°, 2°, 3° E 4° Pav.)	67,57	2	40	80	5
Escada 02 (1°, 2°, 3° E 4° Pav.)	67,57	2	40	80	5
Escada 03 (1°, 2°, 3° E 4° Pav.)	65,51	2	20	40	5
Sala Tipo 01	71,17	12	62	744	4
Sala Tipo 02	71,17	12	62	744	4
Sala Tipo 03	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 04	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 05	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 06	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 07	52,89	12	62	744	4
Sala Tipo 08	52,89	12	62	744	4
Sala Tipo 09	53,3	12	62	744	4
Sala Tipo 10	53,3	12	62	744	4
Sala Tipo 11	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 12	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 13	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 14	59,8	12	62	744	4
Sala Tipo 15	71,17	12	62	744	4
Sala Tipo 16	71,17	12	62	744	4
Circulação	2753,75	54	62	13392	1
	11,74	2	40	80	4
TOTAL	9904,32			74696	

Fonte: Autora.

A partir das características e dados técnicos dos sistemas coletados neste capítulo é possível efetuar a etapa de análise da classificação do desempenho energético da envoltória e

do sistema de iluminação da edificação em estudo, dando prosseguimento a metodologia proposta neste trabalho. O próximo capítulo abordará essas análises a fim de aplicar o método prescritivo do RTQ-C, seguindo as diretrizes estipuladas pelo regulamento.

4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO CONFORME O RTQ-C

Este capítulo dá início a aplicação da metodologia apresentada no capítulo anterior. Nele serão aplicadas as duas fases iniciais propostas, seguindo a ordem estabelecida no diagrama da Figura 24, iniciando com o diagnóstico do nível de eficiência energética associada ao estudo de caso, através do método prescritivo do RTQ-C. Posteriormente a segunda etapa referente a investigação de potencialidades energéticas factíveis de intervenção. Para finalizar o capítulo, a terceira etapa aborda os casos em que a análise crítica identifique possibilidades de intervenções nos sistemas avaliados.

Para colocar em prática no estudo de caso, foi necessário realizar o levantamento de dados da edificação através de visitas *in loco*, estudo dos projetos de arquitetura e de cadernos técnicos de especificações. O levantamento de dados visa identificar as características construtivas, de funcionamento e operação das edificações. Dentre as características que serão observadas, tem-se: tipologias e propriedades dos revestimentos utilizados na envoltória (paredes e coberturas); tipo de sistema de iluminação e condicionamento de ar utilizado; características técnicas dos sistemas; padrão de ocupação; etc.

4.1 Determinação do Nível de Eficiência da Envoltória – 1ª Etapa

A análise da envoltória do prédio de ensino foi realizada com base no levantamento qualitativo e na caracterização dos componentes construtivos da edificação, para que fosse aplicado o método de classificação de sua eficiência baseado em um indicador de consumo, obtido através de equação específica para a zona bioclimática (ZB) na qual está inserida a edificação – ZB 08.

Para determinação da eficiência, o edifício deve ter sua volumetria determinada através dos parâmetros como fator altura e fator de forma. Outros parâmetros também são verificados, como: percentual de abertura de fachada, fator solar dos materiais translúcidos, ângulos de sombreamento, etc.

Para determinação da eficiência, o edifício deve ter sua volumetria determinada através dos parâmetros como fator altura e fator de forma. Outros parâmetros também são verificados, como: percentual de abertura de fachada, fator solar dos materiais translúcidos, ângulos de sombreamento, etc.

4.1.1 Fator Altura (FA)

O fator de altura é a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída equação (7), com exceção dos subsolos (RTQ-C, 2013). A Tabela 14 mostra os valores da área de projeção da cobertura (Apcob) e área total (Atotal) da edificação em análise:

(7)

$$FA = \frac{A_{pcob}}{A_{total}}$$

Tabela 14. Fator Altura (FA) da edificação Mirante do Rio.

Áreas computadas		FA
Apcob (m²)	2.392,77	0,33
Atotal (m²)	7.275,50	

Fonte: Autora, 2017.

A edificação em questão apresenta o pavimento térreo estruturado com pilotis. Portanto, foram computadas a área dos pisos dos ambientes do primeiro pavimento, localizadas sobre os ambientes de permanência prolongada do pavimento térreo (pilotis), atendendo a recomendação do regulamento.

4.1.2 Fator de Forma (FF)

Já o fator de forma leva em consideração a área da envoltória (Aenv) e o volume total (Vtot) da edificação, conforme a equação (8).

(8)

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{total}}$$

Tabela 15. Áreas da Envoltória do Mirante do Rio.

Fachada	Aenv (m²)
Norte	805,12
Sul	837,37
Leste	1.648,81
Oeste	1.647,55
Total Fachadas	4.938,85
Cobertura	1.664,24
Área Piso Pilotis*	695,22
Total Geral	7.298,31

Fonte: Autora.

A Tabela 15 apresenta as áreas de cada plano externo (fachadas e cobertura) da edificação e, neste caso específico, mostra também a metragem quadrada do piso dos ambientes de permanência prolongada suspensos pelos pilotis. A soma destas áreas se faz necessária, pois o uso de estruturas em pilotis possibilita as trocas térmicas do exterior com o interior dos ambientes através do piso também. Lembrando que toda superfície que permita o fluxo de calor do meio interno para o meio externo, e vice-versa, deve ser computada caso o ambiente seja de permanência prolongada.

E na Tabela 16 o volume da edificação é computado pelo dimensionamento das áreas dos pavimentos multiplicadas pela medida de pé direito de cada um. No final tem-se a somatória do volume dos 5 pavimentos que gera o valor (m^3) da volumetria total da edificação.

Tabela 16. Volume da Envoltória do Mirante do Rio.

Pavimento	Área (m^2)	Pé direito (m^2)	Vtotal (m^3)
Térreo	389,61	4,00	1.558,44
1	1.745,40	4,00	6.981,60
2	1.729,45	4,00	6.917,80
3	1.713,49	4,00	6.853,96
4	1.697,55	4,00	6.790,20
Total	7.275,50		29.102,00

Fonte: Autora.

Aplicando a equação 7 tem-se o valor do FF para o Mirante do Rio conforme mostra a Tabela 17.

Tabela 17. Fator Forma da edificação Mirante do Rio.

FF	Aenv (m^2)	0,25
	Vtotal (m^3)	

Fonte: Autora.

4.1.3 Percentual de Aberturas na Fachada (PAF)

Através das medidas de esquadrias da edificação no detalhamento do projeto arquitetônico e da confirmação na visita *in loco*, foi possível determinar o Percentual de Abertura de Fachada Total (PAFT). Para isso foi calculado o valor médio representativo da soma das áreas de aberturas envidraçadas, com fechamento transparente ou translúcido (excluindo as áreas de caixilho das esquadrias) e a área total de cada fachada da edificação.

Porém, antes de usar o valor do PAFT na equação do ICenv, deve-se realizar também o cálculo do PAFO (Percentual de Abertura da Fachada Oeste). Quando este for pelo

menos 20% maior que o PAFT, deve-se adotá-lo na equação (RTQ-C, 2013). O cálculo desses dois percentuais se dá através das equações 8 e 9 a seguir:

9 e 10, respectivamente:

$$Paft = \frac{AaberturaTotal}{AfachadaTotal}$$

$$Pafo = \frac{\sum AaberturaOeste}{AfachadaOeste}$$

A tabela 18, apresenta os valores das aberturas e áreas das superfícies opacas para cada fachada segundo sua orientação, e também os valores finais para PAFT e PAFo.

Tabela 18. Percentual de área de Abertura de Fachada.

Fachadas	Norte	Sul	Leste	Oeste	Total	PAFo	PAFT
Aaberturas (m²)	28,20	0,00	258,89	241,24	528,33	0,15	0,107
Afachadas (m²)	805,12	837,37	1648,81	1647,55	4938,85		

Fonte: Autora.

Conforme resultado da tabela 18, o valor de percentual de abertura de fachada que deverá ser usado no cálculo do IC é 0,15, referente ao PAFo.

4.1.4 Ângulo Vertical de Sombreamento – AVS

Os ângulos verticais de sombreamento desta edificação em análise são formados pelos elementos de sombreamento horizontais (brises-soleis metálicos) aplicados nas esquadrias das salas de aulas, conforme Figura 47 do item 3.3.4 do Capítulo 3.

De acordo com o RTQ-C, os ângulos horizontais e verticais de sombreamento possuem um limite máximo de 45° para o uso na equação da zona bioclimática 8.

O edifício como um todo terá um AVS, portanto é preciso verificar todos os ângulos das aberturas e realizar a ponderação equação (11) do ângulo em função da área das aberturas, para encontrar o AVS de cada fachada (equação (12)). Caso o valor de AVS final, equação (13), for maior que o limite, deve-se usar 45° no cálculo do ICenv.

(11)

$$\text{Ponderação} = \left(\frac{\text{Área da Abertura}}{\sum \text{Áreas das aberturas das fachadas}} \right)$$

(12)

$$\text{AVSfachadaX} = \sum (\text{Ponderação} \times \text{Ângulo de Sombreamento})$$

Determinação do AVS no edifício:

Para a edificação em estudo foram mensuradas as áreas de abertura de cada fachada que continha ângulos de sombreamento. Os ângulos verticais de cada fachada da edificação

Mirante do Rio estão apresentados na Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21. Sendo que na Tabela 22 apresenta-se o AVS final que será inserido no cálculo do ICenv.

Tabela 19. Ângulo Vertical de Sombreamento - Fachada Norte.

Janela	Aabertura	Quant.	Área Total (m²)	Área ponderada (m²)	AVS	AVS ponderado	AVS Fachada Norte
J3	1,25	10	12,5	0,4432	0	0,00	0
J8	1,57	10	15,7	0,5567	0	0,00	

Fonte: Autora.

Tabela 20. Ângulo Vertical de Sombreamento - Fachada Leste.

Janela	Aabertura	Quant.	Área Total (m²)	Área ponderada (m²)	AVS	AVS ponderado	AVS Fachada Leste
J1	7,0448	32	225,4336	0,96	57	54,7378	55,19
J2	5,28	1	5,28	0,02	20	0,45	
J10	1,0092	4	4,0368	0,02	0	0,00	

Fonte: Autora.

Tabela 21. Ângulo Vertical de Sombreamento - Fachada Oeste.

Janela	Aabertura	Quant.	Área Total (m²)	Área ponderada (m²)	AVS	AVS ponderado	AVS Fachada Oeste
J1	7,0448	32	225,4336	0,9334	57	53,21	54,09
J3	1,0092	4	4,0368	0,02	0	0,00	
J4	5,3	1	5,3	0,02	17	0,37	
J5	2,92	1	2,92	0,01	20	0,24	
J6	3,53	1	3,53	0,01	17	0,25	
J7	0,2916	1	0,2916	0,00	20	0,02	

Fonte: Autora.

Tabela 22. Ângulo Vertical de Sombreamento - AVS.

Fachada	AVS	Aabertura	AVS	AVS Final
Norte	0	28,20	52°	45°
Sul	0	0		
Leste	55,19	234,75		
Oeste	54,09	241,51		

Fonte: Autora.

(13)

$$AVS_{\text{final}} = \sum \left(\frac{AVS_{\text{Norte}}}{Aabertura_{\text{N}}} + \frac{AVS_{\text{Leste}}}{Aabertura_{\text{L}}} + \frac{AVS_{\text{Oeste}}}{Aabertura_{\text{O}}} \right)$$

Segundo estipula o RTQ-C, “os ângulos de sombreamento a serem inseridos nas equações 3.3 a 3.12 devem ser usados com valor máximo de 45°”, com isso o AVS encontrado no valor de 52° não poderá ser usado na equação do IC, sendo substituído por 45° (RTQ-C, 2013, pág. 31).

4.1.5 Ângulo Horizontal de Sombreamento – AHS

A própria volumetria da edificação também se comporta como elemento de autossombreamento, onde a disposição dos ambientes na planta baixa cria ângulos de sombreamento horizontais, ou seja, mesmo que a abertura não tenha proteção solar, a forma do prédio pode funcionar como tal. O edifício como um todo terá um AHS, portanto é preciso verificar todos os ângulos das aberturas e realizar a ponderação por área.

Diferente do AVS, uma abertura terá sempre dois ângulos AHS, correspondentes a cada extremidade dela, portanto deverá ser feita a média desses dois ângulos. Lembrando que o AHS final limite é de 45°, ou seja, se o cálculo der mais do que 45°, utilizar o limite. Para os cálculos parciais pode-se utilizar ângulos maiores que 45°.

Determinação do AHS no edifício:

Os ângulos horizontais de cada fachada da edificação Mirante do Rio estão apresentados na Tabela 23, Tabela 24,

Tabela 25 e Tabela 26 com o AHS Final da edificação.

Tabela 23. Ângulo Horizontal de sombreamento - Fachada Norte.

Janela	Abertura	Quant.	Área Total	Área ponderada	AHS 01	AHS 02	AHS Med.	AHS Pond.	AHS Fachada Norte
J3	1,25	10	12,5	0,4433	46	46	46	20,39	20,39
J8	1,57	10	15,7	0,5567	0	0	0	0	

Fonte: Autora.

Tabela 24. Ângulo Horizontal de Sombreamento - Fachada Leste.

Janela	Abertura	Q .	Área Total	Área pond.	AHS 01	AHS 02	AHS Mediano	AHS Pond.	AHS F. Leste
J1	7,0448	8	56,3584	0,2390	16	0	8	1,9124	15,95
J1	7,0448	8	56,3584	0,2390	18	0	9	2,1514	
J1	7,0448	8	56,3584	0,2390	27	0	13,5	3,2272	
J1	7,0448	8	56,3584	0,2390	52	10	31	7,4105	
J2	5,28	1	5,28	0,0224	16	0	8	0,1792	
J3	1,0092	5	5,046	0,0214	100	0	50	1,0701	

Fonte: Autora.

Tabela 25. Ângulo Horizontal de Sombreamento - Fachada Oeste.

Janela	Abertura	Quant.	Área Total (m²)	Área pond.	AHS 01	AHS 02	AHS Mediano	AHS Pond.	AHS Fachada Oeste
J1	7,0448	8	56,3584	0,2323	27	0	13,5	3,1372	26,06
J1	7,0448	8	56,3584	0,2323	34	0	17	3,9505	
J1	7,0448	8	56,3584	0,2323	52	0	26	6,0420	
J1	7,0448	8	56,3584	0,2323	84	10	47	10,9221	
J3	1,0092	5	5,046	0,0208	100	0	50	1,0403	
J4	5,30	1	5,30	0,0218	49	0	24,5	0,5354	
J5	2,92	1	2,92	0,0120	34	0	17	0,2046	
J6	3,53	1	3,53	0,0145	29	0	14,5	0,2110	
J7	0,2916	1	0,2916	0,0012	27	0	13,5	0,0162	

Fonte: Autora.

Tabela 26. Ângulo Horizontal de Sombreamento – AHS.

Fachada	AHS	Abertura	AHS Final
Norte	20,39	28,20	21,04
Sul	0,00	0,00	
Leste	15,95	235,76	
Oeste	26,06	242,52	

Fonte: Autora.

4.1.6 Fator Solar – FS

O fator solar diz respeito ao ganho de calor através da radiação solar incidente em uma abertura. Seu cálculo é realizado de acordo com a NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005), mas na maioria das vezes é possível conseguir o FS nos catálogos das empresas que produzem o vidro, como nesse caso em questão. As Tabela 27 e Tabela 28 apresentam dados técnicos e o valor do Fator Solar para os dois tipos de vidros utilizados no prédio de salas de aula, vidro temperado 10mm e 8mm.

Vidro temperado 10mm:

Tabela 27. Propriedades do Vidro Temperado 10mm.

Espessura (mm)	10
Transmitância Visível (%)	19
Refletância Visível Ext. (%)	30
Refletância Visível Int. (%)	27
Absortância Solar (%)	63
Fator Solar (%)	30
Transmitância Térmica (W/m²K)	5,1

Fonte: Catálogo do fornecedor.

Tabela 28. Propriedades do Vidro Aramado 8mm.

Espessura (mm)	8
Transmitância Visível (%)	20
Refletância Visível Ext. (%)	31
Refletância Visível Int. (%)	27
Absortância Solar (%)	61
Fator Solar (%)	30
Transmitância Térmica (W/m²K)	5,1

Fonte: Catálogo do fornecedor.

Obs.: Valores retirados da tabela de especificações técnicas fornecida pelo fabricante *Habitat by Cebrace*.

Após o cálculo das variáveis para o cálculo do Índice de Consumo da Envoltória, foi definida a equação para cálculo do ICenv com base no valor da área de projeção do edifício (Ape) dada pela equação (14) e do fator de forma (FF): limite mínimo e limite máximo.

(14)

$$Ape = \frac{\sum \text{Área dos pavimentos}}{n^{\circ} \text{ de pavimentos}}$$

$$Ape = \frac{389,61 + 1.745,40 + 1.729,45 + 1.713,49 + 1.697,55}{5} = 1.455,10$$

4.1.7 Indicador de consumo da Envoltória (ICenv)

O indicador de consumo ICenv foi calculado por meio da equação (15) (3.12 do regulamento RTQ-C, 2013, pág.34). Lembrando que, utilizou-se a equação destinada a zona bioclimática de Belém (ZB8), para edificações com (APE) maior que 500m² e FF com valor limite de 0,17. Nela foram aplicados os dados das variáveis do edifício, determinados pelo método prescritivo. Com isso, obtém-se:

Dados:

Zona Bioclimática: 8 (Belém/PA);

PAF_o= 0,15;

FA= 0,33;

FF= 0,25;

FS= 0,30 (dado fornecido);

AVS= 52° (valor máximo 45°);

AHS= 21,04°.

(15)

$$\text{ICenv} = -160,36 \cdot 0,33 + 1277,29 \cdot 0,25 - 19,21 \cdot 0,15 + 2,95 \cdot 0,30 - 0,36 \cdot 45 - 0,16 \cdot 21,04 + 290,25 \cdot 0,25 \cdot 0,15 + 0,01 \cdot 0,15 \cdot 45 \cdot 21,04 - 120,58$$

$$\text{ICenv} = 136,53$$

O indicador de consumo obtido deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Assim, o limite máximo e mínimo do indicador de consumo para aquela volumetria é calculado a seguir.

Cálculo do Indicador de Consumo Máximo (ICmáxD)

Portanto, calculou-se o limite máximo do indicador de consumo para a volumetria do Mirante do Rio, por meio da mesma equação (15), mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela tabela 3.2 do RTQ-C, compondo então a equação (16) aplicada a seguir; o ICmáxD representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E (RTQ-C, 2013).

(16)

$$\text{ICmáx} = -160,36 \cdot 0,33 + 1277,29 \cdot 0,25 - 19,21 \cdot 0,60 + 2,95 \cdot 0,61 - 0,36 \cdot 0 - 0,16 \cdot 0 + 290,25 \cdot 0,15 + 0,01 \cdot 0 - 120,58$$

$$\text{ICmáx} = 179,81$$

Cálculo do Indicador de Consumo Mínimo ICmín

Posteriormente, o limite mínimo ICmín foi calculado por meio da equação (17), agora com os parâmetros de entrada fornecidos pela tabela 3.3 do RTQ-C; o ICmín representa o indicador de consumo mínimo para a volumetria da edificação. Assim:

(17)

$$\text{ICmín} = -160,36 \cdot 0,33 + 1277,29 \cdot 0,25 - 19,21 \cdot 0,05 + 2,95 \cdot 0,87 - 0,36 \cdot 0 - 0,16 \cdot 0 + 290,25 \cdot 0,01 + 0,01 \cdot 0,15 \cdot 0 - 120,58$$

$$\text{ICmín} = 151,24$$

Intervalo dos Níveis de Eficiência (i)

O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada com a Eq.3.13 (RTQ-C, pág. 36), representada na equação (18). A Tabela 29 mostra os valores obtidos para montar a faixa de classificação de nível de eficiência demonstrada na Tabela 30.

(18)

$$i = \frac{(IC_{\text{máxD}} - IC_{\text{mín}})}{4}$$

Tabela 29. Resumo dos valores obtidos para o cálculo do ICenv.

IC _{máxD}	IC _{mín}	Intervalos	i
179,81	151,224	4	7,14

Fonte: Autora.

Tabela 30. Limites dos Intervalos dos Níveis de Eficiência.

Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	Nível E
Lim. Mín.	-	158,39	165,54	172,68	62,75
Lim. Máx.	158,38	165,53	172,67	62,74	-

Fonte: Adaptada do RTQ-C pela autora.

Ao comparar o valor do Índice de Consumo da envoltória do edifício – ICenv=136,53 – com os limites dos níveis de eficiência da tabela 30, verifica-se que o ICenv não ultrapassa o limite máximo para **nível A**. Sendo assim, a envoltória se classifica com o melhor nível desempenho energético. Contudo, ainda é necessário fazer a verificação do cumprimento dos pré-requisitos específicos.

4.1.8 Pré-requisitos Específicos da Envoltória

A manutenção do resultado da análise da envoltória está condicionada ao cumprimento dos pré-requisitos. De acordo com o estabelecido pelo RTQ-C, para a edificação manter o nível de classificação, deve atender: os limites para transmitância térmica (U) e absorptância térmica (α) das paredes e cobertura, além dos limites de fator solar, caso haja iluminação zenital.

A Envoltória deve atender aos pré-requisitos específicos para cada nível pretendido, conforme a Tabela 31:

Tabela 31. Síntese dos pré-requisitos de acordo com o nível de eficiência energética.

Nível de Eficiência	Transmitância Térmica (Paredes e cobertura)	Absortância (Paredes e cobertura)	Iluminação Zenital
A	✓	✓	✓
B	✓	✓	✓
C e D	✓		

Fonte: Adaptada do manual do RTQ-C.

- Transmitância Térmica das Paredes (U_{PAR}) e Capacidade Térmica (C_T)

Neste estudo, foram calculados os valores de transmitância (U) e capacidade térmicas (C_T) para a parcela da parede de alvenaria (tijolo em concreto celular autoclavado) e para a parcela estrutural da edificação (vigas e pilares em concreto), conforme consta na metodologia de cálculo estipulada na 3ª parte da norma NBR 15220. Ver valores na Tabela 32 e no memorial de cálculo no apêndice B.

Tabela 32. Síntese dos pré-requisitos de acordo com o nível de eficiência energética.

Descrição do Material	Área (m²)	Transmitância (U) (W/m². K)	Capacidade Térmica (CT) (kJ/m². K)	Coefficiente de Ponderação
Parede de 14cm em bloco de concreto celular autoclavado de dois furos (dim. 9x19x29cm). Revestimento em pastilha de vidro (dim. 10x10), nas cores amarela ou branca.	3772,99	1,77	144,39	0,9382
Estrutura (vigas e pilares) em concreto armado.	248,35	4,59	116,55	0,0618
Transmitância Final - U (W/m²K) 1,95		Capacidade Térmica Final - C_T (kJ/m²K) 142,67		

Fonte: Autora.

A Tabela 32 mostra os valores calculados considerando a média das transmitâncias e da capacidade térmica, dos componentes das principais superfícies que constituem a envoltória, ponderada pelas áreas que ocupam.

- Absortância Térmica das Paredes (α_{PAR})

As características dos revestimentos da edificação irão determinar também a absortância térmica, outro pré-requisito ligado ao desempenho térmico da envoltória. Os valores das absortâncias das cores dos revestimentos da Tabela 33, foram obtidos através dos catálogos dos fabricantes, da tabela B.2 (Anexo B, página 8) da norma brasileira NBR15220 - Parte 2. A média das absortâncias de cada parcela das paredes é ponderada pela área que ocupa.

Tabela 33. Absortância dos materiais ponderada pela área e absortância final das paredes.

Descrição do Material	Área (m²)	Absortância (α_{PAR})	Coefficiente de ponderação	Absortância ponderada
Parede c/ revest. Branco	3180,10	0,20	0,92	0,18
Parede c/ revest. Amarelo	272,3	0,30	0,08	0,02
Absortância Final (α) = 0,21				

Fonte: Autora.

- Transmitância Térmica da Cobertura (U_{COB})

A edificação possui duas tipologias de coberturas que, conseqüentemente, apresentarão transmitâncias diferentes, podendo ou não influenciar no nível de classificação da envoltória. Portanto é necessário analisar as tipologias separadamente e fazer uma ponderação pelas suas respectivas áreas de abrangência a fim de obter o resultado final da transmitância da cobertura, conforme apresentado na Tabela 34. O cálculo da transmitância térmica para essas coberturas encontra-se no apêndice A.

Tabela 34. Transmitância Térmica da Cobertura condicionada e não condicionada artificialmente.

Material	Área (m²)	Coefficiente de ponderação	U_{COB} (W/m².K)	U_{COB} final
Cobertura não condicionada	700,7	0,4184	0,51	0,21
Cobertura condicionada	974,11	0,5816		0,30

Fonte: Autora.

- Absortância Térmica da Cobertura (α_{COB})

Como descrito no item 3.2.3 do Capítulo 3, a edificação possui cobertura em telha metálica termo acústica com pintura eletrostática na cor branca, essa especificação define o valor da absortância da cobertura em 0,20 segundo a NBR 15220. Ver Tabela 35.

Tabela 35. Absortância Térmica da Cobertura.

Materiais	Área (m²)	Absortância (α)	Coefficiente de ponderação	Absortância ponderada (α_{COB})
Branca (Telha Met.)	1122,14	0,20	0,69	0,14
Piso Pilotis	515,64		0,31	0,06
Absortância Final (α_{COB}) = 0,20				

Fonte: Autora.

*os pisos de áreas externas localizadas sobre ambiente (s) de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos de absortância solar de coberturas, os pilotis são exemplo disso.

- Percentual de Abertura Zenital - PAZ

A edificação possui cobertura translúcida em telha de polycarbonato sobre seu átrio central configurando aberturas zenitais, que são aquelas que formam o ângulo inferior à 60° com o plano horizontal. Para o cálculo foi considerada a área de sua projeção horizontal, conforme consta na Tabela 36.

Tabela 36. Percentual de Abertura Zenital do Espaço de Ensino Mirante do Rio.

Cobertura	Área (m ²)	PAZ (%)	Fator Solar
Termo acústica	1479,68	13,6	0,75
Translúcida	201,6		

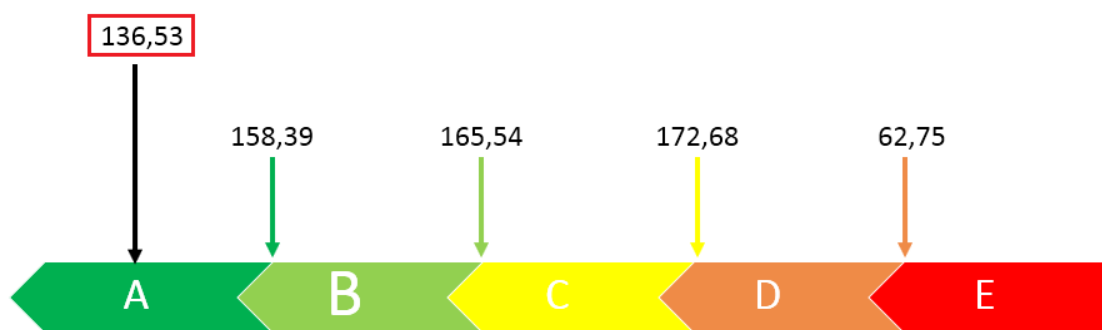
Fonte: Autora.

O regulamento recomenda que “para edificações com PAZ maior que 5%, pretendendo alcançar classificação A, deve-se utilizar simulação computacional” (RTQ-C, pág. 26).

4.1.9 Análise do Cumprimento dos Pré-requisitos Específicos da Envoltória

A determinação do nível de *performance* energética do Espaço de Ensino, através da metodologia prescritiva do RTQ-C, obteve como resultado um índice de consumo ICenv= 136,53 correspondendo ao nível “A” quanto à eficiência da envoltória, portanto seu equivalente numérico será EqNumEnv=5. A Figura 51 mostra o valor do ICenv do Mirante do Rio, inferior ao limite mínimo do nível “A” da escala de classificação.

Figura 51. Faixa de classificação com os limites de cada classificação do nível de desempenho da edificação.



Fonte: Autora.

Entretanto, este resultado ainda depende do cumprimento dos pré-requisitos específicos da envoltória. De acordo com o estabelecido pelo RTQ-C, para uma edificação manter o nível de classificação “A” deve atender os limites para transmitância térmica (U) e da absorvância (α) das paredes e cobertura, além dos limites de fator solar (FS) para a iluminação zenital.

A Tabela 37 mostra a síntese dos valores limites aplicáveis a cada edificação, com relação a zona bioclimática referente e ao nível de classificação pretendido.

Tabela 37. Limites para a classificação da Transmitância Térmica (U) W/m² °C.

Elemento Construtivo	ZB	Nível A		Nível B		Nível C e D	
		Cond.	Não Cond.	Cond.	Não Cond.	Cond.	Não Cond.
Ucob	1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
	3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		
Upar	1 e 2	1,0		2,0		3,7	
	3 a 6	3,7		3,7			
	7 e 8	2,5 CT < 80kj/m²K	3,7 CT > 80kj/m²K	2,5 CT < 80kj/m²K	3,7 CT > 80kj/m²K	2,5 CT < 80kj/m²K	3,7 CT > 80kj/m²K

Fonte: Autora.

Comparando os valores da Tabela 37 com os encontrados no Mirante do Rio, aferiu-se que o valor da transmitância térmica da parede ficou abaixo do limite estabelecido pelo RTQ-C para a ZB 8, por possuir $U_{PAR} = 1,77$ W/m²K com capacidade térmica acima de 80kj/m²K.

Em relação à transmitância térmica da cobertura verificou-se que o valor também foi atendido, ficando abaixo dos limites estabelecidos para cobertura não condicionada (0,21 W/m²K) e condicionada (0,30 W/m²K), respectivamente. No pré-requisito de absorptância térmica o valor limite estabelecido pelo RTQ-C é de $\alpha = 0,5$ e os valores verificados foram de $\alpha = 0,21$ e $\alpha = 0,20$ para as paredes e cobertura. Assim, ambos atenderam os limites da absorptância.

4.1.10 Determinação do Nível de Eficiência Final da Envoltória

O resultado final da avaliação determinou que a envoltória manteve seu bom nível de desempenho energético, não sendo penalizada pelo descumprimento dos pré-requisitos específicos. Portanto a edificação em estudo obteve a **ENCE Parcial nível A** de eficiência energética.

Contudo, independentemente do resultado obtido na primeira etapa (aplicação do RTQ-C), a metodologia dessa dissertação propõe como segunda etapa uma análise crítica dos resultados já alcançados a fim de verificar possíveis “lacunas” projetuais que possam ser sanadas e garantir a máxima *performance* energética da edificação (nova ou existente).

4.2 Determinação do Nível de Eficiência do Sistema de Iluminação – 1ª Etapa

4.2.1 Aplicação do Método das Áreas

Apesar de possuir ambientes com atividades distintas como apresentado anteriormente, o prédio de salas de aula apresenta uma atividade principal abrangendo mais de 30% da área de todos os ambientes da edificação. Isso configura o método das áreas, que será empregado utilizando as densidades de potência de iluminação (DPIL) para cada nível referente à atividade predominante, identificadas pela Tabela 38.

- 1) O primeiro passo na avaliação pelo método da área consiste em verificar na tabela 4.2 do RTQ-C a principal atividade exercida nos ambientes avaliados, e obter as DPIL para cada nível de eficiência, conforme representado na Tabela 38. De acordo com a tabela 4.2 do RTQ-C, tem-se que a principal atividade da edificação estudada pode ser relacionada com a de ESCOLA/UNIVERSIDADE. Então, a DPIL para cada nível é:

Tabela 38. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido - Tabela 4.2 do Método da Área da Edificação.

Função da Edificação	Densidade de Potência de iluminação Limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de iluminação Limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de iluminação Limite W/m ² (Nível C)	Densidade de Potência de iluminação Limite W/m ² (Nível D)
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de Esportes	8,4	9,7	10,9	12,2
Garagem – Ed. Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9

Fonte: RTQ-C, 2013.

- 2) Determinada a atividade, calcula-se a área total dos ambientes iluminados no projeto, no caso, igual a 9838,05m².
- 3) Multiplicando a área iluminada de 9838,05m² do edifício pela DPIL de cada nível, tem-se as potências-limite, como na Tabela 39:

Tabela 39. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício.

Área Iluminada do Bloco de Salas de Aula - 1º, 2º, 3º e 4º Pavimentos A _{total} = 9.904,32m ²				
Função do Edifício	DPIL W/m ² (Nível A)	DPIL W/m ² (Nível B)	DPIL W/m ² (Nível C)	DPIL W/m ² (Nível D)
Escola/ Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
	DPIL X ÁREA TOTAL ILUMINADA			
Potências Limites	105.976,22	121.823,14	137.670,05	153.517,00
Potência Total Instalada	74.696,00	A	EqNum 5	

Fonte: Autora.

- 4) Como há apenas uma atividade principal no edifício, não será necessário somar as potências de cada atividade.
- 5) Ao comparar a potência instalada total do edifício –**74.696W** - com as DPIL, verifica-se que a potência instalada não ultrapassa o limite para nível A, classificando-se como **nível A** de eficiência energética.
- 6) Após determinação do nível de eficiência, verifica-se o cumprimento dos pré-requisitos por ambiente, conforme Tabela 40.

Tabela 40. Relação entre pré-requisito e níveis de eficiência.

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
4.1.1 Divisão dos circuitos	SIM	SIM	SIM
4.1.2 Contribuição da luz natural	SIM	SIM	
4.1.3 Desligamento automático do sistema de iluminação	SIM		

Fonte: RTQ-C, 2013.

4.2.2 Análise do Cumprimento dos Pré-Requisitos Específicos de Iluminação

Através da análise por ambiente, notou-se que alguns não cumpriam parte desses pré-requisitos específicos, como a contribuição da luz natural e o desligamento automático das circulações internas da edificação. Estes ambientes não possuem desligamento automático nas fileiras paralelas a entrada de luz natural proporcionada pelo átrio central. Por possuírem área superior a 250m² deveriam possuir desligamento automático, porém possuem somente a divisão dos circuitos sem controle automatizado. Tendo seu nível de classificação rebaixado e consequentemente o equivalente numérico também, como pode-se verificar na tabela 41:

Tabela 41. Verificação do Cumprimento dos Pré-Requisitos Específicos.

Pavimentos: 1º, 2º, 3º e 4º			Pré-requisitos				
Ambientes	Potência (W)	Área (m²)	Div. Circuitos	Luz Natural	Deslig. Autom.	EqNum	Nível de Classificação
Circulação Pilotis	4030	1216,68	SIM	NÃO	NÃO	3	C
Circulação 1º Pavimento	3428	712,02	SIM	NÃO	NÃO	3	C
Circulação 2º Pavimento	3428	696,23	SIM	NÃO	NÃO	3	C
Circulação 3º Pavimento	3428	696,23	SIM	NÃO	NÃO	3	C
Circulação 4º Pavimento	3428	696,23	SIM	NÃO	NÃO	3	C
Total de Potência Instalada não cumprindo os pré-requisitos	17742	4017,39	SIM	NÃO	NÃO	3	C
*Total de Potência Instalada cumprindo os pré-requisitos	56954	5886,93	SIM	SIM	SIM	5	A

*Todo os demais ambientes de todos os pavimentos da edificação cumpriram os pré-requisitos.

Fonte: Autora.

Como já foi visto anteriormente, por existirem ambientes que não atendem aos pré-requisitos, agora o EqNum final (que era 5) deverá ser corrigido através da ponderação entre: a potência instalada dos ambientes que cumpriram os pré-requisitos com os EqNum correspondentes; a potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos com os EqNum deles; e a potência total instalada na edificação, com o EqNum do nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação geral. Conforme a equação (19) a seguir.

(19)

$$\text{EqNum DPI} = (56.954 \times 5) + (17.742 \times 3) / 74.696 = 4,52$$

Sendo:

- Potência total instalada na edificação = 74.696W, com EqNum = 5;
- Potência instalada dos ambientes que cumpriram os pré-requisitos = 56.954W, com EqNum = 5; e
- Potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos = 17.742W, com EqNum = 3.

Com a ponderação da DPI dos ambientes com os equivalentes numéricos correspondentes, o EqNum final da DPI diminuiu de 5 para 4,52.

4.2.3 Determinação do Nível de Eficiência Final do Sistema de Iluminação

A DPIL não ultrapassa os limites no Nível “A”, o que classifica o prédio do Mirante do Rio do Campus I com **nível “A”** de eficiência energética. Porém foi constatado que alguns ambientes não cumprem os pré-requisitos específicos, de contribuição da luz natural e desligamento automático, rebaixando o nível de classificação geral de iluminação de A para **nível “C”** nesses ambientes. Entretanto, com a aplicação da correção dos valores através da ponderação das potências instaladas e dos equivalentes numéricos, a classificação o final do sistema de iluminação, obteve EqNum 4,5, correspondendo ao **Nível “A”** para a edificação.

4.3 Determinação do Nível de Eficiência Energética Final da Edificação

O produto dessas análises é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que é fornecida para edifícios, ou parcela dos edifícios, que passaram pela avaliação dos três sistemas. No caso deste trabalho analisou-se somente a envoltória e o sistema de iluminação, o que configura a ENCE Parcial, como abordado nos capítulos iniciais.

“Assim, o edifício não receberá uma etiqueta que indica o desempenho do seu conjunto de sistemas, e sim, uma que indica o desempenho de cada sistema avaliado isoladamente”. (BRASIL, 2016, p.34). Com base nisso estabelece-se que o nível de eficiência energética final da edificação é o mesmo que foi obtido pelos sistemas analisados (envoltória e iluminação) em suas individualidades.

É importante ressaltar que a avaliação da envoltória é obrigatória e só pode ser realizada para todo o edifício, o que foi cumprido nesse trabalho. O sistema de iluminação poderia ser avaliado de maneira geral ou parcial (pavimento (s) ou conjunto de salas), e nesse estudo foi avaliado em sua totalidade. Outro destaque é o fato da edificação não apresentar ventilação natural em ambientes de permanência prolongada e nem elementos que se convertam em elementos de pontuação na forma de bonificações. Portanto tem-se nível A tanto para a envoltória quanto para o Sistema de Iluminação.

Conforme o RTQ-C, para receber o nível “A” na classificação geral, com o intuito de ratificar a classificação obtida, esta edificação precisaria atender os pré-requisitos gerais. No entanto, como foi feita somente as classificações parciais (envoltória e sistema de iluminação), os pré-requisitos gerais não influenciam nas classificações obtidas.

4.3.1 Classificação Final da Edificação e Etiquetagem

Segundo o Manual do RTQ-C, “as classificações parciais permitem a etiquetagem parcial dos sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar), que podem referir-se ao edifício ou a parcelas do mesmo referindo-se à eficiência dos sistemas separadamente”. A seguir, é apresentado um exemplo de etiqueta meramente ilustrativa na Figura 52.

Figura 52. ENCE parcial para edificações onde apenas a envoltória e o sistema de iluminação foram inspecionados.



Fonte: Adaptado do RAC, 2013.

4.4 Análise Crítica – 2ª etapa

4.4.1 Envoltória

A envoltória do novo prédio do Espaço de Ensino Mirante do Rio alcançou a melhor classificação que a certificação Procel Edifica pode conceber. Isso garante a etiquetagem nível “A” com a ENCE Parcial da edificação, que atesta o seu excelente desempenho energético. O resultado cumpre parcialmente a obrigatoriedade da instrução normativa MPOG/SLTI nº 02, por conseguir atingir o nível “A” exigido, porém a instrução normativa exige ENCE Geral, ou seja, ainda faltam as análises de desempenho dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar estudados posteriormente.

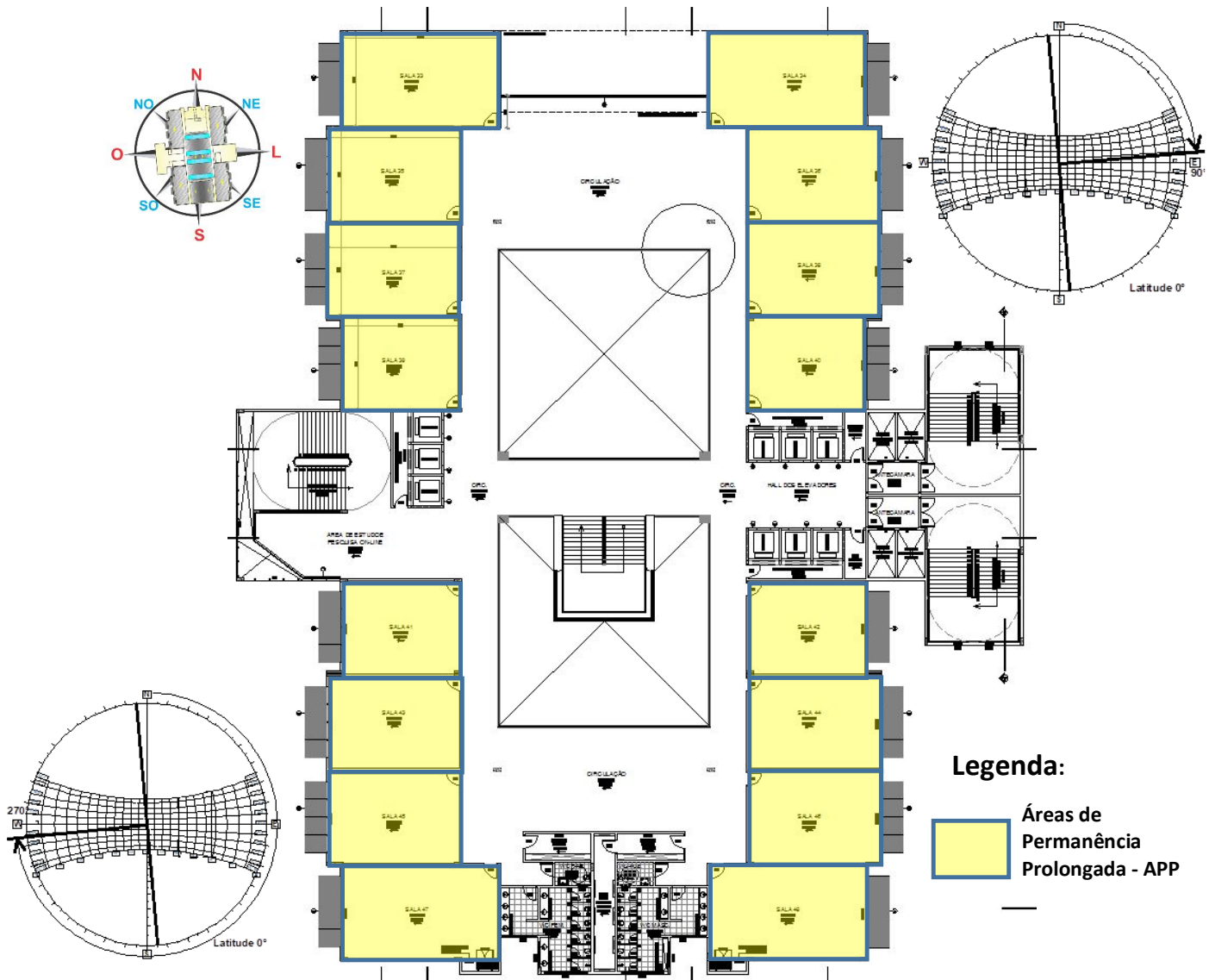
Apesar disso, é pertinente frisar que a edificação em estudo não está totalmente isenta de “lacunas projetuais”, ou seja, possui a possibilidade de receber interferências ainda mais potencializadoras do seu desempenho. Para a análise crítica da envoltória, considerou-se o balanceamento térmico do edifício sob três principais aspectos: os materiais dos fechamentos e aberturas; o posicionamento das aberturas de acordo com a orientação do edifício em relação ao norte geográfico; e os elementos de proteção das aberturas à radiação solar direta, verificando as angulações dos brises que promovem seu sombreamento.

A localização da edificação, de frente para a orla da universidade, é extremamente benéfica ao aproveitamento das condições climáticas. Livre de grandes anteparos que criam obstáculos à circulação dos ventos predominantes, o partido arquitetônico pode tirar proveito da estratégia bioclimática estipulada em norma para a zona pertencente a edificação (ZB 08) - ventilação cruzada.

Porém o edifício, localizado no campus básico da Universidade Federal do Pará, é um bloco de sala de aulas onde a maioria das áreas de permanência prolongada (APP segundo classificação do RTQ-C) são condicionadas artificialmente. Logo, o foco da análise a seguir foi dado às salas de aula, já que configura o seu uso principal, sem, no entanto, ignorar as áreas de permanência transitória (APT). Ver esses ambientes em planta na Figura 53.

Foi constatada nas áreas de permanência transitória a utilização de grandes aberturas para ventilação, propiciando o arrefecimento natural através da ventilação cruzada. Entretanto, esse benefício precisa ser comprovado via simulação computacional, que não está no escopo desse trabalho, mas que pode ser implementado em trabalhos futuros.

Figura 53. Planta baixa do Pavimento Tipo (1,2, 3 e 4).



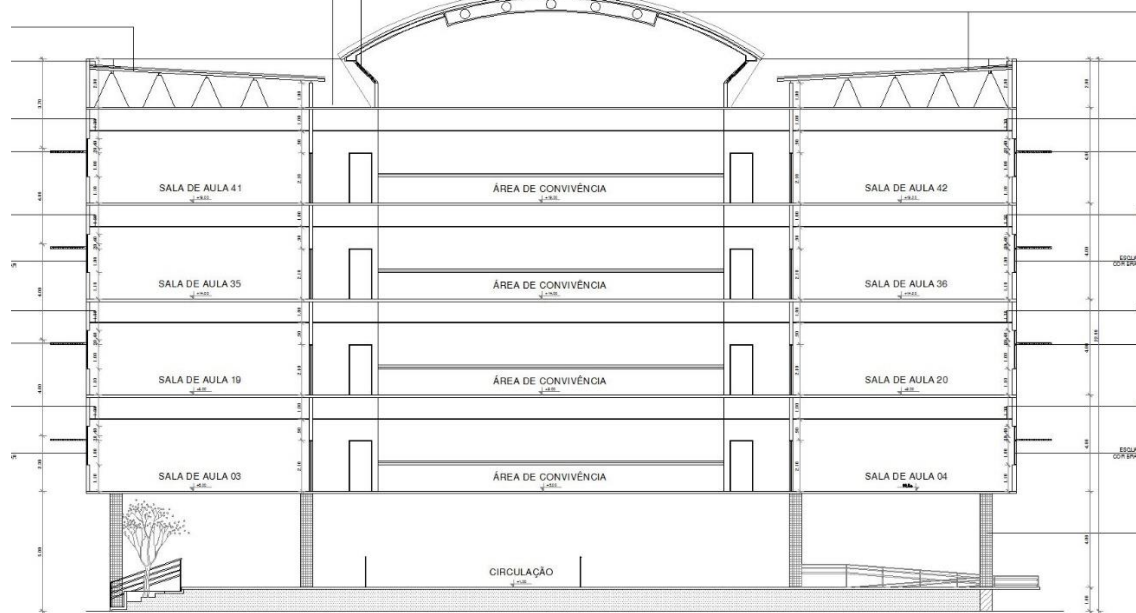
Fonte: Arquivo da UFPA, adaptado pela autora.

Implantado no sentido norte-sul, a edificação possui as principais fachadas orientadas à 85° de Azimute, e 256° em relação ao norte. Estas fachadas possuem a maior área de superfície em relação ao restante das superfícies da envoltória (fachadas norte, sul e cobertura), expondo os fechamentos a absorver grande parte da radiação solar.

Quanto à orientação da edificação no terreno, a decisão de implantar o sentido norte-sul como eixo longitudinal compromete o controle da absorção da radiação solar na Envoltória. A proporção de 67 metros de comprimento por 40m de largura, aproximadamente, na implantação do volume, expõe todos os seus ambientes de permanência prolongada. As salas de aulas (Figura 54) e salas administrativas ficaram com pelo menos uma face voltada para as fachadas com insolação mais crítica nesta região - leste e oeste, conforme concluído através da análise dos dados climáticos de Belém.

Nestas orientações, está também localizado o maior número de aberturas, o que favorece o acúmulo de radiação solar direta através da transmitância do vidro. Entretanto, o edifício apresenta brises nesse conjunto de aberturas, o que reduz o percentual de radiação transmitida ao interior do prédio e vidros com película de bom desempenho.

Figura 54. Secção Transversal do Edifício (sem escala).



Fonte: Arquivo da UFPA, adaptado pela autora.

Gurgel (2012) expôs que, “as edificações bem próximas ao Equador terão o sol da manhã tão forte quanto o da tarde, fazendo com que as faces leste e oeste recebam bastante insolação, que, além de muito intensa, será constante durante o ano todo”. O que é justificado pelo fato do sol não estar próximo ao horizonte, mantendo-se sempre alto, com isso a quantidade de insolação que as construções receberão será bem grande. (Gurgel, 2012). Esse é o caso da edificação em questão, situada na cidade de Belém, próxima a Linha do Equador, latitude 1,27°S.

A composição dos elementos construtivos da envoltória formando paredes leves atenderam os índices de resistência, transmitância e capacidade térmica, onde cada elemento cumpriu sua função estrutural sem comprometer o conforto térmico da edificação. O uso de uma tipologia de cobertura leve, com emprego de estrutura metálica e telhas termo acústicas pintadas com tinta na cor branca, assegurou o bom desempenho de uma das superfícies mais exposta aos picos de radiações solares de qualquer edificação – a cobertura.

Superfícies claras e refletoras foram empregadas na escolha dos materiais de acabamento externo e interno da edificação, revestimento cerâmico e pintura acrílica, respectivamente. A

característica dessas superfícies foi crucial para a baixa absorvência térmica da edificação, pré-requisito específico com alta influência no resultado final da classificação energética, assim como a transmitância térmica. O uso de revestimento cerâmico na cor amarela, utilizado em algumas paredes externas, comprova que o cuidado com o conforto térmico da envoltória não prejudica a aplicação de cores vibrantes e até mais absorvivas, de maneira consciente.

A análise crítica dos componentes dos fechamentos da envoltória concluiu que o cumprimento do pré-requisito específico de absorvência, transmitância e percentual de abertura zenital comprovou, neste caso, que é possível conciliar estética e plasticidade arquitetônica com técnicas bioclimáticas e de design passivo. Portanto, não é necessário propor consideráveis alterações nos materiais construtivos empregados no invólucro do prédio.

A justificativa se dá pelo fato de que a edificação foi evidentemente projetada levando em consideração os aspectos intrínsecos às diretrizes recomendadas em normas, regulamentos técnicos e estratégias relacionadas a arquitetura bioclimática, design passivo (brevemente abordados no capítulo 2 desse trabalho), e etc. Todos esses elementos que constituem o invólucro do prédio foram estrategicamente pensados para garantir bons resultados em relação ao conforto térmico-energético da edificação, e evidentemente foram pensados na fase correta – idealização e concepção de projeto.

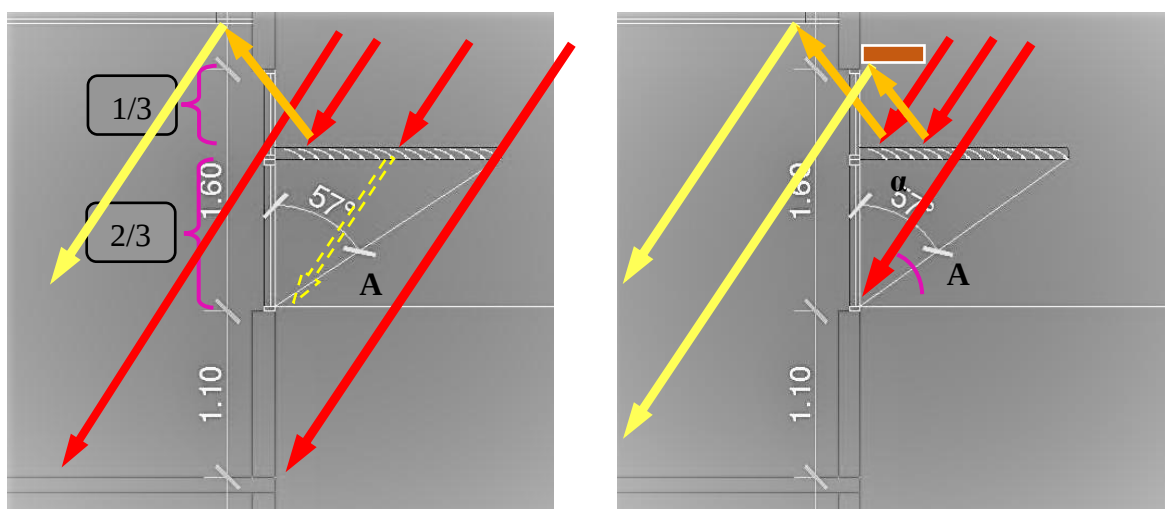
O que comprova que essas fases, quando elaboradas com o bom uso das técnicas passivas são cruciais para obter resultados satisfatórios. Lembrando que elas foram consideradas por Ceotto (2008) como as fases que mais propiciam efetiva interferência resultantes em redução de custos de uma edificação, gerando também ganhos energéticos e consequentemente a mitigação das emissões de gases que contribuem com as mudanças climáticas, que tanto afetam o planeta.

Porém, quando se observa as aberturas - janelas e vãos, a orientação das aberturas e a disposição dos brises nas janelas das APPs ressaltam as falhas de projeto. Gurgel (2012) afirma que no verão, para grande parte do Brasil, a melhor opção seria evitar aberturas (janelas e portas) nas faces leste e oeste das construções. O sol (raios solares) nessas direções pode ser muito quente e consequentemente aquecer demais o interior dos ambientes quando entrar pelas aberturas existentes nessas faces.

Além disso, as aberturas translúcidas fechadas na maior parte do tempo ocasionam o Efeito Estufa no ambiente, ainda que seja feito uso de condicionamento artificial nas APPs, as máquinas precisarão de mais potência para alcançar os níveis de conforto, aumentando assim o consumo energético do edifício.

Apesar do janelamento estar disposto corretamente caso a opção seja pela ventilação natural cruzada, a orientação das aberturas à leste e à oeste irá gerar transmitância excessiva de radiação solar direta através do vidro. O intervalo de horário entre 9h e 14h é o mais crítico em todo ano em Belém, sendo que no segundo semestre esse intervalo aumenta para 8h às 15h, o que requer o uso de sombreamento total das aberturas nesses intervalos. O Brise empregado no edifício é um tipo de “prateleira de luz”, refletindo uma parte da luz solar para o forro do ambiente interno. O sistema adotado é composto de uma janela protegida pelo brise e a “bandeira” acima do brise, não protegido como mostra a Figura 55.

Figura 55. Sistema de Brises Existente e Alternativa Ideal.



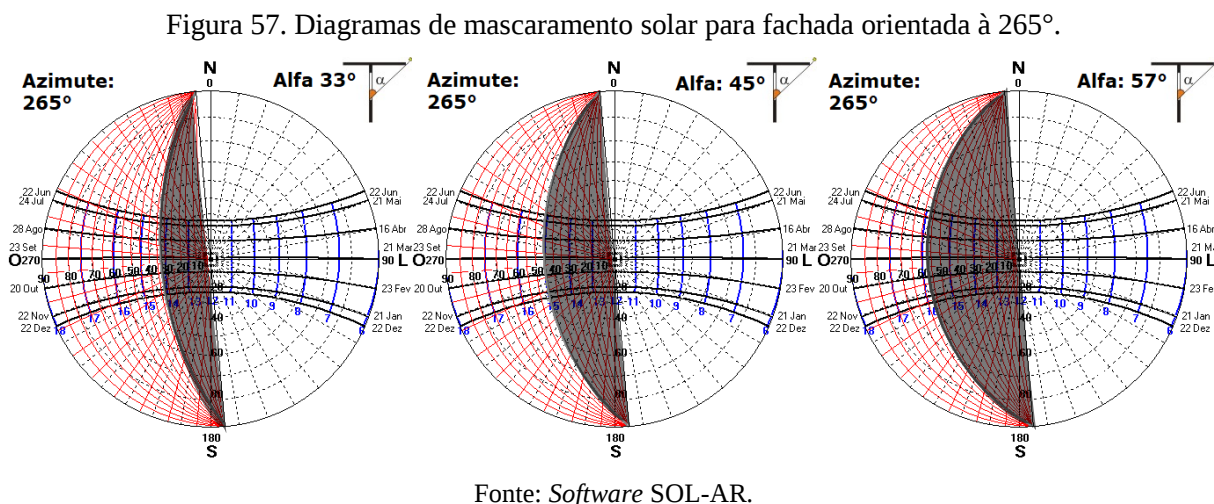
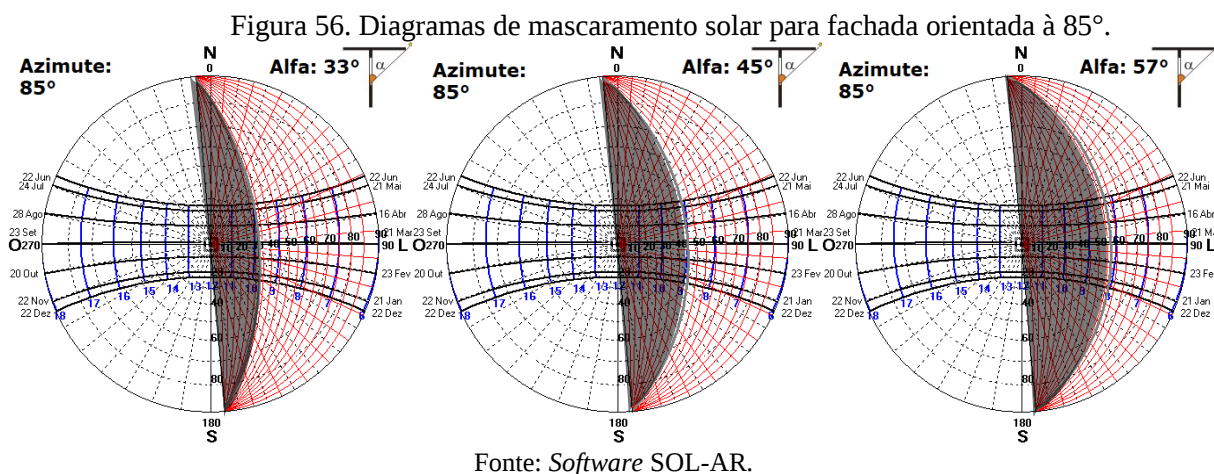
Fonte: Autora.

De acordo com o Método Prescritivo do RTQ-C, a aplicação de brises-soleis como elementos de sombreamento das esquadrias, formam os ângulos verticais de sombreamento (AVS). A própria volumetria da edificação também se comporta como elemento de sombreamento, onde a disposição das salas na planta baixa cria ângulos de sombreamento horizontais (AHS). Eles se configuram pelos avanços e recuos intrínsecos à volumetria da edificação. Essas duas tipologias de ângulos de sombreamento são componentes analisados na metodologia do RTQ-C, aplicados à fórmula do índice de consumo da envoltória (ICenv).

O uso dos elementos de obstrução solar na edificação forma uma barreira arquitetônica à radiação que contribui para a diminuição da incidência da radiação e consequentemente das trocas térmicas do exterior para o interior dos ambientes. Apesar disso, é pertinente frisar que a edificação em estudo não está totalmente isenta de “lacunas projetuais”, ou seja, possui a possibilidade de receber interferências ainda mais potencializadoras do seu desempenho. A respeito, é possível tecer uma observação relevante em relação ao emprego de elementos de sombreamento, haja vista que seu uso correspondeu a um bom desempenho segundo o resultado da análise pelo RTQ-C.

Observa-se que o brise empregado é maior que a altura da janela sombreada, o que configura um exagero no seu dimensionamento. O “A” corresponde a altura solar e representa o ângulo desde a linha de terra até a altura aparente do sol. O ângulo de sombreamento α (alfa) de 57° corresponde a uma altura solar simetricamente oposta de 33° . Para as aberturas orientadas à leste, por exemplo, essa altura corresponde à 8h da manhã, o que significa que a proteção está superdimensionada, pois começa a sombrear a abertura a partir dessa hora do dia.

Além disso, conforme a análise dos dados climáticos, Belém exige 100% de sombreamento das aberturas. Contudo, o sistema de prateleiras permite a entrada de radiação solar direta em um terço da área da janela durante todas as horas correspondentes à orientação Leste e Oeste. Isto significa que, para que esse sistema funcione, a despeito da sua contribuição na distribuição de luz natural, deve haver um outro elemento de sombreamento da “bandeira” da janela que ao menos proteja nos horários mais críticos. A Figura 56 mostra três diferentes ângulos de sombreamento α (alfa) para as orientações 85° (leste) e 265° (oeste).



Os diagramas de mascaramento das Figura 56 e Figura 57 os ângulos de sombreamento que protegem as aberturas nos seguintes intervalos horários descritos na Tabela 42.

Tabela 42. Intervalos de sombreamento das aberturas orientadas à leste e oeste.

Alfa (α)	Leste	Oeste
33°	10h / 12h	12h / 14h
45°	09h / 12h	12h / 15h
57°	08h / 12h	12h / 16h

Fonte: Extraído do diagrama solar pela autora.

Considerando que os dados climáticos apontam que o intervalo de horário entre 9h às 14h é o mais crítico em todo ano em Belém, conclui-se que a solução cujo $\alpha = 45^\circ$ atende às necessidades do edifício. Além disso, deve-se adicionar um brise de mesma angulação para a “bandeira” da janela. Através da análise de geometria da insolação, é possível afirmar que, para proteger as aberturas da radiação solar direta nos horários críticos, não é necessário aplicar um $\alpha = 57^\circ$.

4.4.2 Sistema de Iluminação

Vale ressaltar a importância do cumprimento dos pré-requisitos gerais e específicos para obter-se um bom resultado final na classificação do nível de eficiência de uma edificação. O não cumprimento dos pré-requisitos pode rebaixar o nível prejudicando todo o empenho do projetista em calcular um bom projeto luminotécnico adequado às normas e legislações vigentes, como a NBR ISO CIE 8995-13, entre outras.

Mesmo que o não cumprimento dos pré-requisitos não tenha afetado diretamente a classificação final do sistema de iluminação, é recomendado fazer uma revisão nas instalações elétricas da edificação a fim de sanar esse problema.

O não cumprimento do pré-requisito de contribuição da luz natural não impediu que o nível da classificação de desempenho energético alcançado fosse “A”. O pré-requisito exige que ambientes com aberturas que propiciem incidência de iluminação natural apresentem acionamento independente das luminárias da fileira paralela às aberturas, de modo que as lâmpadas possam ser desligadas conforme possível.

4.5 Ações de Melhoria – 3ª etapa

Portanto, recomenda-se que:

- 1) Para o atendimento do pré-requisito de contribuição da luz natural, uma ação simples de rearranjo do acionamento das teclas dos interruptores sanaria o problema sem demandar grandes investimentos com compra de novos equipamentos. É importante frisar, que ao contribuir com o atendimento das diretrizes de eficiência energética, além de maximizar o uso da iluminação natural, essa medida gera ganhos financeiros, ambientais e contribui para o bem-estar dos usuários;
- 2) Porém para o atendimento do pré-requisito de desligamento automático da iluminação seria necessário o investimento em equipamentos como sensores de presença que desliguem a iluminação 30 minutos após a saída de todos os ocupantes, ou um sistema automático com desligamento da iluminação em um horário pré-determinado;
- 3) Outra recomendação para melhorar a eficiência energética predial, reduzindo o consumo energético ao longo da vida útil da edificação seria aplicar medidas que diminuíssem a densidade de potência instalada no sistema atual, substituindo, por exemplo, lâmpadas menos eficientes (as fluorescentes) por lâmpadas mais eficientes (as Leds). Lembrando que a diminuição da densidade de potência não significa a diminuição da quantidade e qualidade da iluminação projetada para a edificação e sim a troca de sistemas menos eficientes por outros mais eficientes, porém que possuam funções e níveis de qualidades equivalentes.

Seguindo as etapas da metodologia proposta, o emprego das recomendações pontuadas, para o sistema de iluminação do estudo de caso foi simulado. O *software RETScreen* foi escolhido como instrumento de análise da viabilidade ou não da aplicação dessas novas medidas. O programa gera análises de caráter energético, financeiro e ambiental, dando suporte a tomada de decisão a respeito da melhor alternativa a seguir a fim de alcançar os objetivos almejados.

4.6 Considerações sobre a aplicação da metodologia – etapas 1, 2 e 3

Este capítulo começou a colocar em prática a metodologia de análise proposta na dissertação, sendo aplicado o método prescritivo do RTQ-C no Espaço de Ensino Mirante do Rio. Com os resultados obtidos, foi possível constatar na primeira fase que tanto a envoltória quanto o sistema de iluminação, da referida edificação, obtiveram como classificação final

individual o nível de desempenho mais alto – nível “A”. Como o propósito da metodologia elaborada não se detêm somente ao desempenho alcançado na aplicação do regulamento técnico, foi possível realizar a segunda etapa com caráter analítico.

A análise crítica encontrou possibilidades de melhorias nos dois casos avaliados, porém com destaque para o sistema de iluminação, que tem real potencial de melhorias mensuráveis. A envoltória, apesar de apresentar recomendações para melhor aproveitamento do seu desempenho, não precisaria passar por *retrofit* por não ser viável de execução futura a alteração referente a orientação da implantação da edificação no terreno. Apesar das críticas em relação aos dispositivos de sombreamento horizontais (brises) da edificação, as recomendações de alteração não serão analisadas nesse trabalho, ficando a cargo de trabalhos futuros. Isso faz com que a metodologia aplicada à envoltória não tenha continuidade nas etapas subsequentes.

Contudo, o sistema de iluminação passou pela 3ª etapa e recebeu recomendações de ajustes realizáveis em um futuro *retrofit* que a edificação possa passar. Consequentemente, este sistema segue para a etapa final da metodologia que será demonstrada no próximo capítulo. Nele o caso proposto passa por uma simulação computacional comparativa com o caso real (sistema sem alterações), gerando resultados com projeções mais concretas a respeito de seus benefícios e viabilidade de realização.

Ressalta-se a importância da análise crítica dentro da metodologia, realizada na etapa dois, pois foi onde se constatou que para a envoltória a aplicação da metodologia já se encerra nesta etapa. Tendo em conta que foi averiguado e ratificado o resultado da primeira etapa de aplicação do RTQ-C, onde se estipulou a excelente *performance* energética dos elementos constituintes do invólucro da edificação em estudo, com uma excelente classificação individual.

Apesar de ter obtido a mesma classificação nível “A” que a envoltória, a análise determinou que o sistema de iluminação prosseguisse na metodologia para seu aproveitamento máximo, visto que este sistema apresentou grande potencial de melhorias técnicas mesmo sendo classificado com nível máximo. Pela análise feita nos itens descritos anteriormente não existem propostas de melhorias que acarretem em significativas contribuições para a eficiência desse sistema. Entretanto, para o sistema de iluminação, continua-se a aplicação da metodologia com a etapa subsequente, no capítulo 5.

Concluiu-se também que com o emprego desse estudo em uma edificação foi possível averiguar na prática a metodologia parando no ponto que precisa ou continuando a sua contribuição, caso necessário. Portanto é pertinente realçar a importância da análise crítica

que vai ser crucial e determinante à continuidade ou não da aplicação da metodologia de viabilidade energético-financeira e ambiental. Mostrando que a metodologia, além de ser amplamente aplicada em uma variedade de edificações não residenciais, pode ser interrompida.

Ela só será empregada por completo, se realmente for necessário, evitando assim perda de tempo e de recursos com mudanças desnecessárias, trazendo segurança na tomada de decisões para os profissionais envolvidos, clientes, empresários e os demais interessados.

5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: RETSCREEN

Na análise técnica, feita na etapa 2 da metodologia, concluiu-se que a envoltória não passará por *retrofit*, o que fez com que não fosse necessária a continuidade do estudo dela nas etapas subsequentes. Por conta disso, esse capítulo tem seu enfoque principal referente a 4ª e última etapa da metodologia que visa apresentar o resultado da simulação computacional feita somente para as ações propostas resultantes da avaliação crítica do sistema de iluminação.

Uma análise de viabilidade oferece a segurança na tomada de decisão para os profissionais envolvidos no processo produtivo, em qualquer etapa de trabalho. Com base nisso, mesmo que a envoltória não passe pela etapa 4 da metodologia, faz-se necessário apresentar as possibilidades de aplicação do *software* nessa etapa para que possa ser aplicado em um outro estudo futuro. Primeiramente são apresentados os aspectos do invólucro do prédio que são levados em consideração na simulação do *RETScreen* e posteriormente a aplicação no sistema de iluminação e condicionamento de ar.

Para a avaliação computacional deve-se inserir dados gerais na aba inicial do modelo energético, como: tipo de combustível (eletricidade); valor da tarifa energética; os horários, incluindo os *setpoints* de temperatura para aquecimento (sistema de calefação) e refrigeração (sistema de ar condicionado) dos ambientes; e períodos desocupados, são especificados na seção "combustíveis e horários" da planilha do Modelo de Energia. Ver Figura 58.

Figura 58. Aba de cadastro de dados de combustível e horário do Modelo Energético.

Combustíveis & horários		Mostrar dado					
		Tipo de Combustível 1	Tipo de Combustível 2	Tipo de Combustível 3	Tipo de Combustível 4	Tipo de Combustível 5	Tipo de Combustível 6
Combustível		Eletricidade					
Tipo de Combustível							
Consumo de combustível - unitário		MWh					
Preço combustível - unidade		\$/kWh					
Preço do combustível		0,46435					
		Horário 1	Horário 2	Horário 3	Horário 4	Horário 5	Horário 6
Horário	Unidade	24/7	Ocupado	Ocupado	Ocupado	Ocupado	Ocupado
Descrição							
Temperatura - aquecimento ambiental	°C						
Temperatura - refrigeração ambiental	°C						
Temperatura - desocupado	+/- °C						
Taxa de ocupação - diária		h/d					
Segunda-feira		24					
Terça-feira		24					
Quarta-feira		24					
Quinta-feira		24					
Sexta-feira		24					
Sábado		24					
Domingo		24					
Taxa de ocupação - anual	h/ano	8.760					
	%	100%					
Temperatura de comutação aquec./refrigeração	°C	16,0					
Duração da estação de calor	d	0					
Duração da estação de frio	d	365					

Fonte: RETScreen 4.0.

Devem ser contabilizados a taxa de ocupação diária, o número de horas por dia que são considerados períodos ocupados, para cada dia da semana e para cada horário especificado (no caso do estudo em questão seriam inseridas 14h de ocupação por dia da letivo da semana

acadêmica, que acontece de segunda à sábado). Já para a taxa de ocupação anual, o modelo de cálculo do programa mensura o número de horas por ano (para o Mirante seriam 297 dias letivos para a edificação em estudo, segundo o calendário 2017 da UFPA) que são consideradas como períodos ocupados para cada horário especificado.

O modelo também dimensiona essa taxa de ocupação, em porcentagem. Para instalações que não estão ocupadas durante certos períodos do ano (por exemplo, escola fechada nos meses de férias), o usuário pode explicar isso no modelo.

Aplicados esses dados de entrada, o *software* tem potencial para avaliar vários elementos da envoltória, que podem sofrer modificações tanto na proposição de um *retrofit* da edificação existente quanto na fase de elaboração do projeto arquitetônico novo, onde é mais eficaz intervir, conforme constatado no item 2.4 do capítulo 2.

5.1 Envoltória

Para essa análise específica, o programa leva em consideração a implantação da edificação segundo a sua orientação geográfica no terreno. Para isso o usuário deve inserir os graus de inclinação da edificação implantada em relação ao norte (ver Figura 53).

Os elementos que podem ser analisados e que possuem interação com os parâmetros contidos tanto no regulamento de qualidade do RTQ-C quanto pelo *RETScreen* são:

- Paredes

O programa leva em consideração a metragem quadrada de cada fachada segundo a orientação geográfica (norte, sul, leste e oeste), sua área (m^2). O usuário deve inserir esses dados incluindo as áreas de janelas e portas, que serão descontadas pelos cálculos do programa na aba de contabilização de aberturas do invólucro (ver Figura 59).

Para cada parede o usuário poderá cadastrar os valores de resistência térmica (R) e transmitância térmica (U) de cada elemento constituinte de uma construção específica, ou podem ser calculadas usando uma ferramenta de propriedades do invólucro da construção (*building envelope properties*). O modelo sugere a condutividade para cada camada com base na descrição selecionada. O usuário também pode substituir esse valor inserindo um valor diretamente na célula, preferencialmente com base na norma de desempenho térmico de edificações – NBR 15220: parte 2.

Figura 59. Aba de cadastro de dados das paredes da envoltória.

Fonte: RETScreen 4.0.

Esses dados de resistência também são calculados pela referida norma. É importante lembrar que esses elementos são essenciais para estabelecer o valor da transmitância térmica, que é um importante pré-requisito específico da envoltória, considerado na verificação do desempenho energético pelo RTQ-C.

Se o usuário não dispuser dos valores, a ferramenta propriedades do invólucro da construção calcula a resistência térmica ou a condutância térmica de um conjunto de elementos de construção específico, usando o tipo de material e sua espessura, podendo ser cadastradas até 8 camadas.

Apesar do programa levar em consideração esse pré-requisito, ele não avalia outro importante pré-requisito da envoltória que é a absorvância térmica. Esse é um dos pontos limitantes da aplicação do *software* como instrumento de complementação da análise do regulamento técnico de qualidade.

- Janelas

A ferramenta de propriedades de janela é fornecida para determinar as propriedades de janela efetivas, isto é: área, valor de transmitância e coeficiente de ganho de calor solar (ver Figura 60).

Esta ferramenta é útil quando janelas de diferentes tamanhos e/ou propriedades diferentes estão instaladas na mesma fachada do prédio. As ferramentas das abas também podem ser consideradas para ajustar valores de U e coeficientes de ganho de calor solar a partir de valores avaliados quando as janelas diferem do tamanho avaliado.

Figura 60. Aba de cadastro das características das janelas da envoltória.

The screenshot shows the RETScreen software interface for the 'Envelope' (Envoltória) tab. It includes a 'Description' field and a table for window characteristics. The table has columns for 'Case of reference' (Caso de referência) and 'Proposed case' (Caso proposto), with sub-columns for North, East, South, and West. The rows include 'Area' (Área), 'U-value' (Valor - R), 'Solar heat gain coefficient' (Coeficiente de ganho de calor solar), and 'Solar shading' (Sombreamento solar). Checkboxes are provided for 'Solar shading - use of stations' (Sombreamento solar - estações de uso), 'Doors' (Portas), 'Roof' (Telhado), 'Floor' (Piso), 'Wall below ground' (Muro abaixo do solo), and 'Floor below ground' (Piso-abaxo-nível). An 'Avançar' button is located at the bottom right.

Fonte: RETScreen 4.0.

O usuário insere o valor da largura da janela especificada, que é medida na direção horizontal e inclui o caixilho (moldura) da esquadria. Já a altura é medida na direção vertical e também inclui o caixilho. Além disso, o valor do custo unitário por tipo de janela deve ser especificado.

Se mais de uma janela for especificada ("número" na célula à direita), esse custo será multiplicado pelo número de janelas para calcular o custo total. Os custos iniciais incrementais de todas as janelas para cada orientação são calculados na planilha. O usuário insere o número de janelas idênticas que são usadas no mesmo lado (orientação) do edifício. Então, o modelo calcula a área da janela. Esse valor é baseado nas dimensões (largura x altura) e no número de janelas especificado. O modelo ajusta as propriedades da janela da área da janela nominal para a área da janela real.

- O coeficiente de ganho de calor solar (*Solar Heat Gain Coefficient* - SHGC)

Esse é outro fator a ser cadastrado. O SHGC é uma quantidade adimensional que representa a fração do incidente de energia solar na janela que acaba como calor dentro do prédio, ou seja, o fator solar (FS) levado em consideração pelo RTQ-C. Observe que o coeficiente de sombreamento (SC) pode ser convertido em SHGC multiplicando em 0,87.

O usuário insere o valor de U (transmitância térmica) que corresponde à janela especificada. Este valor apenas corresponde ao valor U da janela no tamanho avaliado e deve ser ajustado de acordo com as dimensões reais da janela. O modelo executa esse ajuste.

O modelo calcula a área total de todas as janelas em cada lado (orientação) do prédio tanto para o caso base quanto para o design do caso proposto. Esses valores podem ser usados no formulário do envelope de construção para projetos de medidas de eficiência energética. O modelo também calcula o valor de U ajustado ponderado em área para todas as janelas em cada lado (orientação) do prédio tanto para o caso de base quanto para o projeto de caso proposto.

- Sombreamento solar

É incorporado na análise, onde alguns campos de entrada serão adicionados para permitir ao usuário personalizar a análise de sombreamento solar de acordo com as circunstâncias específicas do projeto. Um fator de sombreamento representa a fração de uma área de superfície de janela que é sombreada da luz solar direta por uma obstrução, como um edifício adjacente, vegetação ou um dispositivo de sombreamento como um brise. Portanto, o fator de sombreamento é a redução dos ganhos solares devido ao sombreamento e não está associado ao coeficiente de sombreamento da janela. No Hemisfério Norte, o modelo assume que o inverno ocorre nos meses de outubro a março. No hemisfério sul, os meses de inverno são considerados de abril a setembro. Para fins de cálculo, a área da janela é reduzida pela proporção dada pelo fator de sombreamento ao calcular os ganhos de calor solar.

O fator de sombreamento não é constante; em vez disso, varia com a posição do sol e a época do ano. Para o sombreamento solar de inverno, o usuário entra no sombreamento externo estimado da janela para os seis meses mais frios, quando o sol é mais baixo no céu. Para o de verão, o usuário entra no sombreamento externo estimado da janela para os seis meses mais quentes quando o sol está mais alto no céu.

- Portas

O usuário indica, marcando a caixa, se deve ou não realizar uma análise detalhada das portas. Se o usuário marcar a caixa, alguns campos de entrada serão adicionados para permitir ao usuário personalizar a análise das portas de acordo com as circunstâncias específicas do projeto, conforme aparece na Figura 61.

Figura 61. Aba de cadastro das características das portas da envoltória.

1

2

3

4

5

Descrição

Caso de referência

Caso proposto

Norte do prédio

o

0

☒ Caso de referência = Caso proposto

Horário

Horário 1

Descrição

24/7

24/7

Caso de referência

Caso proposto

Involúcro do prédio

Custo inicial incremental

Norte

Leste

Sul

Oeste

Norte

Leste

Sul

Oeste

☐ Caso de referência = Caso proposto

Muros

Área

Valor - R

m²

m² - °C/W

\$

☐ Janela

%

m² - °C/W

\$

☒ Portas

%

m² - °C/W

\$

☐ Telhado

%

m² - °C/W

\$

☐ Piso

%

m² - °C/W

\$

☐ Muro abaixo do solo

%

m² - °C/W

\$

☐ Piso-abaixo-nível

%

m² - °C/W

\$

Avançar

Avançar

Fonte: *RETScreen* 4.0.

O usuário seleciona o método de entrada selecionando a unidade. Se "m²" ou "ft²" for selecionado, o usuário entrará na área da janela real ou porta, incluindo o quadro da janela (isto é, o orifício na parede necessário para instalar a janela). Se "%" for selecionado, o usuário entrará na área da janela ou porta como uma porcentagem da área de parede externa bruta inserida acima. O modelo calculará automaticamente a área da parede com base na área da parede bruta para explicar a porcentagem da área da janela.

Note-se que, para as portas que consistem principalmente em vidro (por exemplo, portas de pátio), elas devem ser inseridas na seção do Windows por ser onde se quantifica, no programa, os ganhos de energia solar.

- Cobertura

Para a cobertura o usuário indica a área do telhado como o plano através do qual a perda de calor primária ocorre. Para telhados planos e telhados abobadados isolados, o usuário deve computar a área do próprio telhado. Para os telhados do estilo do sótão, o usuário calcula a área do plano horizontal isolado. Ao selecionar a unidade, o usuário entrará na resistência (R) ou na transmitância (U) da cobertura (ver Figura 62).

Figura 62. Aba de cadastro das características da cobertura da envoltória.

RETScreen

Involúcro do prédio

1 2 3 4 5

Descrição

Caso de referência

Caso proposto

Norte do prédio

Horário

Descrição

Involúcro do prédio

Muros

Área

Valor - R

Janela

Portas

Telhado

Área

Valor - R

Piso

Muro abaixo do solo

Piso-abaixo-nível

Avançar

Custo inicial incremental

Avançar

Fonte: RETScreen 4.0.

- Infiltração de ar natural

O usuário seleciona o método para avaliar a infiltração de ar natural na lista suspensa. É preciso estipular se a entrada de ar exterior através de rachaduras no invólucro do edifício (por exemplo, janelas, paredes e portas) deve ser aquecida e / ou arrefecida. Para determinar a energia anual precisa aquecer e / ou arrefecer esse ar, a taxa média de movimento do ar deve ser determinada (ver Figura 63).

Figura 63. Aba de cadastro das características da ventilação natural da envoltória.

RETScreen

Involúcro do prédio

1 2 3 4 5

Descrição

Infiltração de ar natural

Método

Muros

Janela

Portas

Infiltração de ar natural

Custo inicial incremental

Economia de O&M incremental

Número de unidades de invólucros dos prédios

Seleção do Sistema

Sistema de Aquecimento

Descrição do sistema de aquecimento

Demanda de calor

Avançar

Custo inicial incremental

Avançar

Fonte: RETScreen 4.0.

No entanto, estimar o nível de infiltração é uma tarefa não trivial, embora um teste físico, como um teste de porta do ventilador, possa ser realizado para medir o nível de infiltração. Se a infiltração de ar natural é conhecida, como através de um teste de porta de ventilador, o usuário simplesmente insere esse valor escolhendo o usuário definido na célula abaixo. Se esse valor não for conhecido, pode ser estimado usando os vários métodos que não serão abordados nesse trabalho.

Em todos os casos o usuário insere informações sobre o caso base e casos propostos. O usuário também insere os custos iniciais incrementais para o caso proposto. Note-se que se os custos incrementais são nulos, ou seja, os custos para o caso proposto são iguais aos que teriam sido gastos para o caso base, o usuário deve entrar em 0. O modelo calcula os custos iniciais incrementais para o caso proposto. Esse valor pode ser usado no formulário do envelope de construção para projetos de medidas de eficiência energética.

Para ajudar a acelerar o processo de entrada de dados, para partes do envelope do edifício que são idênticas tanto para a base como para os casos propostos, o modelo fornece um meio para copiar os dados do caso base para o caso proposto. Ao assinalar a caixa, o usuário pode transferir automaticamente os valores das células do estojo base para células do caso proposto.

5.2 Sistema de Condicionamento de Ar

Nesta seção são inseridos os aparelhos de ar condicionado, na aba chamada “Equipamento Elétrico”, onde é realizada a descrição dos equipamentos que são utilizados dentro dos ambientes contidos no edifício em análise (ver Figura 64). Dentro dessa caixa de diálogo, o programa disponibiliza mais 5 sub-abas e em cada uma delas é possível cadastrar até 11 equipamentos de refrigeração, totalizando 55 máquinas analisadas.

Para a análise é fornecida a quantidade de equipamentos existentes que estão instalados por ambiente e os que serão adquiridos em substituição. Dados específicos de funcionamento das máquinas também devem ser fornecidos como: a quantidade de máquinas (unidade); horas de operação por dia (h/d); carga de elétrica (kw); o fator percentual de utilização (%); o custo incremental (R\$) que corresponde ao produto do valor unitário dos novos equipamentos pela quantidade total de equipamentos adquiridos; e finalmente é acionada a caixa de opções indicando que existe impacto na climatização ambiental.

(20)

$$Vp = \frac{Vn}{H \times D}$$

Onde:

Vp: Vida do projeto (ano);

Vn: Vida útil da lâmpada nova (horas);

H: Horas de consumo do sistema de iluminação (horas/dia);

D: dias utilizados no ano;

Ressaltando que a escolha pelas Leds está pautada nas características principais delas – o maior tempo de vida útil e o consumo menor de energia elétrica. Uma das desvantagens é o preço de comercialização ser mais elevado em relação as demais tipologias de lâmpadas (fluorescente, incandescentes, etc), portanto, sua utilização só é justificada se as características relacionadas à economia forem atendidas.

A utilização destas novas lâmpadas representa ainda uma redução significativa da exploração dos recursos naturais, pois, quanto menor o consumo de energia, menor será a necessidade de novo fornecimento e novas usinas para produzi-la. Para começar a simulação, depois da escolha das novas lâmpadas, foram definidos alguns itens essenciais para a inicialização do programa. Conforme abordado no item 2.5 do capítulo 2, esses dados são preestabelecidos na aba inicial do software e servirão como diretrizes para a caracterização do objeto estudado. Dentre os principais estão:

- **Tipo de projeto:** Ações de Eficiência Energética;
- **Tipo de instalação:** Institucional;
- **Tipo de análise:** Método 1;
- **Localização dos dados climáticos:** Belém-PA.

Para caracterizar o modelo energético deve ser escolhido também o tipo de combustível, no caso a eletricidade. É acrescentado então o preço unitário tarifado no momento atual para o setor público, segundo informações da concessionária regional, a Rede Celpa. A universidade federal do Pará é classificada no subgrupo A4 (2,3kv a 25kv) por possuir demanda de aproximadamente 13kv, com valor da tarifa de consumo de energia elétrica horo-sazonal azul de R\$0,411240 por kwh na ponta e R\$0,289590 fora de ponta, consultado diretamente na fatura atual de energia da universidade, ano de 2017.

Outra informação relevante para a avaliação é o período de utilização da edificação. Quanto a isso, a secretaria acadêmica do espaço de ensino informou que o horário de funcionamento se divide em três turnos, manhã/tarde/noite (das 7h30min às 21h50min), de segunda a sábado. Para a análise foi considerada uma carga horária total de 14hs de operação, sendo 11 horas funcionando com tarifa de energia elétrica no período de consumo fora de ponta³ e 3 horas na ponta⁴ das 18h30 às 21h29, segundo a Nota Técnica nº 125/2015–SGT/ANEEL (2015). Portanto, encontrou-se o valor de R\$0,315657 por kwh, um valor único ajustado aos dois tipos de tarifas e horários de operação (h/d) da edificação. O valor médio foi calculado aplicando-se a equação (21), utilizada para esse caso específico com dois tipos de tarifas abrangidas devido ao extenso horário de funcionamento das atividades de ensino.

(21)

$$Tf = \frac{(Tp \times Hp) + (Tfp \times Hfp)}{Ht}$$

Onde:

Tf: Tarifa final;

Tp: Tarifa na ponta;

Hp: Horas de consumo na ponta;

Tfp: Tarifa fora de ponta;

Hfp: Horas de consumo fora de ponta;

Ht: Total de horas de consumo (ponta e fora de ponta);

Em seguida é necessário escolher o tipo de instalação a ser analisada (lâmpadas), dentre as opções disponibilizadas pelo programa, para inserir os dados de entrada com as características do sistema. Na caixa de diálogo da Figura 65, sobre as características das lâmpadas, entram as informações de nível de iluminação, com base na norma NBR ISO/CIE 8995-1/ de 2013 - Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior. Ela estipula níveis de iluminância e outros fatores para o projeto luminotécnico de ambientes internos, em substituição a então extinta NBR 5413 DE 1992 - Iluminância de Interiores.

³ Horário fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

⁴ Horário de ponta: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão.

Figura 65. Especificação da análise do sistema de iluminação.

		Caso de referência	Caso proposto
☒ Tipo de ambiente		Sala de aula	Sala de aula
Nível de Iluminamento - sugerido	Lux	500	500
Nível de Iluminamento	Lux	500	500
Tipo de lâmpada e de receptáculo		Fluorescente T8 - reator eletrônico	Definido pelo usuário
Eficiência luminosa	lm/W	85,5	92
Carga elétrica	W	28	20
Número de dispositivos - sugerido			3
Número de dispositivos		2	2
Nível de Iluminamento - variação	%		-23,1
Horas de operação	h/d	14	14
Custo inicial incremental	\$		80
Economia de O&M incremental	\$		4,6
Número de unidades		104	104
Demanda de eletricidade	MWh	30	21
			28,6%

Impacto climatização ambiental
☐ Sim ☒ Não

Impacto aquecimento ambiental
☐ Sim ☒ Não

Fonte: RETScreen 4.0.

Ainda foi preciso escolher o método a ser usado internamente na aba de análise das lâmpadas. Segundo o Manual do usuário *RETScreen* 4.0, "O método escolhido dependerá tipicamente da disponibilidade de dados de entrada e da fase de desenvolvimento do projeto (por exemplo: estudo de viabilidade prévia vs. estudo de viabilidade)." Nesse caso, optou-se pelo método 2, por ser mais completo e pela disponibilidade dos dados de entrada do projeto.

O nível de lux, é determinado pelo programa de acordo com o tipo de ambiente previamente selecionado, 500lux para salas de aula (atividade principal da edificação, segundo o item 3.2.1 do capítulo 4).

Além do nível de iluminância (lux), determinado pelo programa de acordo com o tipo de ambiente previamente selecionado, foi selecionado o tipo de lâmpada para que o programa fornecesse o valor da eficiência luminosa lm/W. Ficando: 85,5lm/W para a fluorescente tubular T8; 56,7lm/W para as fluorescentes compactas e 92lm/W para as leds fluorescente e 70lm/W para as leds compactas, sendo estes dois últimos valores fornecidos pelo fabricante das lâmpadas e cadastrados no programa na opção "definido pelo usuário".

O próximo dado de entrada é de extrema importância, porque diz respeito à carga elétrica de lâmpadas e reatores, ou seja, sua potência. Além disso, o número de dispositivos

quantificados e as horas de operação dos ambientes são inseridos para ajudar a mensurar o consumo energético.

Após fazer o levantamento de dados do sistema de iluminação existente no projeto e confirmação *in loco*, escolheu-se as lâmpadas mais eficientes que irão substituir o sistema atual. Lembrando que, antes, é preciso se atentar à tipologia e as propriedades técnicas da lâmpada ou sistema de iluminação (potência, lumens, temperatura de cor, eficiência, etc.) que irão compor o caso proposto em substituição ao caso de referência/existente. Tudo isso de acordo com o cálculo luminotécnico (ver apêndice B) baseado na norma NBR ISO CIE 8995-1.

Com as lâmpadas mais eficientes escolhidas, seguindo as normas de iluminação já citadas, é preciso realizar uma pesquisa de custos tanto das lâmpadas existentes quanto das novas. Esse levantamento de preços serve para o cálculo do custo inicial incremental, (valor investido para executar as alterações de melhoria propostas no retrofit do sistema elétrico). O valor estimado de gastos com mão de obra para a execução do serviço e outras despesas, computados em R\$2.742,00 reais, foram inseridos na etapa de análise financeira, onde complementarão o valor do custo inicial incremental.

Já a economia de O&M (operação e manutenção) foi calculada usando a equação (22) de Aquino (2016), conforme apresentada no capítulo 2. Portanto, segundo os dados apresentados a seguir, obteve-se o valor de O&M em R\$6,06375 reais por ano.

(22)

$$O\&M = N_i \cdot P_a \cdot \frac{V_n}{V_a^2} \cdot T \cdot D$$

Onde:

N_i= 2 (número de lâmpadas por luminária);

P_a= R\$9,00 (preço da lâmpada antiga);

V_n= 35.000 (vida útil da lâmpada nova);

V_a²= 20.000 (vida útil da lâmpada antiga, ao quadrado);

T= 14hs (tempo de utilização em horas por dia);

D= 275 letivos (quantidade de dias de um ano);

Como o objeto de estudo é um prédio universitário com seu funcionamento destinado a aulas, a quantidade de dias aplicada no cálculo de economia a de O&M_{incremental} foi baseado no calendário acadêmico de 2017 da UFPA, totalizando 275 dias letivos. Como já foi mencionado, o tempo de utilização em horas por dia usado no estudo foi 14hs.

Assim, para o *retrofit* do sistema de iluminação foram definidas as lâmpadas para a substituição das fluorescentes: as lâmpadas fluorescentes tubulares com potência de 28W, 2900 lumens e reator de 2x28W com perda de 6W, foram substituídas por lâmpadas Led de 20W, 2045 lumens sem necessidade de reator. A outra troca foi com as lâmpadas fluorescentes compactas de 20W, 1200 lumens por lâmpadas Led 10W, 1320 lumens. As luminárias continuam as mesmas pela compatibilidade entre as lâmpadas.

Inserido todos os dados técnicos referentes as características da instalação existente e proposta (lâmpadas, ou lâmpadas e reatores), o programa simula um relatório da análise do consumo de eletricidade no caso de referência e no caso proposto, mensurando os custos referentes a cada caso. Lembrando que na análise financeira foi ajustado o valor da taxa de inflação atual, estipulada de 9,32% (IPCA de maio de 2016), pela Bovespa. A partir disso, é possível estimar a economia do consumo de eletricidade e dos gastos financeiros.

Resultados da Simulação - *RETScreen*

5.3.1 Análise de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação

A tabela 43 mostra que a economia do consumo de energia elétrica com as ações propostas (troca de lâmpadas fluorescente para lâmpadas de Led) no sistema de iluminação da edificação é de quase 32% (28,60% e 40% para a utilização da lâmpada Led de 20W e 10W respectivamente), como mostra a Tabela 43. Essa porcentagem corresponde uma redução de 138.000kwh de energia elétrica gastos anualmente com o funcionamento da edificação, simulando 14hs de usos diários (três turnos de aulas na universidade).

Parâmetros de análise

Para cada caso simulado foi solicitado ao programa um relatório com o consumo total anual de eletricidade (kwh/m^2), englobando o consumo dos equipamentos do sistema de iluminação artificial. Com base nesses resultados, foram feitas comparações de consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o caso proposto. Essa comparação foi feita para determinar o potencial de economia de energia elétrica. Contudo, para melhor compreensão do cálculo implícito no relatório gerado é apresentada a equação (23), a fim de fazer uma alusão ao cálculo do programa, pois não foi possível acessar todas as suas bases técnicas. A equação foi desenvolvida por Rupp (2011) para mensurar a porcentagem de redução no consumo de eletricidade.

(23)

$$R_c = \left(1 - \left(\frac{CP}{CR}\right)\right) \times 100$$

Onde:

R_c é a redução no consumo de energia entre os estudos de caso (%);

CR é o consumo de eletricidade no Caso de Referência (kwh/m²); e

CP é o consumo de eletricidade para o Caso Proposto (kwh/m²).

Tabela 43. Análise de Eficiência Energética - RetScreen.

Análise do Consumo de Energia Elétrica Predial	Eletricidade MWh	
	LFT x Led	LFC x Led
Consumo de eletricidade - caso de referência	400	60
Consumo de eletricidade - caso proposto	286	36
Economia de eletricidade	114	24
Economia de eletricidade - %	28,6%	40,0%
Economia Total de eletricidade - %	68,6%	

Fonte: RETScreen

5.3.2 Análise de Viabilidade Financeira do Sistema de Iluminação

Para a substituição de todas as 1274 lâmpadas fluorescentes e reatores dos 5 pavimentos da edificação por *Led's*, o custo inicial de investimento foi estimado. O valor de R\$87.040,00 foi cotado para a substituição das 1088 lâmpadas fluorescentes tubulares, e o custo para a substituição das 186 lâmpadas fluorescentes compactas em aproximadamente R\$11.500,00. Esses valores foram levantados com base nos preços comerciais atuais para a compra das lâmpadas *Led's* sugeridas, desconsiderando custos das instalações.

Tabela 44. Viabilidade Financeira.

Tipo	Eletricidade	Tarifa Atual (Celpa)	R\$ 464,35
Lâmpada Fluorescente Tubular x Led		Lâmpada Fluorescente Compacta x Led	
Análise	Custo da Eletricidade	Análise	Custo da Eletricidade
Caso de referência (LFT)	R\$185.878,00	Caso de referência (LFC)	R\$28.067,00
Caso proposto (LED)	R\$132.770,00	Caso proposto (LED)	R\$16.840,00
Economia - custo da eletricidade	R\$53.108,00	Economia - custo da eletricidade	R\$11.227,00

Fonte: RETScreen 4.0.

A Tabela 44, com valores de consumo energético extraídos do *RETScreen* mostra o custo do uso das lâmpadas fluorescentes em comparação com a utilização das lâmpadas de *Led*. A simulação mostra que as vantagens obtidas pelo *retrofit* geram uma economia financeira total anual de R\$64.335,00 para os cofres públicos, com retorno financeiro a partir de 1 ano e quatro meses de operação da proposta 01, com retorno financeiro (*payback*) de 7 meses para a proposta 02, compensando os custos iniciais para a realização do *retrofit*. A partir do momento do *payback*, o projeto passa a ser vantajoso do ponto de vista financeiro.

5.3.3 Análise Ambiental do Sistema de Iluminação

No contexto das discussões sobre os impactos das emissões de gases do efeito estufa (GEE) nas mudanças climáticas, evidenciados em importantes encontros mundiais como a Conferência do Clima (realizada em dezembro do ano passado em Paris), e importantes documentos como o Protocolo de Quioto (que criou o crédito de carbono em 1997), a análise das reduções das emissões de GEE em ações de eficiência energética é de relevante importância, contribuindo para a formação de um maior entendimento das vantagens de se pensar e aplicar medidas de eficiência energética.

A visualização de resultados acarreta uma melhor conscientização e mensuração da mitigação dos impactos ambientais, que podem ser obtidos com projetos rentáveis para a economia e de real aplicabilidade prática. Portanto, constatou-se nesse trabalho que, com as economias de consumo de energia elétrica, o projeto também agregou vantagens ambientais na redução das emissões de CO₂, contabilizadas em 22,5 tCO₂ que deixam de ir para atmosfera anualmente. Esse valor equivale a 2,1 hectares de florestas absorvendo carbono, podendo ser convertido em 22,5 créditos de carbono pela convenção do Protocolo de Quioto.

6 CONCLUSÕES

Torna-se cada dia mais evidente a influência dos novos enfoques da atualidade, tais como: as mudanças climáticas; o uso racional energético; a busca por energias alternativas e a sustentabilidade mudando os paradigmas globais. Vinculados a esses enfoques, o aumento do consumo energético dos edifícios fez crescer a busca pela adaptação das construções às mudanças climáticas, através do resgate e disseminação de uma arquitetura mais “ambientalmente responsável”.

Conforme se constatou, os edifícios representam uma das principais fontes de consumo de energia internacionalmente e no Brasil. Como a maioria das emissões de GEE mundiais são provenientes da geração de energia, é possível correlacionar que as edificações também são responsáveis pelo alto crescimento das emissões de CO₂. Consequente a isso, o desempenho energético das edificações tem seu peso no cenário ambiental pela alta relevância de suas contribuições.

Nesse contexto, a eficiência energética passa a fazer parte da arquitetura como uma necessidade a ser alcançada. De uma forma abrangente, a ela estão relacionados os aspectos econômicos, além das questões ambientais. Assim sendo, estratégias para concretizar a redução do uso de energia nas edificações foram traçadas nos últimos anos, gerando normas e métodos de avaliação/classificação do consumo de energia elétrica, como é o caso das certificações energéticas e ambientais.

Nelas, a interação entre tecnologia, conforto e meio ambiente se conjugam de forma eficaz, acarretando na obtenção de uma edificação energeticamente eficiente através da concepção de um conjunto de ações – sobretudo ainda na fase de projeto. Esta se apresentou como a fase que possui melhor possibilidade de interferência direta no custo de uma edificação e na obtenção de benefícios energéticos. O que ressalta a sua importância e a necessidade de que os profissionais que atuam nela tenham segurança na tomada de decisões que impactarão no ciclo de vida útil da construção (fase onde se dá 80% dos gastos totais).

Outro ponto demonstrado no estudo é a importância da incorporação direta da estimativa dos investimentos econômicos iniciais, assim como a determinação do retorno (*payback*) do investimento financeiro, necessários para se executar as medidas propostas em projeto novo ou de *retrofit*; e o dimensionamento da mitigação do consumo de energia elétrica e emissões

de CO₂, consequentemente, na metodologia contida nos regulamentos das certificações de desempenho energético de construções brasileiras.

Essa incorporação traz como benefícios o aprimoramento das técnicas que já estão sendo aplicadas no projeto, a fim de que seja realmente comprovada a eficácia delas antes da etapa de execução. Evitando que em uma etapa avançada de projeto, ou na etapa posterior ao projeto (construção) venham a ser constatados erros ou lacunas da fase projetual. Portanto, ajuda na segurança da tomada de decisão dos projetistas e investidores que pretendem implantar ações de efficientização.

Para colocar em prática o que foi abordado, escolheu-se o *software RETScreen*, que detém as características técnicas para cumprir essa função de complementação das análises de *performance* energética. Com o propósito de validar a nova metodologia proposta para incrementar as diretrizes regulamentadas pelas normas de certificações, a prática profissional e a utilização do programa *RETScreen* como instrumento de simulação, foi efetuado um estudo de caso no Espaço de Ensino Mirante do Rio, da Universidade Federal do Pará.

A partir do 4º capítulo o estudo de caso colocou em prática a metodologia proposta na dissertação, sendo primeiramente aplicado o método prescritivo do RTQ-C no Espaço de Ensino Mirante do Rio. Com os resultados obtidos, foi possível constatar na primeira fase que tanto a envoltória quanto o sistema de iluminação obtiveram como classificação final individual o nível de desempenho mais alto – nível “A”. Como o objetivo da metodologia elaborada não se atém somente ao desempenho alcançado na aplicação do regulamento técnico foi possível realizar a segunda etapa com caráter analítico.

A análise crítica encontrou possibilidades de melhorias nos dois casos avaliados, porém com destaque para o sistema de iluminação, que tem real potencial de melhorias. Já para a envoltória, não foi viável a continuação da aplicação da outra etapa subsequente (simulação das ações de melhoria), ficando a cargo de trabalhos futuros.

Contudo, somente o sistema de iluminação passou pela 3ª etapa e recebeu recomendações de ajustes para um futuro *retrofit* que a edificação possa passar. Essas recomendações foram simuladas na versão 4.0 do *RETScreen*, 4ª etapa da metodologia, resultando em um diagnóstico energético que contabilizou 32% de economia do consumo de energia elétrica seria gasta anualmente com o funcionamento da edificação. Essa porcentagem responde ao questionamento levantado no item 1.2 do Capítulo 1, mostrando o quão grande é o potencial

de economia de energia elétrica em edificações e comprovando que edificações existentes que passarem por processo de *retrofit* podem alcançar aproximadamente 30% de redução no consumo energético, segundo as afirmações feitas pela literatura da área.

O custo inicial de investimento foi estimado em R\$98.540,00 reais, levando em consideração os gastos tanto com a aquisição, quanto com a operação e manutenção dos novos equipamentos, além da mão de obra para execução das mudanças. O diagnóstico financeiro previu a geração de uma economia financeira anual total em R\$64.335,00 para os cofres públicos, com retorno financeiro (*payback*) com estimativa de menos de 2 (dois) anos da implantação das ações de melhoria. O que responde segundo questionamento que motivou a elaboração dos objetivos desse trabalho.

O último questionamento levantado foi em relação ao impacto ambiental que o movimento das certificações de eficiência energética é capaz de prover. Em resposta a isso, constatou-se que o projeto de *retrofit* também agregou vantagens ambientais na redução das emissões de CO₂, contabilizadas em 22,5 tCO₂ que deixam de ir para atmosfera anualmente em decorrência da diminuição do consumo de energia da edificação, o que influencia diretamente na diminuição do aquecimento global do planeta.

6.1 Considerações Finais

A dissertação cumpriu o que propôs quando elaborou e aplicou a metodologia proposta no capítulo 3. Dessa forma alcançou o objetivo geral, ao analisar a eficiência energética de uma edificação não residencial, aplicando as diretrizes estipuladas no método prescritivo do RTQ-C no prédio do Espaço de Ensino Mirante do Rio, da Universidade Federal do Pará. O estudo descobriu o nível de classificação energética dos sistemas a que se propôs analisar (envoltória e sistema de iluminação), faltando somente o sistema de condicionamento de ar que apresentou muitas barreiras para a obtenção de dados técnicos que possibilitassem sua análise.

Foi averiguado o nível de classificação energética “A” para envoltória e sistema de iluminação; feita a identificação e sugestão de ações de efficientização dos sistemas independente do desempenho alcançado na certificação energética; e mensurados os ganhos energético-financeiros, além da contribuição para a mitigação das emissões dos gases do efeito estufa do *retrofit*, com o uso do software *RETScreen*.

Com isso, concluiu-se que o processo de certificação de desempenho energético de edificações atesta a qualidade da *performance* energética dos prédios mesmo que elas não

tenham aproveitado todo o seu potencial energético e ambiental ao máximo. Conclui-se também que, além de agregar valor mercadológico ao empreendimento, com as questões de sustentabilidade e eficiência energética, uma metodologia mais abrangente de análise de eficiência energética, sugerida nessa dissertação, pode ser aplicado com o propósito de dar mais segurança na tomada de decisão aos profissionais envolvidos e também gerar diagnósticos importantes para justificar investimentos nos empreendimentos, ou na busca por recursos em Fundos de Eficiência Energética.

Por fim, é importante destacar também que com a realização da etapa de análise crítica conclui-se que para que a metodologia apresentada nesse trabalho, assim como outras, seja efetiva, é preciso qualificar mais profissionais capazes de aplicar e desenvolver métodos eficazes na conservação de energia com senso crítico. Além de levar em consideração as particularidades regionais como a vegetação, materiais, tradições, as técnicas construtivas, projetuais e principalmente o clima específico, como por exemplo, o da região amazônica.

Somente um estudo mais direcionado e focado nas especificidades locais poderá maximizar a eficiência energética das edificações inseridas em cada região, contribuindo com um melhor entendimento das intempéries climáticas que interferem significativamente no desempenho dos prédios. O diagnóstico do desempenho energético das edificações ainda precisa percorrer um longo caminho pela frente a fim de abranger de forma contundente todas as regiões do país.

6.2 Limitações do trabalho

As principais limitações observadas neste trabalho foram:

A dificuldade da obtenção de dados técnicos sobre todos os principais aspectos da edificação em análise, que são indispensáveis para a avaliação do seu desempenho. Isso inviabilizou a aplicação completa da metodologia em todos os sistemas analisados pelo RTQ-C, deixando de fora do estudo o sistema de condicionamento de ar;

O *software* utilizado não abrange os pré-requisitos da envoltória em sua totalidade, não levando em consideração a simulação da absorção térmica dos componentes do invólucro do prédio, o que impossibilita a análise comparativa do caso de referência com o caso proposto para esse item obrigatório na metodologia do regulamento técnico de qualidade.

6.3 Recomendações para Pesquisas Futuras

Considerando os resultados deste trabalho, as limitações observadas e visando expandir e aprofundar as análises realizadas são apresentadas as seguintes sugestões de estudos:

Aplicar as recomendações feitas na envoltória, a fim de propor dispositivos de sombreamentos ainda mais adequados à região, além de reavaliar o impacto deles na classificação energética da etapa de análise do RTQ-C e simulando sua viabilidade na etapa computacional;

Dar continuidade da aplicação da metodologia no sistema de condicionamento de ar, por se tratar de um sistema de grande peso no consumo energético de edificações;

Complementar a análise do *software RETScreen* com o uso de outro programa ou outra técnica que avalie o impacto gerado pelo pré-requisito que não foi contemplado, absorvância térmica das paredes e cobertura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho.** Rio de Janeiro, 2013a. 46 p.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2003b. 21p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2003c. 23p.;

AQUINO, Suzane Cruz de. **Ações de eficiência energética em navios: estudo de caso em um navio patrulha da marinha do Brasil.** (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará. Belém, 2016;

BRASIL. **Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015: Resultados Preliminares.** Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2016;

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 1: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações.** Brasil, 2009;

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 2: RTQ-C.** Brasil, 2013;

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Manual para Etiquetagem de Edificações Públicas: Gestor Público.** 2014a;

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 4: Manual para aplicação dos regulamentos RTQ-C e RAC.** Brasil, 2016;

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME (Coord.). **Guia para Eficientização Energética nas Edificações Públicas.** 1ª Ed. Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL. Rio de Janeiro. 2014b;

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LTD (BRE), 2015. Disponível em: <
<http://www.breeam.com>>. Acesso em: 15/06/2015;

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável**. Brasília: 2014a. CBCS/MMA/PNUMA;

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Boletim Informativo nº 11 - Reportagem Especial: **Etiquetagem para a eficiência energética em edificações públicas federais já é obrigatória no Brasil**. Brasil: Editorial CBCS Notícias, 2014b;

CEOTTO, Luiz Henrique. **Gestão Sustentável da Construção Civil – Uma visão pragmática do tema**. Encontro Internacional de Sustentabilidade na Construção. São Paulo, 2008. Disponível em: http://ethos.org.br/Ci2008Dinamico/site/PPT/painel4_Luiz.pdf. Acessado em: 15/04/2017;

CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro, RJ. Ed. Revan. 2009;

CORBELLA, O; CORNER, V. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para a redução de consumo energético**. Rio de Janeiro, RJ. Revan. 2011;

CURSINO, Arthur Henrique Santos. **Eficiência Energética e a Contribuição dos Gases Combustíveis: Análise de Caso das Políticas de Avaliação de Edificações**. 2011. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011;

COSTA, Gilberto José Correa da. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**, 4ª Ed. PUCRS, Porto Alegre - RS, 2006;

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 8ª Ed. São Paulo, SP. S. Nobel, Ed. 2007;

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2015. Disponível em:
<<https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>>. Acesso em: 03/07/2015;

GOMES, Anderson Ferreira; AMORIM, Cláudia Neves David. **Panorama Nacional das Edificações Públicas Federais com Foco em Etiquetagem de Eficiência Energética:**

Oportunidades e Desafios. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2016;

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras.** Florianópolis, SC. Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC. 1998;

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC-BR), 2014. Disponível em: <<http://gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acessado em: 03/07/2015;

GURGEL, Miriam. **Design Passivo – baixo consumo energético: guia para conhecer, entender e aplicar os princípios do design passivo em residências.** Editora Senac. São Paulo, 2012;

IEA. **Capturing the multiple benefits of energy efficiency.** IEA/OECD: Paris, 2014.

KATS, Greg. **Tornando nosso ambiente construído mais sustentável: Custos, benefícios e estratégias.** 1ª Ed. Secovi-SP. São Paulo, 2014;

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2014;

MASCARÓ, Lúcia R. **Energia na Edificação: Estratégia para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto, Editores Associados, 1985;

MASCARÓ, Juan Luis; Mascaró, Lucia Elvira Raffo; Storchi, Ceres. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** 2. ed. - Porto Alegre; Sagra: DC Luzzatto, 1992;

MIRANDA, Mariana Maia de. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012;

OLIVEIRA, Bruno Gabriel Freitas. **Análise do Desempenho Energético de Edificações: Aplicação Analítica do RTQ-C no Edifício do CEAMAZON.** 2013. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará. Belém - PA, 2013;

PESSOA, J. L. N.; GHISI, E. **Estado da arte em eficiência energética: iluminação e envoltória.** In: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), Florianópolis, 2013;

ROAF, Sue; CRICHTON, David; NICOL, Fergus. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: Um guia de sobrevivência para o século XXI.** Porto Alegre: Bookman, 2009;

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; REIS, Lineu Belico dos. **Eficiência Energética em Edifícios.** (Série Sustentabilidade/coordenador Arlindo Philippi Jr.). Barueri, SP: Manole, 2012;

RUPP, Ricardo Forgiarini. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização da ventilação híbrida.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011;

SHELLER, Camila et al. **Análise de Arquivos Climáticos para a Simulação do Desempenho Energético de Edificações.** Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações CB3E – UFSC. Florianópolis, 2015;

SIGNOR, R. **Análise de Regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999;

TAMIETTI, Ricardo Prado. **Análise de viabilidade financeira em projetos de eficiência energética.** R1.0.1. Editora Engeweb. Belo Horizonte, 2011;

VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro de; LIMBERGER, Marcos Alexandre Couto. (Org.) Livro: **Iluminação Eficiente:** Iniciativas da Eletrobrás Procel e Parceiros. Rio de Janeiro - RJ: Eletrobrás/ Procel. 2013;

ZEMERO, Bruno. **Análise da aplicabilidade da tecnologia BIM em projetos sustentáveis e etiquetagem de edificações no Brasil.** (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Pará. Belém, 2016.

Sites

Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios>. Acesso em: 06/04/2015;

Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/etiquetagem>>. Acesso em: 23/06/2015;

Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/>>. Acesso em: 05/07/2015;

Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em: 05/07/2015;

Disponível em: <<http://laboratoriodeconfortocau.blogspot.com.br/2015/12/ventilacao-natural-shaiane-menezes.html>>. Acesso em: 13/07/2017;

Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 13/07/2017;

Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. 16/07/2017>. Acesso em: 15/09/2016;

Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/contente/view/321144.htm>>. Acesso em: 15/09/2016;

Disponível em: <http://projeteefm.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=PA+-+Bel%C3%A9m&id_cidade=bra_pa_belem-ribeiro.intl.ap.821930_try.1964>. Acesso em: 13/06/2017;

APÊNDICES**Sumário**

Apêndice A.....	138
Edificação Etiquetada pelo RTQ-C	138
Apêndice B	155
Memorial de Cálculo Luminotécnico	155

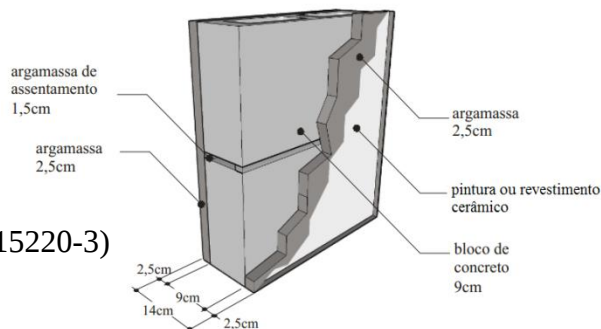
Apêndice A

Edificação Etiquetada pelo RTQ-C

Figura 66. Desenho de componentes de uma

Descrição do Edifício

- Espaço de Ensino Mirante do Rio
- Localizado em Belém – PA
- Zona Bioclimática (ZB): 8 (NBR 15220-3)



Especificação da envoltória

Os valores referentes à densidade de massa aparente (ρ), em kg/m^3 ; condutividade térmica (λ), em W/(m.K) ; e calor específico em KJ/(kg.K) ; absorvância (α); emissividade (ϵ); e o método utilizado a seguir foram retirados da norma brasileira NBR 15220-2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

- Paredes:

Tijolo em bloco de concreto celular autoclavado de dois furos (500kg/m^3)

Rebocado em ambas as faces (200 kg/m^3)

Dimensões do tijolo $90 \times 190 \times 390\text{ mm}$

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA

Para a determinação da classificação da envoltória do edifício, primeiramente serão calculados os pré-requisitos específicos e então será descrito o procedimento de cálculo para a determinação da classificação da envoltória.

Verificação dos pré-requisitos específicos

Cálculo da Transmitância Térmica (U):

O cálculo da transmitância térmica deve ser realizado com base no item 4.2 da NBR 15220-2, sendo a mesma definida pelo inverso da resistência térmica, conforme a equação (24):

(24)

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Por se tratar de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas (Figura 66), e perpendiculares ao fluxo de calor, devem ainda ser determinados os valores de resistência térmica de superfície a superfície em cada seção:

- Seção “a” constituída de reboco externo e interno, argamassa de assentamento e revestimento em pastilha cerâmica;
- Seção “b” constituída de reboco interno, tijolo, reboco externo e pastilha;
- Seção “c” constituída de reboco interno, tijolo, câmara de ar, tijolo, reboco externo e pastilha;
- Seção “d” constituída de reboco externo e interno, concreto e revestimento em pastilha cerâmica (para superfícies com característica estrutural).

Com isso aplica-se a equação (25) para o cálculo da resistência térmica das camadas da envoltória.

(25)

$$R_t = \frac{Aa + Ab + Ac \dots + An}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{Ab}{Rb} + \frac{Ac}{Rc} \dots + \frac{An}{Rn}}$$

Sendo A_n e R_n , a área e a resistência térmica de cada seção subsequente, caso existam. Assim, a resistência térmica deve ser definida pela equação (26):

(26)

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Sendo, a espessura do componente, e a condutividade térmica do mesmo.

Transmitância térmica da parede (U_{par})

Os componentes das paredes já foram especificados no capítulo de descrição do edifício deste trabalho. Para o cálculo da transmitância térmica da parede, deve-se determinar as resistências de todos os componentes da parede R_T , equação 4. Nesse caso, têm-se a resistência superficial externa R_{se} , a resistência térmica total R_t (seções A, B, C e D) e, por fim, a resistência da superfície interna R_{si} .

(27)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Primeiramente serão determinadas as resistências superficiais. Para isso, devem ser adotados os valores recomendados na tabela A.1 da norma NBR 15220-2, que foram adaptados na Tabela 45.

Tabela 45. Resistência térmica superficial interna e externa.

R _{si} [m²K/W]			R _{se} [m²K/W]		
Direção do Fluxo de Calor			Direção do Fluxo de Calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: Adaptado da tabela A.1 da NBR 15220-2.

Segundo o regulamento do RTQ-C, para os componentes da parede da envoltória (nas zonas bioclimáticas 7 e 8), o cumprimento do pré-requisito de transmitância térmica está condicionado ao valor da capacidade térmica, que é a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema”. (RTQ-C, 2013). Portanto, é necessário fazer o cálculo com a equação 5.

Capacidade Térmica (C_T)

A capacidade térmica de superfícies constituídas de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor pode ser determinada pela equação (28):

(28)

$$C_T = \sum e_i \cdot C_i \cdot \rho_i$$

Onde:

e_i = espessura da camada i ;

C_i = calor específico do material da camada i ;

ρ_i = densidade de massa aparente do material da camada i ;

A capacidade térmica de superfícies constituídas de camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela equação (29).

(29)

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}}$$

Para caracterizar termicamente os componentes construtivos (paredes e lajes), podem ser adotadas as propriedades termofísicas apresentadas na norma brasileira NBR 15220-2, adaptados na Tabela 46 onde estão destacados os componentes utilizados.

Tabela 46. Propriedades termofísicas dos materiais usados na envoltória.

Dados da Envoltória	e (m)	P (kg/m³)	λ (w/(m.k))	C (kj/(kg.K))
Reboco Externo e Interno	0,020-0,005	2000	1,15	1
Emboço	0,020-0,015	2000	1,15	1
Chapisco	0,005	2000	1,15	1
Arg. de Assentamento	0,015	2000	1,15	1
Tijolo de barro	0,19	1000-1300	0,7	0,92
Bloco de concreto celular autoclavado	0,19	500	0,17	1
Concreto	0,09	2300	1,75	1
Pastilha Branca	0,0055	1925	1,15	0,763
Pastilha Amarela	0,0055	1925	1,15	0,763
Telha Termo acústica (Aço Galvalume + lã de Rocha)	0,00065	7800	55	0,46
Laje	0,1	2400	1,75	0,1

Espessura do acabamento da parede = 2,5cm (sem pastilha) - Chapisco (5mm) + Emboço (15mm) + Reboco (5mm)

Espessura do acabamento da parede = 3,5cm (com pastilha) - Chapisco (5mm) + Emboço (20mm) + Pastilha (5,5mm)

Fonte: Adaptado da NBR 15220-2 e de catálogo de fabricantes.

Para o cálculo da resistência térmica total da parede, tem-se:

- Seção “A” – Reboco interno + Argamassa + Reboco externo + Pastilha

$$Aa = (0,015 \times 0,39) + (0,015 \times 0,205) = 0,008925\text{m}^2$$

Resistência Térmica da seção “a” (Ra):

$$Ra = \frac{e_{\text{reboco int.}}}{\lambda_{\text{reboco int.}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco ext.}}}{\lambda_{\text{reboco ext.}}} + \frac{e_{\text{pastilha}}}{\lambda_{\text{pastilha}}}$$

$$Ra = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,0255}{1,15} + \frac{0,0055}{1,15}$$

$$Ra = 0,127(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$$

Capacidade Térmica (C_{Ta}) da seção “a”:

$$C_{\text{Treboco int.}} = e_{\text{reboco}} \cdot C_{\text{reboco}} \cdot \rho_{\text{reboco}} = 0,025 \times 1 \times 2000$$

$$C_{\text{Treboco int.}} = 50\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Targamassa}} = e_{\text{argamassa}} \cdot C_{\text{argamassa}} \cdot \rho_{\text{argamassa}} = 0,09 \times 1 \times 2000$$

$$C_{\text{Targamassa}} = 180 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Treboco ext.}} = e_{\text{reboco}} \cdot C_{\text{reboco}} \cdot \rho_{\text{reboco}} = 0,0255 \times 1 \times 2000$$

$$C_{\text{Treboco ext.}} = 51 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Tpastilha}} = e_{\text{pastilha}} \cdot C_{\text{pastilha}} \cdot \rho_{\text{pastilha}} = 0,0055 \times 0,76 \times 1925$$

$$C_{\text{Tpastilha}} = 8,08 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Ta}} = 50 + 180 + 51 + 8,08 = 289,08 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

- Seção “B” – Reboco interno + Tijolo + Reboco externo + Pastilha

$$A_b = (0,02 \times 0,19) = 0,0038 \text{ m}^2$$

Resistência Térmica (R_b) da seção “b”:

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco int.}}}{\lambda_{\text{reboco int.}}} + \frac{e_{\text{tijolo}}}{\lambda_{\text{tijolo}}} + \frac{e_{\text{reboco ext.}}}{\lambda_{\text{reboco ext.}}} + \frac{e_{\text{pastilha}}}{\lambda_{\text{pastilha}}}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,17} + \frac{0,0255}{1,15} + \frac{0,0055}{1,15}$$

$$R_b = 0,578 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$$

Capacidade Térmica (C_{Tb}) da seção “b”:

$$C_{\text{Treboco int.}} = e_{\text{reboco}} \cdot C_{\text{reboco}} \cdot \rho_{\text{reboco}} = 0,025 \times 1 \times 2000$$

$$C_{\text{Treboco int.}} = 50 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Ttijolo}} = e_{\text{tijolo}} \cdot C_{\text{tijolo}} \cdot \rho_{\text{tijolo}} = 0,09 \times 1 \times 500$$

$$C_{\text{Targamassa}} = 45 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Treboco ext.}} = e_{\text{reboco}} \cdot C_{\text{reboco}} \cdot \rho_{\text{reboco}} = 0,0255 \times 1 \times 2000$$

$$C_{\text{Treboco ext.}} = 51 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Tpastilha}} = e_{\text{pastilha}} \cdot C_{\text{pastilha}} \cdot \rho_{\text{pastilha}} = 0,0055 \times 0,76 \times 1925$$

$$C_{\text{Tpastilha}} = 8,08 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{\text{Tb}} = 50 + 45 + 51 + 8,08 = 154,08 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

- Seção “C” – Reboco interno + Tijolo + Câmara de Ar + Reboco externo + Pastilha

$$A_c = (0,115 + 0,19) = 0,0219 \text{ m}^2$$

Resistência Térmica (R_c):

$$R_c = \frac{e_{\text{reboco int.}}}{\lambda_{\text{reboco int.}}} + \frac{e_{\text{tijolo}}}{\lambda_{\text{tijolo}}} + R_{\text{câmara de ar}} + \frac{e_{\text{tijolo}}}{\lambda_{\text{tijolo}}} + \frac{e_{\text{reboco ext.}}}{\lambda_{\text{reboco ext.}}} + \frac{e_{\text{pastilha}}}{\lambda_{\text{pastilha}}}$$

$$R_c = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,02}{1,17} + 0,16 + \frac{0,02}{1,17} + \frac{0,0255}{1,15} + \frac{0,0055}{1,15}$$

$$R_c = 0,444(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$$

Obs.: Para a câmara de ar $R_{\text{câm.ar}} = 0,16 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (Ver tabela B.1 da NBR 15220-2, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar 5cm, com fluxo horizontal).

Capacidade Térmica (C_{Tc}) da seção “c”:

$$C_{T\text{reboco int.}} = e_{\text{reboco}} \cdot C_{\text{reboco}} \cdot \rho_{\text{reboco}} = 0,025 \times 1 \times 2000$$

$$C_{T\text{reboco int.}} = 50\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

$$C_{T\text{tijolo}} = e_{\text{tijolo}} \cdot C_{\text{tijolo}} \cdot \rho_{\text{tijolo}} = 0,02 \times 1 \times 500$$

$$C_{T\text{argamassa}} = 10\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

$$C_{T\text{câmara de ar}} = 0\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

$$C_{T\text{tijolo}} = e_{\text{tijolo}} \cdot C_{\text{tijolo}} \cdot \rho_{\text{tijolo}} = 0,02 \times 1 \times 500$$

$$C_{T\text{argamassa}} = 10\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

$$C_{T\text{reboco ext.}} = e_{\text{reboco}} \cdot C_{\text{reboco}} \cdot \rho_{\text{reboco}} = 0,0255 \times 1 \times 2000$$

$$C_{T\text{reboco ext.}} = 51\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

$$C_{T\text{pastilha}} = e_{\text{pastilha}} \cdot C_{\text{pastilha}} \cdot \rho_{\text{pastilha}} = 0,0055 \times 0,76 \times 1925$$

$$C_{T\text{pastilha}} = 8,08\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

$$C_{Tc} = 50 + 10 + 0 + 10 + 51 + 8,08 = 129,08\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$$

Com esses dados da equação (25), tem-se:

$$R_t = \frac{0,008925 + 0,0038 + 0,0219}{\frac{0,008925}{0,127} + \frac{0,0038}{0,578} + \frac{0,0219}{0,444}}$$

$$R_t = 0,394(\text{m}^2\text{k})/\text{W}$$

E a partir da equação (27), tem-se:

$$R_{par_T} = 0,04 + 0,394 + 0,13$$

$$R_{par_T} = 0,564(m^2k)/W$$

Por fim, para o cálculo de $U_{par.alvenaria}$, obtêm-se da equação (24):

$$U_{par} = \frac{1}{0,564}$$

$$U_{par.alvenaria} = 1,72(W/m^2.k)$$

Após calcular a capacidade e a transmitância térmica das seções referentes a alvenaria, faz-se necessário o cálculo para a seção referente a parte estrutural da envoltória, ou seja, vigas e pilares. Com isso calcula-se a seção “D” a seguir:

- Seção “D” – Reboco interno + Concreto + Reboco externo + Pastilha

Resistência Térmica (R_d):

$$R_d = \frac{e_{reboco\ int.}}{\lambda_{reboco\ int.}} + \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} + \frac{e_{reboco\ ext.}}{\lambda_{reboco\ ext.}} + \frac{e_{pastilha}}{\lambda_{pastilha}}$$

$$R_d = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,01495}{1,75} + \frac{0,0255}{1,15} + \frac{0,0055}{1,15}$$

$$R_d = 0,0477(m^2K)/W$$

E a partir da equação (27), tem-se:

$$R_{par_T} = 0,04 + 0,0477 + 0,13$$

$$R_{par_T} = 0,218(m^2k)/W$$

Por fim, para o cálculo de $U_{par.estrutural}$, obtêm-se da equação (24):

$$U_{par} = \frac{1}{0,218}$$

$$U_{par.estrutural} = 4,59(W/m^2.k)$$

Capacidade Térmica (C_{Td}) da seção “d”:

$$C_{T.reboco\ int.} = e_{reboco} \cdot C_{reboco} \cdot \rho_{reboco} = 0,025 \times 1 \times 2000$$

$$C_{T.reboco\ int.} = 50kj/m^2K$$

$$C_{T.tijolo} = e_{concreto} \cdot C_{concreto} \cdot \rho_{concreto} = 0,01495 \times 1 \times 500$$

$$C_{Tconcreto} = 7,48 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{T.reboco \text{ ext.}} = e_{reboco} \cdot C_{reboco} \cdot \rho_{reboco} = 0,0255 \times 1 \times 2000$$

$$C_{Treboco \text{ ext.}} = 51 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{T.pastilha} = e_{pastilha} \cdot C_{pastilha} \cdot \rho_{pastilha} = 0,0055 \times 0,76 \times 1925$$

$$C_{Tpastilha} = 8,08 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$C_{T.d} = 50 + 7,48 + 51 + 8,08 = 116,55 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

Para encontrar a Transmitância Final da parede, faz-se ainda a ponderação das áreas dos materiais com os seus respectivos valores de transmitância, conforme a Tabela 47.

Tabela 47. Ponderação das áreas x transmitâncias das superfícies das paredes.

Material	Área (m²)	Transmitância U (W/m².K)	Ponderação das Áreas (%)	Transmitância Final Utotat (W/m².K)
Parede de Alvenaria	3772,99	1,77	0,9382	1,95
Estrutura de Concreto	248,35	4,59	0,0618	

Fonte: Autora.

Determinação da Capacidade Térmica (C_T) das seções “a”, “b” e “c” das paredes, para zona bioclimática 8:

$$C_T = \frac{Aa + (3xAb) + (2xAc)}{\frac{Aa}{C_{Ta}} + \frac{(3xAb)}{C_{Tb}} + \frac{(2xAc)}{C_{Tc}}}$$

$$C_T = \frac{0,008925 + (3x0,0038) + 2x0,0219}{\frac{0,008925}{2289,08} + \frac{(3x0,0038)}{154,08} + \frac{(2x0,0219)}{129,08}}$$

$$C_{Tabc} = 144,39 \text{ (kJ/m}^2 \cdot \text{k)}$$

Somando com a Capacidade Térmica da seção “d”, tem-se:

$$C_{TFinal} = C_{Tabc} + C_{Td}$$

$$C_{TFinal} = 144,39 + 116,553 = 260,943 \text{ (kJ/m}^2 \cdot \text{k)}$$

Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})

O mesmo procedimento se aplica aos componentes da cobertura para o cálculo das resistências, como a equação (30). Tais componentes são: laje em concreto (R_{laje}), telha termo acústica (R_{telha}) e a câmara de ar ($R_{\text{câm}}$).

(30)

$$R_{\text{cob}} = \sum R_{\text{SE}} + R_{\text{laje}} + R_{\text{câm}} + R_{\text{telha}} + R_{\text{SI}}$$

Para a laje em concreto e telha termo acústica:

$$R_{\text{laje}} = \frac{0,1}{1,75} (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad R_{\text{telha}} = \frac{0,0663}{0,045} (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{laje}} = 0,057 (\text{m}^2\text{K})/\text{W} \quad R_{\text{telha}} = 1,473333 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$$

Para a câmara de ar é preciso determinar a emissividade da superfície, a espessura e a direção do fluxo de ar de tal componente. Na edificação em questão, a superfície da câmara de ar possui alta emissividade igual a 0,25, segundo a tabela B.2 da NBR15220-2; com espessura variável; e o fluxo descendente (situação de verão). Portanto, o valor da resistência da câmara de ar pode ser encontrado na Tabela 48, adaptada da tabela B.1 da NRB 15.220-2.

Tabela 48. Resistência térmica da câmara de ar não ventilada.

$e_{\text{câmara de ar}} \text{ (mm)}$		Horizontal	$R_{\text{câmara de ar}}$ Ascendente	Descendente
Superfície de Alta Emissividade $\varepsilon > 0,8$	$10 \leq e \leq 20$	0,14	0,13	0,15
	$20 < e \leq 50$	0,16	0,14	0,18
	$e > 50$	0,17	0,14	0,21
Superfície de Baixa Emissividade $\varepsilon > 0,8$	$10 \leq e \leq 20$	0,29	0,23	0,29
	$20 < e \leq 50$	0,37	0,25	0,43
	$e > 50$	0,34	0,27	0,61

Fonte: Adaptada da tabela B.1 da NBR 15220-2.

Assim, a resistência e a transmitância térmica da cobertura podem ser calculadas como:

$$R_{\text{cob}_t} = 0,057 + 1,47333 + 0,21$$

$$R_{\text{cob}_t} = 1,74 (\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W})$$

E a partir da equação (27), tem-se:

$$R_{\text{cob}_T} = 0,04 + 1,74 + 0,17$$

$$R_{\text{cob}_T} = 1,95 (\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W})$$

Por fim, para o cálculo de U_{cob} , obtêm-se da equação (24):

$$U_{cob} = \frac{1}{1,95}$$

$$U_{par} = 0,51(W/m^2.k)$$

Absortância térmica (α)

Para o cálculo da absortância, deve-se calcular uma média das absortâncias das paredes e cobertura e ponderar pela área que ocupam.

Absortância térmica da parede (α_{par})

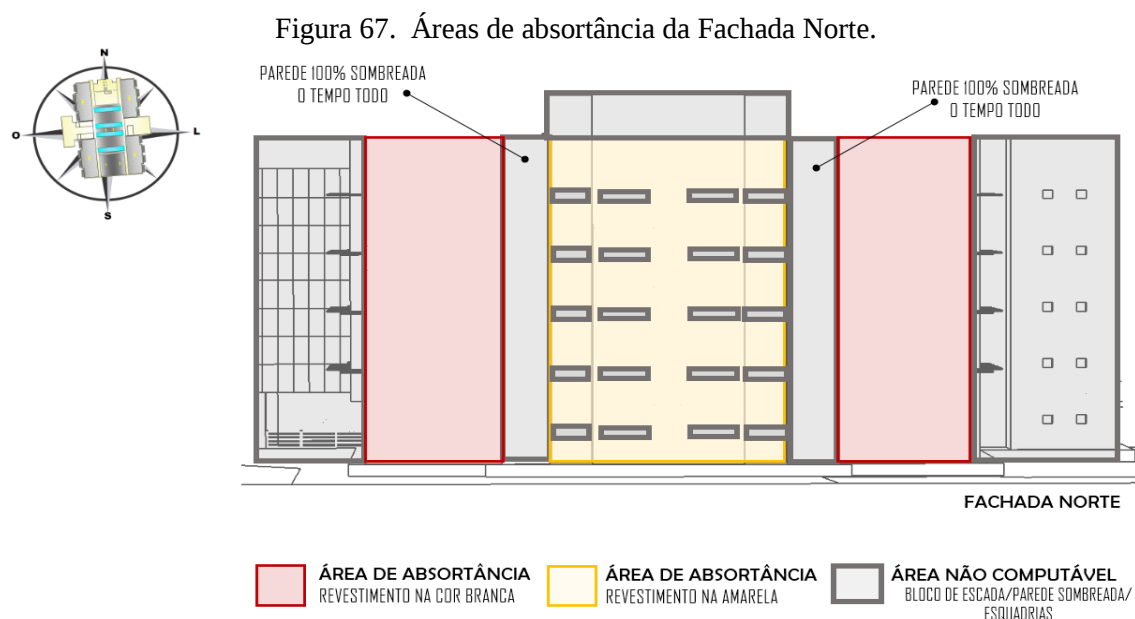
Para a absortância das paredes têm-se as cores branca com valor de absortância em 0,20 e amarela em 0,30 (valores extraídos da Tabela B.2 da NBR152220-2). Lembrando que, para o cálculo da absortância das paredes não devem ser considerados os brises e nem as aberturas. Portanto, deve-se ponderar os valores de absortância das fachadas pela área que ocupam.

A absortância da parede é dada por:

$$\alpha_{parede} = \frac{(A_{ParedeBranca} \times \alpha_{branco}) + (A_{ParedeAmarela} \times \alpha_{amarelo})}{A_{branca} + A_{amarela}}$$

Fachada Norte

Através da Figura 67, pode-se observar as cores e as suas respectivas áreas computadas.



Fonte: Autora.

Nesse caso específico, a fachada em questão apresenta duas paredes 100% sombreadas devido a uma projeção de parede na frente dela com as mesmas proporções, ver Figura 68. Para o regulamento (Tabela 3.5, pág.37), essas paredes são desconsideradas do cálculo.

$$A_{ParedeBrancaNorte} = 3.180m^2$$

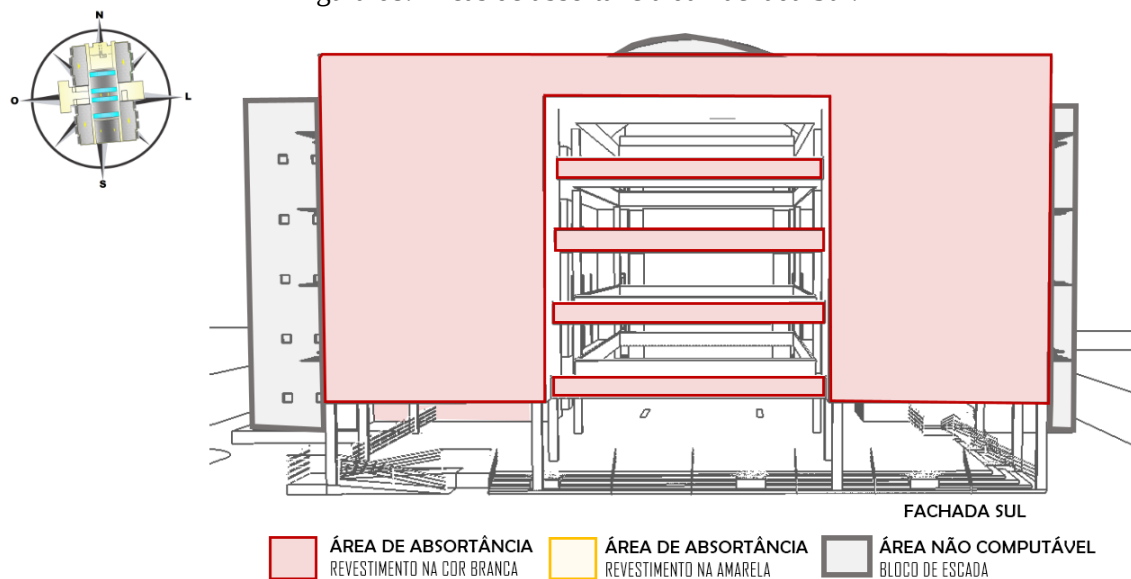
$$A_{ParedeAmarelaNorte} = 272,3m^2$$

Para as outras fachadas, devemos seguir o mesmo raciocínio:

- Fachada Sul

A fachada Sul só apresenta revestimento na cor branca nas suas faces externas. Como consta na Figura 68 abaixo:

Figura 68. Áreas de absorção da Fachada Sul.



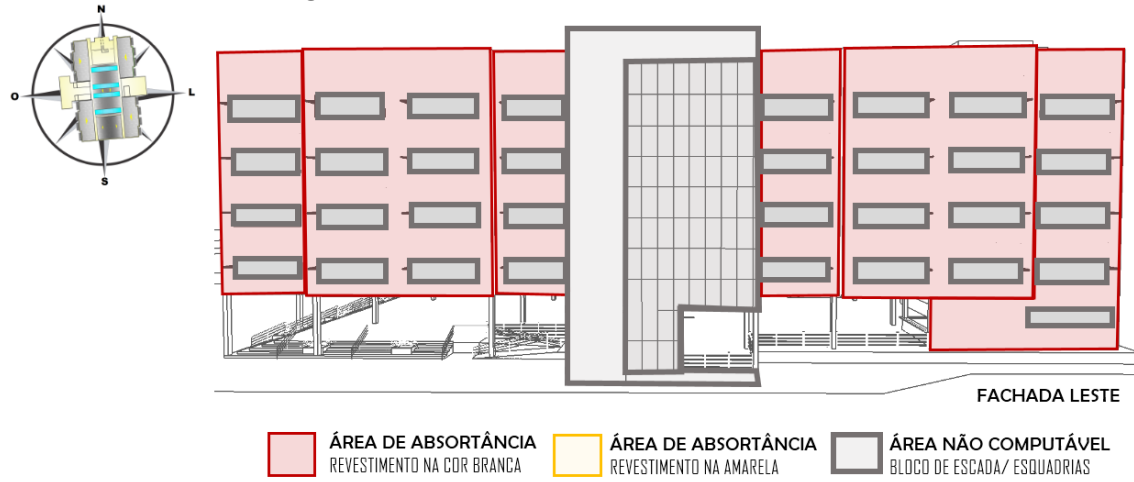
Fonte: Autora.

É importante mencionar que para ela foi computada também as paredes externas dos ambientes localizados no pavimento térreo (pilotis), por possuírem sua face em contato com o exterior, podendo acarretar ganhos térmicos internos. Com isso temos:

$$A_{ParedeBrancaSul} = 654,69m^2$$

- Fachada Leste

Figura 69. Áreas de absorção da Fachada Leste.

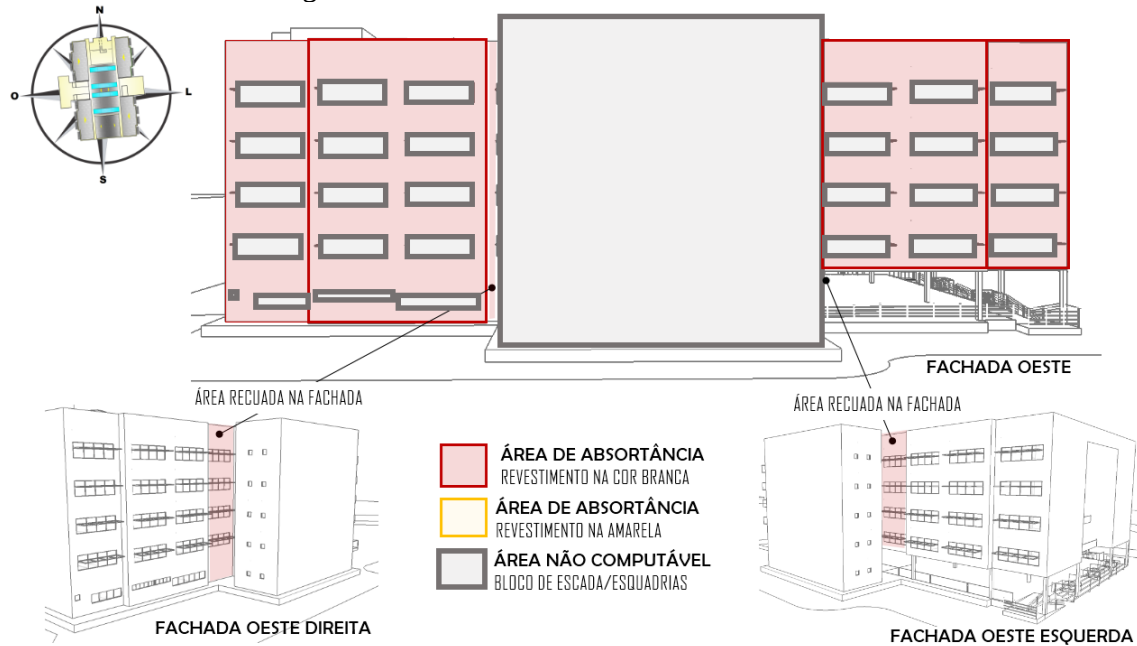


Fonte: Autora.

$$A_{\text{ParedeBrancaLeste}} = 1073,81\text{m}^2$$

- Fachada Oeste

Figura 70. Áreas de absorção da Fachada Oeste.



Fonte: Autora.

$$A_{\text{ParedeBrancaOeste}} = 1066,88\text{m}^2$$

Os valores de absorção dos revestimentos branco e amarelo são:

$$\alpha_{\text{branco}} = 0,20 \text{ e } \alpha_{\text{amarelo}} = 0,30$$

Somando-se as áreas das paredes, têm-se:

$$A_{\text{ParedeBranca}} = 384,72 + 654,69 + 1073,81 + 1066,88$$

$$A_{\text{ParedeBranca}} = 3180,10\text{m}^2 \text{ e } A_{\text{ParedeAmarela}} = 272,00\text{m}^2$$

Da equação 8, têm-se:

$$\alpha_{\text{parede}} = \frac{(3180,10 \times 0,20) + (272,00 \times 0,30)}{3180,10 + 272,00}$$

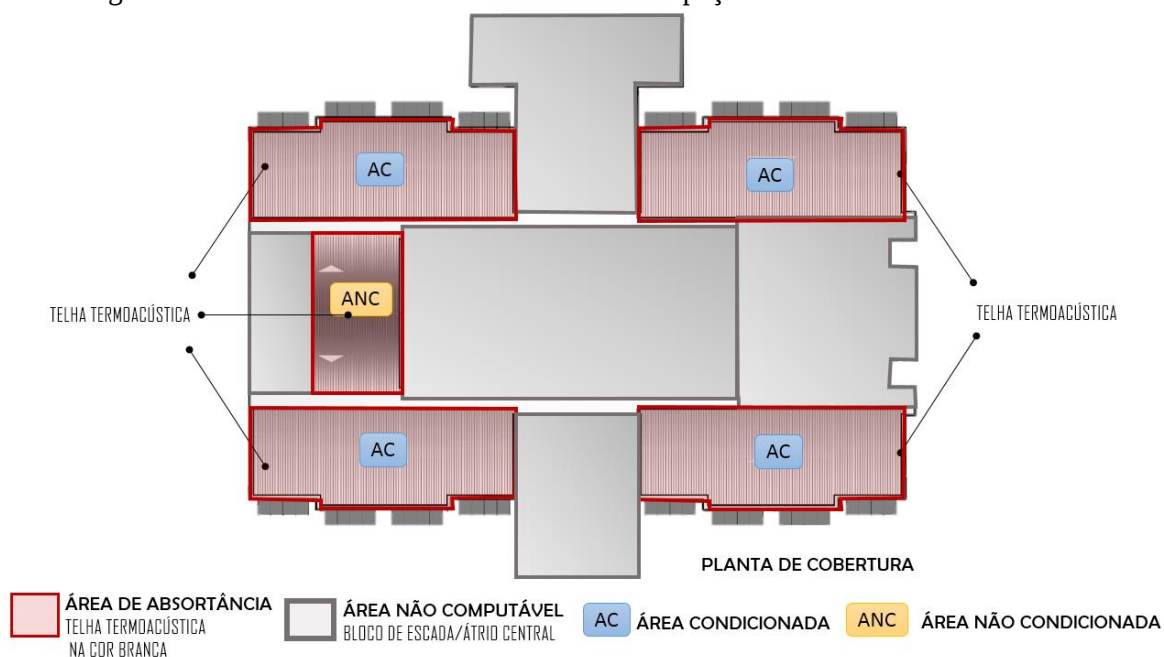
$$\alpha_{\text{parede}} = 0,21$$

- Absortância térmica da cobertura (α_{cob})

A Figura 71 mostra as áreas de absorção que devem ser consideradas. Ao observar-se a Figura 71, podem-se notar as áreas de cobertura utilizadas em destaque vermelho, e sinalizadas em uma condição de condicionada ou não condicionada artificialmente.

As cores dos revestimentos estão devidamente indicadas na figura e os valores da absorção de cada cor podem ser encontrados na Tabela B.2 da NBR152220-2, que indica que a absorção para a tinta branca é de 0,20. Como a edificação só possui um tipo de absorção a ponderação não precisará ser calculada.

Figura 71. Áreas de absorção da cobertura do Espaço de Ensino Mirante do Rio.



Fonte: Autora.

É importante mencionar que, segundo o item 3.2.1 do RTQ-C, pág. 28 (2013), “os pisos de áreas externas localizadas sobre ambiente (s) de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos de absorvência solar de coberturas, pilotis e varandas são exemplos deste item”. O que levou a consideração dos pisos das salas que ficam localizadas sobre o pavimento dos pilotis, e recebem indiretamente as cargas térmicas do meio exterior para o meio interior.

$$A_{\text{CoberturaTermoacústica_Branca}} = 1122,14\text{m}^2$$

$$A_{\text{PisoSobrePilotis_Branca}} = 515,64\text{m}^2$$

$$A_{\text{TotaldaCobertura_Branca}} = 1122,14 + 515,64$$

$$A_{\text{TotaldaCoberturaBranca}} = 1637,78\text{m}^2$$

Não foi preciso fazer a ponderação pois só foi computado um tipo de cobertura, sendo a absorvência:

$$\alpha_{\text{cobertura}} = 0,20$$

Lembrando que, segundo a nota da tabela 3.5 do RTQ-C, pág. 38 (2013): “Vãos de escadas, mezaninos e átrios devem ser descontados dos cálculos”. Incluído pela Portaria INMETRO número 299 de 19/06/2013.

Procedimentos de cálculo:

Percentual de Abertura de Fachada (PAF)

Para definir o PAFT, deve-se comparar o PAFT com o PAFO. Caso o PAFO seja maior que o PAFT em mais de 20%, deve-se utilizar o PAFO no cálculo do ICenv. Caso seja menor, utiliza-se o PAFT normalmente, como consta no regulamento. Portanto, abaixo serão demonstradas as áreas computadas para subsídio do cálculo do capítulo 4.

As figuras a seguir indicam os locais que devem ser computados para o cálculo da área de abertura da fachada.

- Área de abertura da fachada Norte

Figura 72. Percentual de abertura da Fachada Norte.



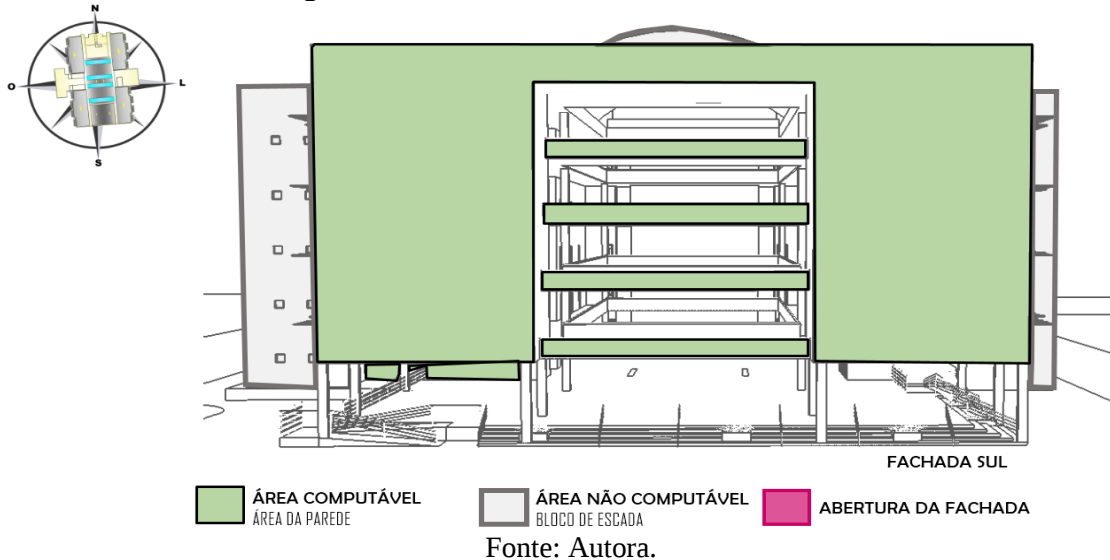
Fonte: Autora.

$$A_{\text{FachadaNorte}} = 805,12\text{m}^2$$

$$A_{\text{aberturaNorte}} = 28,20\text{m}^2$$

- Área de abertura da fachada Sul

Figura 73. Percentual de abertura da Fachada Sul.



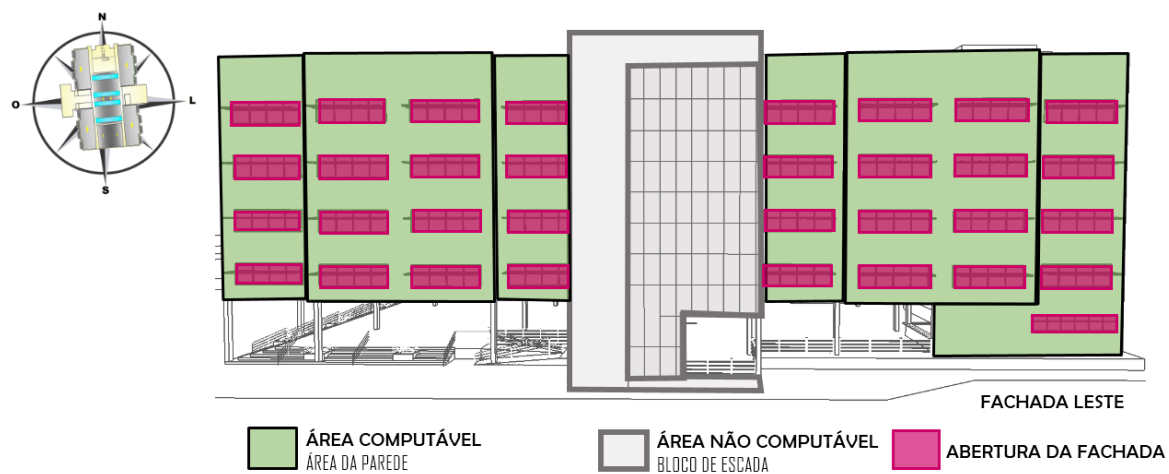
Fonte: Autora.

$$A_{\text{FachadaSul}} = 837,37\text{m}^2$$

$$A_{\text{aberturaSul}} = 0\text{m}^2$$

- Área de abertura da fachada Leste

Figura 74. Percentual de abertura da Fachada Leste.

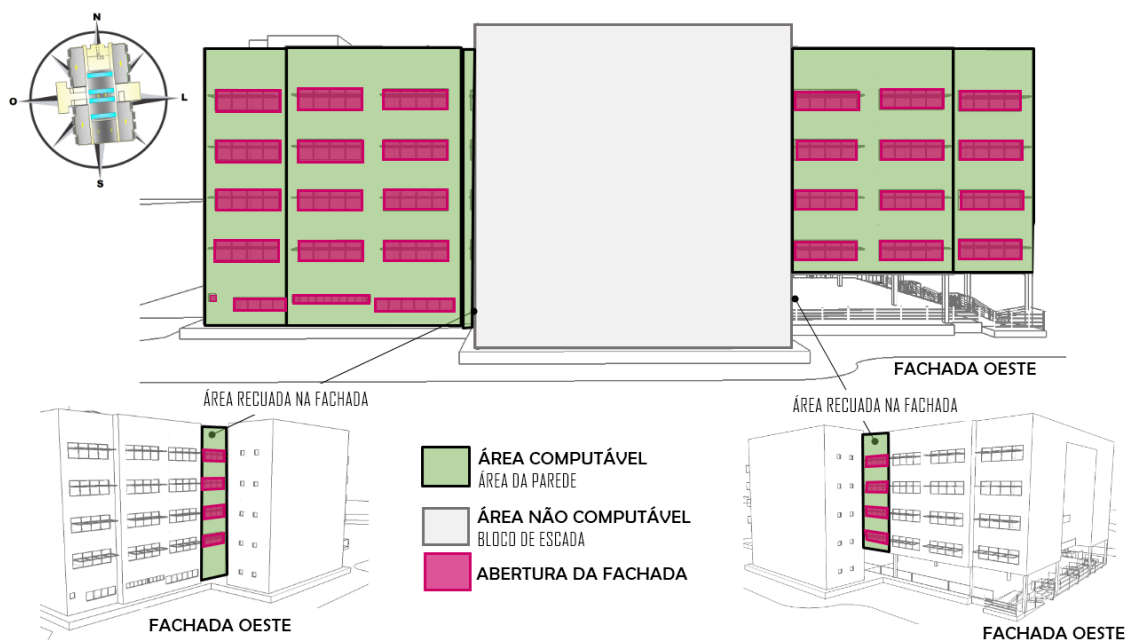


$$A_{\text{FachadaLeste}} = 1648,81\text{m}^2$$

$$A_{\text{aberturaLeste}} = 234,75\text{m}^2$$

- Área de abertura da fachada Oeste

Figura 75. Percentual de abertura da Fachada Oeste.



$$A_{\text{FachadaOeste}} = 4938,85\text{m}^2$$

$$A_{\text{aberturaOeste}} = 504,46\text{m}^2$$

Calcula-se então o Percentual de abertura de fachada total (PAFt), com a equação (31) e o percentual de abertura da fachada oeste (PAFo), com a equação (32).

Para PAFt, tem-se:

(31)

$$PAFt = \sum \frac{A_{\text{aberturaNorte}} + A_{\text{aberturaSul}} + A_{\text{aberturaLeste}} + A_{\text{aberturaOeste}}}{A_{\text{FachadaNorte}} + A_{\text{FachadaSul}} + A_{\text{FachadaLeste}} + A_{\text{FachadaOeste}}}$$

$$PAFt = \sum \frac{28,20 + 0 + 234,75 + 241,51}{805,12 + 837,37 + 1648,81 + 1647,55}$$

$$\mathbf{PAFt = 0,10m^2}$$

Para PAFo, tem-se:

(32)

$$PAFo = \frac{A_{\text{aberturaOeste}}}{A_{\text{FachadaOeste}}}$$

$$PAFo = \frac{241,51}{1647,55}$$

$$\mathbf{PAFo = 0,15m^2}$$

Apêndice B

Memorial de Cálculo Luminotécnico

O memorial de cálculo segue o método dos lumens, e a partir do levantamento físico da edificação foram coletados os dados dos ambientes para a aplicação do método. Já os valores relativos a iluminância foram escolhidos por atividade, seguindo a Tabela 49, retirada da norma de Iluminação de Ambientes de Trabalho: Parte I: Interior, NBR ISO/CIE 8995-1 de 2013.

Tabela 49. Especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Êm (lux)	UGR_L	R_a	Observações
28. Construções educacionais				
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aula noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lux.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	T _{CP} > 5.00 K.
Salas de desenho técnico	750	16	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
Salas de preparação e oficinas	500	22	80	
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80	
Salas dos professores	300	22	80	
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58 – 1983 e CIE 62 – 1984.

Fonte: NBR ISSO CIE 8995-1/2013, pág. 20 e 21.

- Método dos Lumens (Método das Eficiências)

“O Método dos Lumens se aplica praticamente em todas as situações (iluminação residencial, comercial, industrial e serviço público), fornecendo a quantidade de luminárias necessárias para iluminar um ambiente, a partir de um valor de iluminância.” (VASCONCELLOS e LIMBERGER, 2013).

Para tornar científico o conhecimento sobre qualquer assunto, é necessário utilizar-se de métodos, ou seja, técnicas de coleta e análise de dados relacionados ao tema da pesquisa. O desenvolvimento de um projeto exige uma metodologia para se estabelecer uma sequência lógica de cálculos. Portanto, o projeto luminotécnico foi elaborado segundo o Método do Fluxo Luminoso, ou Método das Eficiências.

Esta metodologia pressupõe as seguintes etapas (COSTA, 2006):

- 1) Levantamento das atividades do local, de suas dimensões físicas, de seu *layout*, ou elaboração de um novo;
- 2) Determinação dos objetivos da iluminação e dos efeitos que se pretende alcançar em função da(s) atividade(s) a ser(em) exercida(s) no ambiente (definidos principalmente em função dos sistemas de iluminação a serem adotados);
- 3) Escolha das lâmpadas e das luminárias (em função de todos os demais itens desta relação);
- 4) Análise dos fatores que influenciam na qualidade da iluminação, como: os níveis de iluminância (E), o Índice de Reprodução de Cor (IRC), a Temperatura de Cor (Tc), as refletâncias do teto, paredes e piso, etc; e
- 5) Cálculo da iluminação geral (Método das Eficiências).

A partir dos dados do levantamento é possível encontrar o Índice do Recinto (K), que é a relação entre as dimensões do ambiente para onde o projeto luminotécnico será projetado.

Esse índice (K) é calculado através da equação (33), onde Costa (2006) considera que: C é o comprimento do recinto; L é a largura do recinto; h é o pé-direito útil; h' a distância do teto ao plano de trabalho; H o pé direito; e hpt é a altura do plano de trabalho.

(33)

$$K = \frac{C \times L}{H \times (C + L)}$$

Lembrando que o Pé-direito útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho (hpt), menos a altura do pendente da luminária (hpend). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho. Obs.: quando a luminária for embutida, $h = h'$.

Figura 76. Refletâncias das superfícies internas.

REFLETÂNCIAS [%]									
Teto	70		50		70		50		30
Parede	50	30	50	30	50	30	50	30	30
Piso	30				10				
K									
0,6	39	33	39	33	38	34	37	33	32
1,0	62	54	60	54	60	53	58	53	52
1,5	78	70	76	69	75	68	72	68	66
2,0	89	81	85	78	83	77	80	77	74
3,0	101	94	95	89	92	87	88	86	84
5,0	112	106	103	98	99	95	96	93	92

Fonte: COSTA, 2006, p.499.

As refletâncias do recinto, para teto, paredes e piso são muito importantes, pois contribuem para as interferências da luz e podem ser estimadas da seguinte forma: cor branca 70%, cor clara 50%, cor média 30%, cor escura 10%. Com isso, tendo o índice do recinto e a análise por ambiente das refletâncias citadas, obtém o Fator de Utilização (FU), através da associação de valores na Figura 76 (COSTA, 2006).

Como já foi mencionado anteriormente o fluxo luminoso é a quantidade de luz, em lumens, emitida por uma fonte. Seu valor é calculado pela equação (34), onde segundo Costa (2006):

ϕ é o fluxo luminoso total necessário para o ambiente, em lumens;

E é a iluminância, em lux, extraída da norma ISO/CIE 8995-1 (ver Tabela 49);

A é a área do recinto em m^2 ;

FU é o fator de utilização (ver Figura 76); e

FM o fator de manutenção para ambiente: limpo=0,9; médio=0,80 e sujo=0,6.

(34)

$$\phi = \frac{\bar{E} \times A}{FU \times FM}$$

Nesse estudo de caso, a quantidade de lâmpada utilizada será a mesma o projeto.

Como apresentado no Capítulo 5, para o *retrofit* do sistema de iluminação foram definidas as lâmpadas Led de 20W, 2045 lumens e as lâmpadas Led 10W, 1320 lumens,

ambas sem necessidade de reator. Lembrando que as luminárias continuam sendo as mesmas pela compatibilidade entre as lâmpadas antigas e as novas.

Com isso, tem-se o cálculo luminotécnico para cada ambiente da edificação Mirante do Rio demonstrado a seguir:

Pavimento Térreo

Sala dos Professores

Dados retirados do projeto arquitetônico e levantamento in loco:

- Área = 59,80m²;
- C (comprimento) = 9,20m;
- L (largura) = 6,50m;
- Pd (pé-direito) = 3m;
- h (pé-direito útil) = 2,20m;
- h' (altura do plano de trabalho) = 0,80;
- $\bar{E}$ (iluminância média) = 300lux (valor da tabela 1);
- FM (Fator de manutenção) = 0,80 (médio);
- FU (Fator de utilização) = 0,89 (valor da tabela 2).

$$K = \frac{59,80}{2,2(9,20 + 6,50)} = \frac{59,80}{34,54} = 1,73 \text{ (FU = 0,89)}$$

$$\Phi = \frac{300 \times 59,80}{0,89 \times 0,8} = \frac{17.940}{0,712} = 25.196,62 \text{ lm}$$

Secretaria

Dados:

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| • Área = 28,45m ² ; | • h' = 0,80m; |
| • C = 6,05m; | • $\bar{E}$ = 500lux |
| • L = 4,70m; | • FM = 0,80(médio) |
| • Pd = 3,00m; | • FU = 0,78 |
| • h = 2,20m; | |

$$K = \frac{28,45}{2,2(6,05 + 4,70)} = \frac{28,45}{23,65} = 1,20 \text{ (FU = 0,78)}$$

$$\Phi = \frac{300 \times 28,45}{0,78 \times 0,8} = \frac{8.535}{0,625} = 13.677,88 \text{ lm}$$

Almoxarifado

Dados:

- Área= 19,50m²;
- C= 6,49m;
- L= 3m;
- Pd= 3m;
- h= 0m (altura do plano de trabalho);
- H= 3m;
- $\bar{E}$ = 300lux;
- FM= 0,80 (médio); e
- FU= 0,39.

$$K = \frac{19,50}{3(6,49 + 3)} = \frac{19,50}{28,47} = 0,6849 \quad (FU = 0,39)$$

$$\phi = \frac{300 \times 19,50}{0,39 \times 0,8} = \frac{5850}{0,312} = 18.750 \text{ lm}$$

Controle e Automação

Dados:

- Área= 24,25m²;
- C= 4,85m;
- L= 5m;
- Pd= 3m;
- h'= 0,80;
- H= 2,20m;
- $\bar{E}$ = 500lux;
- FM=0,80 (médio); e
- FU= 0,62.

$$K = \frac{24,25}{2,2(4,85 + 5)} = \frac{24,25}{20,79} = 1,16 \quad (FU = 0,62)$$

$$\phi = \frac{500 \times 24,25}{0,62 \times 0,80} = \frac{12125}{0,496} = 24.445,56 \text{ lm}$$

Cozinha

Dados:

- Área= 45,30m²;
- C= 6,50m;
- L= 6,20m;
- Pd= 3m;
- h= 0,80 (plano de trabalho);
- H= 2,0m;
- $\bar{E}$ = 500lux;
- FM=0,60;
- FU= 0,78.

$$K = \frac{45,30}{2,2(6,5 + 6,20)} = \frac{45,30}{27,94} = 1 \quad (FU = 0,62)$$

$$\phi = \frac{500 \times 45,30}{0,78 \times 0,60} = \frac{22.650}{0,468} = 48.397,43 \text{ lm}$$

Área de Atendimento

Dados:

- Área= 50,04m²;
- C= 7,98m;
- L= 6,28m;
- Pd= 3m;
- h'= 0,80m;
- H= 2,20m;
- E= 300lux;
- FM=0,60 (sujo); e
- FU= 0,78.

$$K = \frac{50,04}{2,2(7,98 + 6,28)} = \frac{50,04}{31,37} = 1,59 \text{ (FU = 0,78)}$$

$$\phi = \frac{300 \times 50,04}{0,78 \times 0,60} = \frac{15.012}{0,468} = 32.076,92 \text{ lm}$$

Circulação

Dados:

- Área= 9,98m²;
- C= 6,05m;
- L= 1,65m;
- Pd= 3m;
- h'= 0 (plano de trabalho)
- H= 3m;
- E= 100lux;
- FM=0,60 (sujo); e
- FU= 0,3.

$$K = \frac{9,98}{2(6,05 + 1,65)} = \frac{9,98}{23,01} = 0,43 \text{ (FU = 0,39)}$$

$$\phi = \frac{100 \times 9,98}{0,39 \times 0,6} = \frac{998}{0,234} = 4.264,95 \text{ lm}$$

Pavimento Tipo

Sala tipo 01 (sala 01) – 04 salas por pav. x 04 pav. = 16 salas

Dados:

- Área= 71,17m²;
- C= 10,95m;
- L= 6,50m;
- Pd= 3m;
- h= 0,80 (plano de trabalho);
- H= 2,2m;
- E= 500lux;
- FM=0,80 (médio); e
- FU= 0,89.

$$K = \frac{71,17}{2,2(10,95 + 6,5)} = \frac{71,17}{38,39} = \mathbf{1,85} \text{ (FU = 0,89)}$$

$$\phi = \frac{500 \times 71,17}{0,89 \times 0,8} = \frac{35.585}{0,712} = \mathbf{49.978,93 \text{ lm}}$$

$$N = \frac{500 \times 71,17}{0,89 \times 0,8 \times 4100} = \frac{35.585}{2.919,2} = \mathbf{12,189} \text{ (aproximadamente 13 luminárias)}$$

Sala tipo 02 (sala 03) – 08 salas por pav. x 04 pav. = 32 salas

Dados:

- Área= 59,80m²;
- C= 9,20m;
- L= 6,50m;
- Pd= 3m;
- h'= 0,80m;
- H= 2,20m;
- E= 500lux; e
- FM=0,80 (médio).
- FU= 0,89

$$K = \frac{59,80}{2,2(9,20 + 6,50)} = \frac{59,80}{34,54} = \mathbf{1,73} \text{ (FU = 0,89)}$$

$$\phi = \frac{500 \times 59,80}{0,89 \times 0,8} = \frac{29.900}{0,712} = \mathbf{41.994,38 \text{ lm}}$$

$$N = \frac{500 \times 59,80}{0,89 \times 0,8 \times 4100} = \frac{29.900}{2.919,2} = \mathbf{10,24} \text{ (aproximadamente 11 luminárias)}$$

Sala tipo 03 (sala 07) - 04 salas por pav. x 04 pav. = 16 salas

Dados:

- Área= 52,89m²;
- C= 8,20m;
- L= 6,45m;
- Pd= 3m;
- h'=0,80m;
- H= 2,20m;
- E= 500lux;
- FM=0,80 (médio); e
- FU= 0,78.

$$K = \frac{52,89}{2,2(8,2 + 6,45)} = \frac{52,89}{32,23} = \mathbf{1,64} \text{ (FU = 0,78)}$$

$$\phi = \frac{500 \times 52,89}{0,78 \times 0,8} = \frac{26.445}{0,624} = \mathbf{42.379,80 \text{ lm}}$$

$$N = \frac{500 \times 52,89}{0,78 \times 0,8 \times 4100} = \frac{26.445}{2.558,4} = \mathbf{10,33} \text{ (aproximadamente 11 luminárias)}$$