

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE ARTES VISUAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E CIDADE

PABLO DE CALDAS PAULSE

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE ESCOLAS PÚBLICAS
SEGUNDO APLICAÇÃO DO RTQ-C PARA A ENVOLTÓRIA**

GOIÂNIA
2016

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

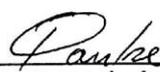
Nome completo do autor: Pablo de Caldas Paulese

Título do trabalho: Análise do desempenho termoenergético de escolas públicas segundo aplicação do RTQ-C para a envoltória.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do (a) autor (a)

Data: 19 / 10 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Paulse, Pablo de Caldas

Análise do desempenho termoenergético de escolas públicas segundo aplicação do RTQ-C para a envoltória [manuscrito] / Pablo de Caldas Paulse. - 2016.

129 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Érico Naves Rosa.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Artes Visuais (FAV), Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, Goiânia, 2016.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Arquitetura escolar. 2. Envoltória. 3. Conforto térmico. 4. Eficiência energética. 5. RTQ-C. I. Rosa, Érico Naves, orient. II. Título.

CDU 72



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE ARTES VISUAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E CIDADE
Campus Samambaia, Av. Esperança, s/nº - Campus Universitário - CEP: 74.690-900, Goiânia/GO.
Fones: (62) 3521-1413 www.fav.ufg.br/projetoecidade

Ata nº 06/2016 da reunião da banca examinadora da defesa de dissertação de PABLO DE CALDAS PAULSE - Aos trinta e um dias do mês de março do ano de dois mil e dezesseis (31/03/2016), às 16h30min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, os Professores Doutores: Érico Naves Rosa (FAV/UFG) - orientador, Karla Emmanuela Ribeiro Hora (UFG) e Maria Carolina Gomes de Brandstetter (UFG), para, sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada na sala 17 da Faculdade de Artes Visuais, Campus Samambaia, procederem à avaliação da defesa de dissertação intitulada: ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO PARA ESCOLAS PÚBLICAS SEGUNDO APLICAÇÃO DO RTQ-C PARA A ENVOLTÓRIA, em nível de Mestrado, área de concentração em Projeto, Teoria, História e Crítica, linha de pesquisa Processos e Tecnologias de Projeto e Planejamento, de autoria de PABLO DE CALDAS PAULSE, discente do Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Érico Naves Rosa, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra a seguir, foi concedida ao autor da dissertação que, em 20 minutos procedeu à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o examinando. Terminada a arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista o que consta na Resolução nº. 1183/2013 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, a dissertação foi considerada APROVADA, com as seguintes observações da banca examinadora:

O MESTRANDO DEVE FAZER AS REVISÕES APTONADAS PELA BANCA DE DEFESA. AS REVISÕES CONSTARÁ NAS CÓPIAS ENTREGUES AO MUNDO

Cumpridas as formalidades de pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação e para constar eu, Bruna Junqueira Ribeiro, secretária do Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em quatro vias de igual teor.

Prof. Dr. Érico Naves Rosa
Presidente - FAV/UFG

Prof. Dra. Karla Emmanuela Ribeiro Hora
Membro - EECA/UFG

Prof. Dra. Maria Carolina Gomes Brandstetter
Membro - EECA/UFG

Bruna Junqueira Ribeiro
Faculdade de Artes Visuais/UFG
Mat. SIAPE nº 1851270



PABLO DE CALDAS PAULSE

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE ESCOLAS PÚBLICAS
SEGUNDO APLICAÇÃO DO RTQ-C PARA A ENVOLTÓRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade da Faculdade de Artes Visuais da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em *Projeto e Cidade*, sob orientação do Prof. Dr. Érico Naves Rosa.

GOIÂNIA
2016

*À Elisa, Miguel e Francisco pelo
apoio diário e compreensão.*

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dra. Karla Emmanuela Ribeiro Hora por seu apoio e sugestões para a conclusão dessa dissertação.

Ao Eng. Civil e Ambiental Lucas Caldas, por sua colaboração para o enriquecimento da discussão sobre o tema eficiência energética.

À Prof. Ms. Camilla Pompeo por sua colaboração na seleção bibliográfica e formatação dessa dissertação.

À equipe do Projeto Eficiência Energética em Edifícios Públicos Municipais – Goiânia, por sua dedicação e empenho na promoção de estudos na área que serviram de inspiração para a realização dessa dissertação.

À minha família por seu apoio e estímulo.

RESUMO

A busca por edificações com melhor desempenho energético tem sido alvo de diversas pesquisas, visto da crise energética que o Brasil e o mundo vêm enfrentando e a necessidade de um caminho mais sustentável para as edificações. Neste contexto, esta dissertação apresentou a análise da envoltória (vedações verticais e cobertura) de uma edificação escolar cujo objetivo é a otimização de seu desempenho termoenergético e a obtenção de melhores níveis de conforto térmico interno para os seus usuários. O objeto de estudo foi um edifício padrão para salas de aula de escolas públicas do município de Goiânia-GO cujas dimensões e características espaciais não foram alteradas significativamente; sendo analisados somente os componentes construtivos que caracterizam a sua envoltória. A avaliação termoenergética da edificação proposta baseou-se na metodologia do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica), o qual estabelece parâmetros para a classificação do desempenho energético através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Para tanto, foram realizadas análises da envoltória da edificação segundo o método prescritivo, baseado em cálculos e parâmetros pré-estabelecidos pelo regulamento, e o da simulação computacional, com a criação de cenários utilizando materiais e soluções recomendadas pelo regulamento e normas técnicas de desempenho de edificações (ABNT NBR 15575:2013) e desempenho térmico em edifícios (ABNT NBR 15220:2005), ambas referenciadas pelo RTQ-C. Para a simulação foi utilizado o software DesignBuilder. Os modelos simulados foram avaliados segundo dois critérios: a temperatura interna do ar e o conforto térmico dos usuários definido pelo índice PMV. Os resultados foram aplicados à metodologia do RTQ-C e demonstram que a mudança no tipo de alvenaria e na cobertura do modelo original, com a incorporação de elementos de proteção solar nas aberturas, possibilitam que a classificação final da ENCE passe de uma classificação mediana (nível C) para o de máximo desempenho (nível A); com consideráveis implicações na temperatura interna e no percentual de horas em conforto dos usuários, sem a necessidade de emprego de sistemas de climatização mecanizados e de elevado consumo energético. Tais resultados fornecem subsídios para a elaboração de edifícios públicos energeticamente mais eficientes, empregando sistemas construtivos adequados ao local e que possibilitem a redução de custos associados à manutenção do adequado conforto térmico de seus usuários.

Palavras-chave: Arquitetura escolar. Envoltória. Conforto térmico. Eficiência energética. RTQ-C.

ABSTRACT

The search for buildings with better energy performance has been the subject of several studies, due to the energy crisis that Brazil and the world are facing and the need for a more sustainable solution for buildings. In this context, this thesis presented the analysis of the envelope (vertical walls and roof) of a school building whose purpose is to optimize its thermoenergetic performance and the achievement of higher levels of indoor thermal comfort for its users. The object of study was a standard building for classrooms of public schools in the city of Goiania–GO, whose dimensions and spatial characteristics have not been changed significantly; the analysis focusing only the building components that characterize its envelope. The thermoenergetic assessment of the proposed building was based on the Quality of Technical Regulation Methodology for Energy Efficiency of Commercial Buildings, Services and Public - RTQ-C of the Brazilian Labeling Program in Buildings (PBE Edifica), which establishes parameters for the classification of energy performance through the National Energy Conservation Label (ENCE). For this purpose, analysis were carried out of the building envelope according to the prescriptive method, based on calculations and parameters pre-set by the Regulation, and on computer simulations carried out by creating scenarios using materials and solutions recommended by the Regulation and performance of technical standards buildings (NBR 15575: 2013) and thermal performance in buildings (NBR 15220: 2005), both referenced by RTQ-C. For the simulations was used the DesignBuilder software. Simulated models were evaluated according to two criteria: the indoor air temperature and the thermal comfort of users defined by the PMV index. The results were applied to the RTQ-C methodology and demonstrate that the changes in the type of masonry and in the roof of the original model, added to the incorporation of shading elements in the openings, can provide a change in the ENCE final classification, which moves up from a medium ranking (level C) to that of maximum performance (level A), with considerable implications for the internal temperature and the percentage of hours in comfort of users, without the need for use of mechanized and high energy consuming air conditioning systems. These results provide subsidies for the development of more energy efficient public buildings, through the employment of construction systems appropriate to the site and enabling the reduction of costs associated with the maintenance of adequate thermal comfort of its users.

Keywords: School architecture. Envelope. Thermal comfort. Energy efficiency. RTQ-C.

LISTA DE FIGURAS

Figuras 01 e 02: Imagens de escola padrão da Prefeitura de Goiânia - E.M. Dalísia Doles	22
Figura 03 – Elementos que compõem a envoltória.	30
Figuras 04 e 05 – ENCE Geral e ENCE Parcial da Envoltória	37
Figura 06: Parcela de abertura contabilizada para o cálculo do PAF	47
Figura 07: Esquema da metodologia adotada para o trabalho	55
Figuras 08 e 09: Imagens de bloco de salas de aula padrão da Prefeitura de Goiânia - E.M. Dalísia Doles	56
Figuras 10,11 e 12: Imagens de bloco de salas de aula padrão da Prefeitura de Goiânia - E.M. Barravento	57
Figuras 13 e 14: Zonas Bioclimáticas do Brasil e Zona Bioclimática 6	59
Figura 15: Carta bioclimática com normais climatológicas para Goiânia-GO	60
Figura 18 – Sistemas de paredes e coberturas selecionados. Fonte: NBR 15220-3 (adaptado).	68
(ABNT, 2005).....	68
Figuras 20 e 21 – Modelos tridimensionais renderizados do bloco de salas de aula. (Fonte: autor).....	73
Figura 22 – Planta baixa com Salas 7 e 8 em destaque (Fonte: autor)	73
Figura 23 – Ganho térmico acumulado nas janelas exteriores para sala 7. (Fonte: Autor).....	74
Figura 24 – Ganho térmico acumulado nas janelas exteriores para sala 8. (Fonte: Autor).....	74
Figura 25 – Edificação modelada no software DesignBuilder com indicação da orientação adotada e salas analisadas. (Fonte: Autor)	75
Figura 26 – Atividades adotadas. (Fonte: Programa Designbuilder)	76
Figura 27 – Sistema parede original (P1).....	78
Figura 28 – Sistema P2.	78
Figura 29 – Sistema parede P3.	78

Figura 30 – Sistema parede P4.	79
Figura 31 – Sistema cobertura original (C1).....	79
Figura 32 – Sistema C2.	79
Figura 33 – Sistema C3.	80
Figura 34 – Horário de ocupação diário.	80
Figura 35 – Horário ocupação semanal e anual. (Fonte: Programa DesignBuilder)	81
Figura 36 – Características dos brises (Fonte: DesignBuilder).....	83
Figura 37 – Sala 7 com os brises horizontais (Fonte: DesignBuilder).	83
Figura 38 – Edificação com os brises horizontais na fachada oeste (Fonte: DesignBuilder).	84
Figura 39 – Procedimento para seleção do dia típico de verão.	85
Figura 40 – Procedimento para seleção do dia típico de inverno.	85
Figura 41 – Temperaturas internas horárias máximas para dia de verão.....	90
Figura 42 – índice PMV máximos para o dia de verão.	90
Figura 43 – Comparação POC para Modelos M1 e M19.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Comparação percentual de redução de ganho solar entre diferentes sistemas de proteção solar	33
Tabela 02 – Síntese dos pré-requisitos para a envoltória.	42
Tabelas 03 e 04 – Limites de transmitância térmica para cobertura e paredes externas	42
Tabela 05 – Limites de absorvância térmica de superfícies	44
Tabela 06: Limites de Fator Solar e Percentual de Abertura Zenital para coberturas..	44
Tabela 07: Parâmetros do IC Máximo.....	48
Tabela 08: Parâmetros do IC Mínimo	48
Tabela 09: Limites dos intervalos dos níveis de eficiência	49
Tabela 10: Percentual de estratégias bioclimáticas segundo médias mensais para Goiânia-GO	61
Tabela 11 – Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima local.....	61
Tabela 14 – Critérios para paredes pesadas e coberturas leves (ABNT NBR 15220-3:2005) - adaptado.	67
Figura 19 – Cidades próximas à Goiânia-GO com arquivos EPW disponíveis.....	72
Tabela 15 – Dados de entrada para simulação por salas de aula.....	75
Tabela 16 – Critérios para paredes pesadas e coberturas leves segundo a NBR 15220-3 (ABNT,2005).....	76
Tabela 17 – Paredes externas e sistemas de coberturas consideradas.....	77
Tabela 18 – Combinações dos sistemas avaliados.....	82
Tabela 19 – Resultados para o dia típico de verão (18/09).	88
Tabela 20 – Resultados para o dia típico de inverno (04/06).	89
Tabela 21 – Percentual de horas ocupadas (POC), equivalente numérico e classificação final das envoltórias.	93
Tabela 22 – Avaliação modelo M1.	94
Tabela 23 – Avaliação modelo M19.	95

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I.....	106
ANEXO II.....	111
APÊNDICE A.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Acob	Área da cobertura	m ²
ACR	Ano climático de referência	-
Aenv	Área da envoltória	m ²
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento	%
Apcob	Área de Projeção da Cobertura	m ²
Ape	Área de Projeção do Edifício	m ²
Atot	Área total construída	m ²
AU	Área Útil	m ²
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento	%
CAD	Computer Aided Design	-
COP	Coefficiente de Performance	-
Ct	Capacidade Térmica	J/m ² .K
DCI	Densidade de Carga Interna	C/m ³
DPI	Densidade de Potência de Iluminação	W/m ²
Env	Envoltória	-
EPW	Energyplus Weather Data	-
EqNum	Equivalente Numérico	-
FA	Fator Altura (Apcob/Atot)	-
FF	Fator Forma (Aenv/Vtot)	-
FS	Fator Solar	-
ICenv	Indicador de Consumo da Envoltória	-
NBR	Norma Brasileira	-
PAFo	Percentual de Abertura na Fachada Oeste	%
PAFt	Percentual de Abertura na Fachada Total	%
PAZ	Percentual de Abertura Zenital	%
PMV	Predicted Mean Vote	-
POC	Percentual de horas Ocupadas em Conforto	%
PT	Pontuação Total	-
PU	Padrão de Uso	-
TRY	Test Reference Year	-
Ucob	Transmitância Térmica da Cobertura	W/(m ² .K)
Upar	Transmitância Térmica das Paredes	W/(m ² .K)
Vtot	Volume Total da Edificação	m ³
ZB	Zona Bioclimática	-

LISTA DE ENTIDADES E PROGRAMAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BEM	Balanco Energético Nacional
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
DOE	Department of Energy - USA
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina
MME	Ministério de Minas e Energia – Brasil
PBEEedifica	Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ProjetEEE	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
RAC-C	Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SEINFRA	Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos – Goiânia-GO
SEMOB	Secretaria Municipal de Obras – Goiânia-GO
SEPLANH	Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação – Goiânia-GO
SME	Secretaria Municipal de Educação – Goiânia-GO

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Justificativa.....	21
1.2 Objetivos	22
1.3 Limitações da Pesquisa.....	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 As mudanças climáticas e o consumo energético.....	25
2.2 Eficiência energética em edificações	26
2.3 Sistemas de certificação da eficiência energética em edificações.....	34
2.4 Legislação Brasileira: programas para a conservação de energia em edifícios	36
2.5 Programa brasileiro de etiquetagem em edificações - PBE Edifica	39
3. METODOLOGIA	54
3.1. Caracterização do objeto	55
3.2. Cálculo da eficiência energética da envoltória – Método Prescritivo RTQ-C.....	62
3.3. Seleção de sistemas de vedação vertical e cobertura para modelos propostos	67
3.4. Cálculo da eficiência energética da envoltória – Método Simulação RTQ-C	69
3.5 Análise dos resultados da simulação computacional.....	84
3.6 Avaliação segundo o RTQ-C e classificação da ENCE	86
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.1 Critérios avaliados	87
4.2 Avaliação da Envoltória Segundo os Requisitos do RTQ - C.....	92
5. CONCLUSÕES.....	96
5.1 Considerações finais.....	96
5.2 Recomendações para trabalhos futuros	97
REFERÊNCIAS	99
Anexos	105

INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas são cada vez mais evidentes e acarretam em mudanças significativas no clima e conseqüentemente em todas as atividades humanas. As temperaturas médias dos entre os anos 1995 e 2005 são as mais elevadas já registradas pelo homem considerando os últimos 20 anos (ROAF, 2009) e as cidades são os locais onde essas alterações climáticas se manifestam mais visivelmente (LEITE, 2012).

É necessária uma mudança na forma como são concebidas as cidades para que sofram menos as conseqüências das oscilações climáticas e que sejam mais sustentáveis. Para tanto, torna-se necessária a construção de edifícios mais eficientes, que tenham maior resiliência e que dependam menos de recursos energéticos para sua operação. Ao arquiteto, cabe a função de projetar edificações que traduzam as demandas de ordem sociais, culturais e ambientais e incorpore à sua atividade a minimização dos impactos ambientais inerentes ao setor da construção; buscando a redução do consumo energético associado tanto às etapas de construção como de operação da edificação.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional 2015¹ (MME, 2015), o consumo de energia elétrica das edificações no Brasil corresponde a 42,5% do total produzido, sendo distribuídas entre os setores residencial (21,2%), comercial (14,5%) e público (6,8%). A participação no consumo de energia elétrica das edificações é a maior proporcionalmente, sendo que em segundo lugar está o consumo industrial, correspondendo a 33,0% do total. Do total correspondente ao consumo de edificações, grande parte desse potencial elétrico é gasto para promover a climatização mecânica necessária para a manutenção de níveis satisfatórios de conforto ambiental de seus ocupantes, além do consumo proveniente de sistemas de iluminação e outros equipamentos.

Considerando a média do consumo total nacional de energia elétrica em edifícios públicos, 48% representa o uso final de equipamentos de ar condicionado, 23% o consumo com iluminação artificial, 15% com equipamentos de escritório e 14% destinam-se a outras cargas (LAMBERTS, 2014). Bastante similar é o padrão de uso

¹ O Balanço Energético Nacional 2015 (MME, 2015) apresenta dados relativos ao ano base 2014, sendo que foram considerados apenas os dados de consumo de energia elétrica pois essa corresponde à quase totalidade da energia consumida pelos setores residencial, comercial e público. Outras fontes de energia não foram consideradas para essa análise.

final para edifícios comerciais, sendo possível inferir que os sistemas de climatização são os maiores responsáveis pelo consumo energético em edifícios para esses dois setores. Apesar dos dados mostrarem que a climatização é a maior responsável pelo uso final de energia em edifícios públicos, essa informação trata-se de uma média geral, pois não há distinção entre o consumo energético associado ao tipo de atividade desenvolvida na edificação e tampouco por região do país.

Além da redução do consumo de energia associado à construção e operação de edifícios, é necessária a garantia de qualidade ambiental e níveis de conforto térmico satisfatórios para seus usuários, visando a redução dos custos operacionais e ambientais relacionados ao uso extensivo de soluções mecanizadas para a climatização do ar e sistemas de iluminação artificiais. Tais medidas, além de contribuírem para a economia de energia direta na edificação colaboram para a minimização dos impactos decorrentes associados à geração dessa energia como, por exemplo, a necessidade de construção de mais usinas hidrelétricas e as áreas alagadas associadas a esse tipo de matriz energética.

Um projeto arquitetônico adequado ao clima e consciente das vantagens da utilização de estratégias naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento dos ambientes tem um grande potencial em reduzir a demanda de energia esperada para os próximos anos. (LAMBERTS, 2014, p. 19)

Segundo Carlo (2008), o consumo de energia em edificações está relacionado aos ganhos e perdas de calor pela envoltória² da edificação, que associados às cargas oriundas da ocupação, equipamentos e iluminação, demandam uma utilização maior de sistemas de condicionamento de ar visando a manutenção das condições de conforto interno para seus usuários. A envoltória, por esse motivo, opera como elemento de proteção entre os meios exterior e interior à edificação e influencia diretamente o nível de conforto ambiental – térmico, acústico e luminoso - nos ambientes internos.

Neste contexto, esta pesquisa se propõe a estudar uma edificação de tipologia escolar padrão do município de Goiânia - GO, com o objetivo de analisar o desempenho termoenergético de sua envoltória. Serão avaliados os impactos decorrentes da proposição de soluções diversas de paredes e coberturas e suas implicações no consumo de energia e nível de conforto nos ambientes internos. Utilizou-se como

² A envoltória segundo o Manual para Aplicação do RTQ-C (ELETROBRÁS, 2015) corresponde ao “conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior, ou seja, que compõem o fechamento dos ambientes internos em relação ao ambiente externo.”

referenciais as normas de desempenho vigentes e a metodologia de avaliação da edificação baseada no Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (ELETROBRÁS, 2015).

1.1 Justificativa

A escolha de um edifício escolar que segue um padrão tipológico concebido pela prefeitura como objeto de estudo dessa pesquisa tem sua fundamentação baseada em dois argumentos. O primeiro é que as escolas públicas, de uma maneira geral, possuem escassos estudos relacionados ao conforto e qualidade ambiental de seus espaços; assim como inexistem análises quanto ao seu desempenho termoenergético salvo caso onde é conduzida uma avaliação externa como o feito por universidades, por exemplo. Isso porque a análise de desempenho de edificações públicas ainda não é uma prática obrigatória e presente em projetos de nível municipal, exceto para edifícios habitacionais.

Um segundo argumento é que, apesar de atenderem a um grande número de usuários e serem construídas novas escolas todos os anos que seguem o mesmo padrão já estabelecido para o município, a diretriz que norteia o projeto no caso específico analisado é a praticidade para adequá-lo aos terrenos diversos e facilitar o processo licitatório necessário para a sua construção.

Ou seja, o projeto padrão atual deixa de incorporar elementos que poderiam promover melhores níveis de conforto para seus usuários e economia de recursos, para seguir uma lógica de flexibilização para se adequar a um determinado terreno, sem considerar outras variantes projetuais.

A padronização nesse caso segue uma lógica inversa a do desenvolvimento tecnológico e das mudanças ambientais, na qual é inegável a necessidade de um uso mais racional de recursos e de energia, e perpetua-se a construção de edifícios desprovidos de qualquer análise mais aprofundada quanto aos seus aspectos ambientais, ciclo de vida e custos energéticos, por exemplo.

Diante do exposto, justifica-se a seleção de um edifício escolar público é embasada pois é uma tipologia que usualmente não é objeto de estudos científicos no âmbito do desempenho termoenergético, porém é parte da estrutura física de todos os municípios brasileiros e elemento essencial para o desenvolvimento da sociedade.

Outra justificativa para o desenvolvimento do trabalho é a possibilidade de utilização do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), ferramenta de avaliação para edificações desenvolvida pelo poder público e ainda pouco explorada em trabalhos acadêmicos.

Além disso, os edifícios públicos desempenham um papel fundamental na apropriação e divulgação dos conceitos de redução no consumo de energia e racionalização de uso pois atingem um público amplo e diversificado, contribuindo para a disseminação dessas práticas. Portanto, o diálogo entre a academia e o poder público, seja através do fornecimento de material de suporte para a tomada de decisões de arquitetos e gestores públicos, visando o benefício de toda a sociedade, justificam a escolha do tema.



Figuras 01 e 02: Imagens de escola padrão da Prefeitura de Goiânia - E.M. Dalísia Doles

Fonte: Fotos do autor (2014)

1.2 Objetivos

Objetivo geral

Avaliar o potencial de desempenho termoenergético da envoltória de diferentes modelos de uma edificação escolar através da simulação de diversos sistemas construtivos para paredes e coberturas, segundo os requisitos do Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

Objetivos específicos

- a) Etapa de método: Aplicar os métodos prescritivo e da simulação do RTQ-C para uma escola pública padrão para o município de Goiânia-GO, identificando o nível de eficiência energética para a sua envoltória;
- b) Comparar as metodologias prescritiva e de simulação do RTQ-C para o modelo real;
- c) Analisar e comparar os resultados dos modelos simulados quanto ao desempenho energético e conforto térmico, analisando o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC) para os espaços internos;
- d) Obter a ENCE para o modelo real e o modelo simulado que obteve melhor desempenho;
- e) Identificar como a aplicação do RTQ-C e da ENCE podem auxiliar na produção de edifícios mais eficientes energeticamente do ponto de vista da sua envoltória.

1.3 Limitações da Pesquisa

Ao longo da pesquisa foram encontrados obstáculos que fizeram que algumas condições fossem assumidas para possibilitar a conclusão do estudo. A seguir são listadas as limitações encontradas:

- Utilização de arquivos climáticos da cidade de Pires do Rio - GO, já que a cidade de Goiânia - GO não possui esse tipo de dados;
- Foi realizada somente a avaliação do bloco de salas de aulas por se tratar de ambiente de maior permanência dos alunos e por estar presente em todas as escolas padrão do município. Outros blocos pertencentes ao conjunto escolar não foram contemplados;
- Não são consideradas nas análises decisões arquitetônicas relativas à variação no tamanho dos ambientes e a forma da edificação, pois é inferido que tais informações resultem de decisões para além da área de estudo em questão: o desempenho termoenergético da envoltória. A ideia é que esse trabalho forneça subsídios para decisões futuras relacionadas ao projeto arquitetônico.

- Não é avaliado o consumo de energia do edifício, somente a classificação relacionada ao indicador de consumo da envoltória relacionada à sua eficiência energética.
- O trabalho não propõe modificações na geometria ou forma dos edifícios e tampouco sugere um *retrofit*³ da envoltória existente. O que se pretende analisar são as implicações decorrentes através das simulações das diversas mudanças de sistemas construtivos de sua envoltória, contemplando materiais e componentes utilizados, considerando para todos os casos a mesma orientação solar, e não uma solução complementar ou paliativa para uma edificação preexistente.

³ Segundo Roméro (2011), *retrofit* é uma expressão de origem inglesa utilizada com frequência por profissionais da área de conservação de energia, cujo objetivo é a proposição de melhorias para a elevação de desempenho de equipamentos e sistemas de edificações existentes. Gonçalves e Baker (2015) sugerem que esse termo é o mesmo que reabilitação, visto que abrange uma gama de intervenções que podem ser realizadas, como a substituição de sistemas prediais ou mesmo reconstrução de elementos da envoltória.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 As mudanças climáticas e o consumo energético

Segundo Edwards (2008), o projeto de arquitetura sustentável deve envolver questões como a redução dos gases causadores aquecimento global através da maior eficiência energética, manutenção do equilíbrio financeiro e a criação de espaços saudáveis e sensíveis às necessidades sociais; esse conceito proporciona uma nova base ética e moral para o exercício da arquitetura e para a criação de assentamentos humanos.

Esse conceito representa um novo paradigma pois, segundo Lamberts (2014), um bom projeto arquitetônico deve considerar as análises de eficiência energética ainda na etapa de projeto, pois tais definições influenciam os desempenhos térmico e luminoso da edificação. Para tanto, o mesmo autor aponta como possível rumo à mudança de consciência do profissional e da forma da concepção projetual arquitetônica, com vistas à produção de edificações mais eficientes e concebidas para utilizar racionalmente a energia sem comprometer a qualidade e o conforto dos ambientes para os seus usuários.

Para Rogers (2012), caberia ao poder público a garantia de realização e fiscalização de projetos de qualidade, que estimulem aspectos inovadores e sustentáveis, a começar pelas edificações públicas.

Os governos devem garantir que seu enorme e direto poder de compra beneficie a sustentabilidade social e ambiental. As políticas do poder público para a consecução desse objetivo poderiam promover a inovação, em todas as áreas, de design sustentável, desde carros elétricos até edifícios de baixo consumo energético e ambientes educacionais realmente inspiradores. (ROGERS, 2012, p. 160)

Apesar da relativa distância entre a situação descrita por Rogers (2012) e a realidade brasileira, é incipiente que ocorram mudanças na forma com que são concebidas as cidades e as edificações. Para tanto, torna-se necessário o estabelecimento de padrões referenciais para o desenvolvimento de edificações mais comprometidas com os novos paradigmas dos tempos atuais, de mudanças climáticas, escassez de recursos e crises energéticas.

2.2 Eficiência energética em edificações

O conceito de eficiência energética é quando ocorre uma redução no consumo de energia para a realização de uma atividade ou serviço, ou ainda quando ocorre um aumento da eficiência ou melhoria dos serviços para uma mesma quantidade de energia gasta. O mesmo princípio pode ser empregado para edificações.

A eficiência energética é adotada em projetos de edificações com o objetivo de racionalizar o consumo evitando desperdícios e sem comprometer os serviços necessários à saúde, segurança, conforto e produtividade dos usuários da edificação (CARLO, 2008).

Os edifícios contribuem para o consumo global de energia através das trocas térmicas que são realizadas entre os ambientes interno e externo, sendo que em climas quentes, como no caso de Goiânia, as trocas térmicas são maiores o que acarreta em ganhos térmicos maiores nos ambientes internos. Essa carga térmica adicional, somada às cargas de ocupação e equipamentos internos, frequentemente deve ser compensada com o emprego de sistemas de condicionamento de ar (CARLO, 2008).

Dentre as medidas que podem ser tomadas visando a redução do consumo energético, estão o desenvolvimento de projetos ou *retrofits* de edifícios que busque uma melhor correspondência da envoltória do edifício com a sua implantação e clima; a adoção de sistemas de condicionamento de ar e iluminação mais eficientes, além da mudança de hábitos dos usuários e padrões de uso da edificação.

No que compete ao campo da arquitetura, a economia de energia em edificações é determinada sobretudo pela envoltória, pois esta atua sobre as trocas térmicas entre os ambientes internos e externos, buscando minimizar ou mesmo eliminar a necessidade de incorporação de equipamentos mecanizados e de elevado consumo energético para a promoção do conforto ambiental dos seus usuários.

Essa correta especificação da envoltória está diretamente associada à análise preliminar das condições geográficas, climáticas e do entorno; aspectos abordados pela corrente denominada arquitetura bioclimática e que fundamenta o presente trabalho.

2.2.1 Arquitetura bioclimática

A arquitetura bioclimática busca o estabelecimento de uma relação harmoniosa entre as construções e o clima local, garantindo condições de conforto térmico e luminoso no interior dos edifícios. Está diretamente associada ao estudo minucioso das variantes de clima, local e humanas, devendo esses aspectos serem considerados desde o início da concepção projetual. Segundo Romero (2000), a arquitetura bioclimática tem na arquitetura vernácula os antecedentes dos elementos que fornecem respostas adequadas para o homem se relacionar com o meio ambiente.

A primeira definição de arquitetura bioclimática empregada surgiu nos anos 1960, a partir da expressão “projeto bioclimático”, o qual é associado aos estudos das condições de conforto térmico humano desenvolvidos pelo arquiteto Victor Olgyay (2006). O trabalho de Olgyay consistiu no desenvolvimento de uma metodologia para desenvolvimento de projetos que considerasse a análise dos dados climáticos do lugar, as soluções tecnológicas disponíveis, a avaliação biológica das sensações humanas e a aplicação arquitetônica dessas variáveis.

Segundo Lamberts et al.(2015), a prática arquitetônica deve incorporar sempre os princípios do bioclimatismo e analisar e avaliar as condições necessárias para a concepção do ambiente construído segundo as atividades humanas a serem desempenhadas, visando o estabelecimento de níveis de conforto ambiental adequados e menor dispêndio energético. Para tanto, o projeto arquitetônico deve buscar o atendimento de três ideias: utilização de sistemas naturais de condicionamento e iluminação, se possível; sistemas artificiais (equipamentos) mais eficientes e buscar a integração entre os sistemas natural e artificial. (LAMBERTS et. al., 2015, p. 259).

Para tanto, o projeto de arquitetura bioclimática deve fazer uso de estratégias que busquem a integração entre a arquitetura e o meio ambiente, tirando partido de aspectos como clima, vegetação, topografia, desenho urbano e soluções técnicas mais eficientes. Além do meio ambiente, o projeto bioclimático deve considerar como outras variáveis referenciais da própria arquitetura e variáveis humanas.

Dentre as variáveis arquitetônicas a serem consideradas estão a forma da edificação, função, fechamentos opacos, fechamentos transparentes, sombreamento da edificação, cores, sistemas de climatização, sistemas de aquecimento de água, sistemas de ventilação natural, massa térmica dos materiais, carga térmica.

As variáveis climáticas a serem consideradas são a radiação solar, latitude, altitude, ventos, massas de ar, temperatura e umidade. As variáveis humanas geralmente estão associadas ao conforto térmico, podendo decorrer de oscilações ambientais, atividade física e vestuário; e de conforto visual como a influência do nível de iluminação, contraste e ofuscamento, por exemplo.

Para Corbella (2011), a arquitetura bioclimática considera a envoltória da construção como uma “membrana reguladora” que separa os ambientes interno e externo e que possui como objetivo proporcionar um ambiente interno confortável para seus usuários. A envoltória, portanto, é o ponto de partida para a determinação da eficiência energética e para avaliação da necessidade de aquecimento, ventilação ou resfriamento de uma edificação, necessária para a determinação do conforto ambiental interno.

2.2.2 Conforto ambiental nas edificações

Conforme mencionado no capítulo anterior, Olgay (2006) foi um dos pioneiros no conceito que viria se denominar “arquitetura bioclimática” e a sua metodologia de análise quadripartida (clima, biologia, tecnologia e arquitetura) para o desenvolvimento de projetos teve como um dos principais produtos a concepção de um gráfico bioclimático no qual são inter-relacionados os dados do clima externo e a zona de conforto para o usuário. A determinação da zona de conforto, que além das variáveis analisadas já mencionadas envolve também o metabolismo humano e tipo de vestimentas por exemplo, deu origem ao estudo mais aprofundado das interações homem – clima. Para Olgay, em regiões geográficas de climas mais quentes existe um maior limite para a zona de conforto humano devido à aclimação.

O trabalho de Olgay serviu de base para que Givoni aprofundasse o tema ao analisar, nos anos 1970, os elementos de trocas térmicas entre o homem e o seu ambiente como respostas fisiológicas e sensoriais aos fatores ambientais e, também, a relação entre a superfície externa dos edifícios – a envoltória - e os efeitos das variáveis climáticas a partir da análise das propriedades termofísicas dos materiais do edifício. Exemplos dessas propriedades são a condutibilidade e condutância térmica e o coeficiente de superfície.

O produto dessas análises de Givoni foi um gráfico mais detalhado que o diagrama proposto por Olgay, no qual expõe as relações entre os elementos característicos de determinados climas e os limites da zona de conforto humano, a qual foi denominada Carta Bioclimática para Edifícios.

Em 1992 Givoni propôs uma adequação de sua carta bioclimática para países em desenvolvimento, a qual teve os limites máximos da zona de conforto ampliados em virtude de uma maior aceitação de limites de conforto mais flexíveis em virtude da menor utilização de sistemas de condicionamento mecanizados. Segundo Lamberts et al. (2014), o conforto térmico em edifícios não condicionados depende muito da variação do clima externo e da experiência de uso dos habitantes e, portanto, pessoas que moram em edifício sem condicionamento de ar e naturalmente ventilados usualmente aceitam uma maior variação de temperatura e velocidade do ar como uma situação normal.

A carta bioclimática de Givoni, após a análise de metodologias de outros autores, acabou sendo adaptada para a caracterização do clima no Brasil, considerando a classificação de regiões do território segundo suas particularidades climáticas e recomendações de estratégias de projeto específicas. Esse trabalho deu origem ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), presente na norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) e detalhado em capítulo posterior. Apesar dessa norma tratar de um zoneamento bioclimático proposto para habitações unifamiliares de interesse social, o que é questionado por alguns autores como Roriz (2012), essa norma ainda é referência para diversos estudos e regulamentos de outros tipos de edificações.

Enquanto Givoni avalia as características climáticas e suas inter-relações com as estratégias necessárias para a obtenção do conforto, Fanger busca a determinação das zonas de conforto térmico do homem dentro dos edifícios. Para tanto, segundo Romero (2000), estudou as diferentes zonas de conforto para diversas atividades e vestimentas, buscando a determinação da zona de conforto a partir do sistema termorregulador do homem. Seu estudo, pautado na análise da sensação térmica para diferentes perfis de pessoas e variáveis ambientais, possibilitou a elaboração de uma equação para a obtenção do Voto Médio Predito ou em inglês *Predicted Mean Vote* (PMV), que é um valor numérico que indica a sensibilidade humana ao frio e calor.

A escala de valores do PMV variam de três positivo, correspondente ao calor, a três negativo, relacionado ao frio. O valor zero dessa escala corresponde ao conforto térmico de determinado ambiente segundo seus usuários. A escala de PMV de Fanger foi utilizada para a determinação do nível de conforto térmico dos ambientes internos do trabalho proposto, conforme determinado pelas norma de desempenho de edifícios habitacionais, a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

2.2.3 A importância da envoltória da edificação

A envoltória de uma edificação é diretamente responsável pelas trocas térmicas, acústicas e luminosas entre os ambientes internos e externos e pelo aspecto estético que esta deverá assumir. Segundo Roaf (2008), os edifícios constituem a nossa “terceira pele”, sendo que a primeira é a nossa própria pele e a segunda a uma camada de roupas adequadas ao contexto local. Quanto mais extremo é o clima local mais dependente o ser humano se torna dessa terceira pele e, pela mesma razão pela qual mudamos de roupas, os edifícios deveriam ser adaptáveis às variações climáticas locais, visando a otimização de seu consumo energético e o conforto de seus usuários.

Para o RTQ-C (ELETROBRÁS, 2015) a envoltória é o conjunto de elementos construtivos que estão em contato e que compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao meio externo. São consideradas exclusivamente as partes construídas acima do nível do solo, independente do material ou função da edificação, e basicamente são divididas entre paredes (vedações verticais) e coberturas (vedações horizontais). As aberturas e áreas envidraçadas tanto nos planos verticais como horizontais são consideradas para efeito de cálculo. O piso não faz parte da envoltória.

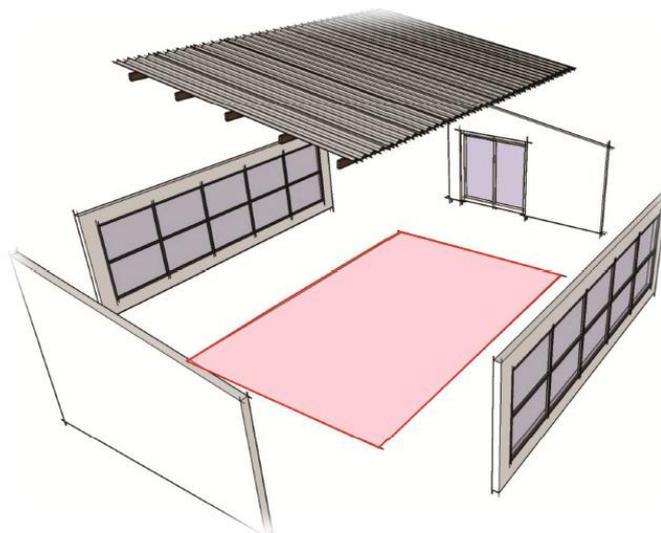


Figura 03 – Elementos que compõem a envoltória.

Fonte: RTQ-C (ELETROBRÁS, 2015) - adaptado

A concepção arquitetônica deve considerar, na fase de anteprojeto, quais as diretrizes funcionais, técnicas e estruturais que possibilitam o desenvolvimento de uma estratégia ambiental para a edificação, e tais definições que determinarão o consumo de recursos – materiais, água e energia – assim como a vida útil prevista para a edificação (JOURDA, 2012).

Segundo Keeler e Burke (p. 122, 2010), o projeto da envoltória é muito importante para a manutenção do ponto de equilíbrio da edificação, ou seja, para a manutenção do equilíbrio entre a temperatura do ar externo e interno sem a necessidade de recorrer à sistemas mecânicos de calefação ou refrigeração, à depender do porte e uso da edificação. Além da adequada seleção de materiais para o projeto da envoltória, a orientação das aberturas e os materiais de construção internos são fatores determinantes para a manutenção do conforto térmico interno. A envoltória também pode ser alterada com a incorporação de elementos de sombreamento externos e aberturas operáveis, possibilitando a mudança na configuração e características dessa “pele” conforme as estações do ano.

As características do envoltório que podem aumentar ou minimizar os ganhos de calor são as cores do envoltório, as propriedades térmicas de materiais e componentes como vidros, paredes e coberturas, e a exposição ao ambiente externo, como a ausência de sombreamento ou o contato de grandes superfícies do edifício com o exterior. As características do envoltório são, em geral, comuns em todas as análises sobre eficiência energética de edificações, com pequenas variações de um estudo para outro. (CARLO, 2008, p. 23)

Segundo Roméro (2001), a intensidade de radiação solar transmitida para o interior da edificação depende da capacidade de conservar calor da envoltória e das características de materiais de acabamento associadas a sua cor, pois as propriedades de absorção ou reflexão podem ser modificadas segundo a cor aplicada.

Para Jourda (2012), uma boa proporção entre as superfícies envidraçadas ou aberturas e as superfícies opacas nas fachadas permite a obtenção de bons índices de iluminação natural sem, necessariamente, comprometer de maneira significativa o desempenho térmico da envoltória. O equilíbrio entre as necessidades de iluminação, insolação eficiente e um balanço das interferências na insolação das fachadas decorrentes do entorno imediato são elementos que devem obrigatoriamente compor os cálculos relacionados às envoltórias das edificações.

Além dos aspectos técnicos relacionados ao conforto ambiental, é necessário considerar os custos que envolvem a execução das envoltórias de uma edificação. Segundo Mascaró (2006, p.38), “os planos verticais e horizontais que envolvem uma edificação são normalmente mais caros que os similares internos, sendo que em determinados casos os planos verticais externos atingem custos de três a cinco vezes o dos similares internos”.

Por essa razão, esse autor defende o estudo volumétrico da edificação de forma a minimizar as superfícies expostas ao exterior como forma de economia de recursos materiais de construção e também de manutenção e uso, visto que estes sofrem desgastes decorrentes das variações climáticas e devem assegurar as qualidades especificadas em projeto ao longo de sua vida útil prevista.

Em estudos de edifícios habitacionais, dos custos totais da edificação, aproximadamente 45% refere-se à participação dos planos verticais - inclusos a parte vertical da estrutura e fundações, alvenarias, aberturas, revestimentos interno e externo e pintura. Desse total, as fachadas representam entre 15 a 20% do custo total do edifício (MASCARÓ, 2006. p. 68).

No caso dos elementos que formam os planos horizontais – a parte horizontal da estrutura e fundações, telhado, pisos e parte horizontal de revestimentos e pintura – correspondem a aproximadamente 27% do custo total da edificação (MASCARÓ, 2006. p. 45). Três fatores podem contribuir para a variação dos percentuais apresentados, que são: os materiais e sistemas construtivos empregados, o tamanho médio dos ambientes que determina a quantidade em área das paredes e a forma dos compartimentos e do edifício.

Apesar dos dados expostos reproduzirem uma pesquisa em edifícios habitacionais, a importância dos valores das fachadas na constituição de custo final da edificação é um fator a ser considerado, mesmo considerando que o objeto de estudo dessa pesquisa é um edifício escolar. Como o objeto do estudo de caso é um modelo de escola pública padrão a ser reproduzida em série, a economicidade na seleção de materiais para a envoltória é item primordial para as análises realizadas.

Além dos materiais construtivos das paredes e coberturas, serão considerados para efeito de análise do desempenho termo energético o emprego de elementos de proteção solar externos para os distintos casos estudados.

Segundo a NBR 15215-1 (ABNT, 2005), um protetor solar é um “elemento de controle de superfície continua opaca que protegem o componente da passagem contra os raios diretos do sol, podendo refletir luz natural para o interior”; podendo ser na forma de beirais, marquises, quebra-sol, *brise soleil*, etc.

São elementos fundamentais para impedir a incidência direta da radiação solar no interior da edificação, impedindo o calor excessivo nos ambientes internos (OLGYAY, 2002).

A proteção solar é desejável para um espaço externo sempre que as condições externas estiverem dentro ou acima da zona de conforto da carta bioclimática. As edificações precisam de sombreamento sempre que a temperatura externa estiver acima do ponto de equilíbrio térmico da edificação. (BROWN e DEKAY, 2004, p.80)

Apesar do uso dos protetores solares externos poderem alterar o nível de iluminação natural dos ambientes internos, é fato que esses elementos proporcionam uma redução do ganho de calor solar maior do que soluções internas, como mostra a Tabela 01.

Tabela 01: Comparação percentual de redução de ganho solar entre diferentes sistemas de proteção solar

Fonte: CRUZ E SILVA (2011) – adaptado

SISTEMA DE PROTEÇÃO SOLAR	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DOS GANHOS DE CALOR SOLAR (em vidro simples transparente de ¼")
Brise-soleil	75 a 90%
Vidros e películas reflexivas	37 a 68%
Vidros com pigmentos reflexivos	26 a 37%
Persianas internas de cores brilhantes com palhetas semi-abertas	30%
Persianas internas cores médias com palhetas semi-abertas	22%
Cortinas internas translúcidas	54%
Cortinas internas opacas de cores claras	59%
Cortinas internas opacas de cores escuras	15%

De maneira geral, a análise de eficiência energética de envoltórias baseia-se em características comuns e em componentes presentes na construção civil brasileira. As principais variáveis segundo Nicoletti (2009), e que deram origem a equações de estimativa de consumo de energia são:

- Razão da área do telhado pela área total (A_{cob}/A_{tot});
- Razão da área da fachada pela área total ($A_{fachada}/A_{total}$);
- Percentual de janelas na fachada (PJF ou WWR – do inglês *Wall Window Ratio*);
- Fator de projeção de brises horizontais (FP);
- Coeficiente de sombreamento de vidros (CS);
- Transmitância térmica da cobertura (U_{cob});
- Absortância do telhado à radiação solar (α_{cob});
- Densidade de carga interna (ILD).

Essas variáveis, entre outras, são a base do método de cálculo do desempenho termo energético da envoltória adotada pelo RTQ-C e que será abordado em detalhes em capítulo posterior.

2.3 Sistemas de certificação da eficiência energética em edificações

Os sistemas de certificação surgiram da necessidade de comprovação e verificação do nível de sustentabilidade de uma edificação; são guias referenciais que estabelecem parâmetros para o setor da construção, sejam nacionais ou internacionais. A questão da certificação de edificações todavia ainda é permeada de receios e críticas, sobretudo quanto ao efetivo nível de sustentabilidade que tais títulos podem assegurar ao edifício.

Para KWOK e GRONDZIG (2013), a sustentabilidade estaria associada apenas aos edifícios de alto desempenho e que vão além dos requisitos mínimos exigidos pelos sistemas de certificação vigentes; projetos que abordam de uma forma mais completa as relações entre os diversos sistemas e operações de manutenção envolvidas.

No entanto, apesar das críticas, os sistemas de certificação são um passo adiante e necessário para uma maior conscientização dos agentes envolvidos e da sociedade acerca dos potenciais impactos inerentes à execução de uma edificação.

KWOK e GRONDZIG (2013, p. 2, 2013) destacam que os sistemas de certificação podem “fornecer orientações de projeto, servir como ferramenta de tomada de decisão, fornecer sistemas de mensuração do impacto ambiental; além de promoverem um processo de projeto mais integrado, redução dos impactos ambientais e contribuir para mudanças importantes na indústria da edificação.”

Para Edwards (2005), os sistemas de certificação funcionam como um quantificador ecológico que servem como guias para a boa prática arquitetônica, colaborando para a saúde da edificação e facilitando o trabalho do arquiteto ao evitar a análise minuciosa de todos os aspectos envolvidos.

Os primeiros sistemas de certificação para edificações surgiram nos anos 1990, como resposta a uma crescente preocupação com as questões de responsabilidade ambiental das edificações nos países desenvolvidos. No Reino Unido surgiu o pioneiro BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*) em 1990, que serviu como base para a criação de outros sistemas como o *Green Globes* do Canadá (1996) e o *Green Star* da Austrália (2003).

Também baseado no BREEAM, em 1993 foi criado nos Estados Unidos o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e sua crescente divulgação e aceitação pela indústria da construção e mercado fez com que este fosse amplamente divulgado e exportado para outros países do mundo, inclusive o Brasil.

O emprego de sistemas de certificação de origem estrangeira no país, sobretudo em edificações de uso institucional e comercial, suscitou questionamentos acerca da validade da utilização de um sistema concebido para outros climas e realidades construtivas (BUORO et al., 2015).

A necessidade do desenvolvimento de sistemas de classificação que refletissem de forma mais realista e adequada ao cenário nacional fez com que fossem desenvolvidos estudos e leis visando a regulação do consumo energético nas edificações, o que posteriormente resultou na elaboração de sistemas de classificação de qualidade adequados ao contexto nacional.

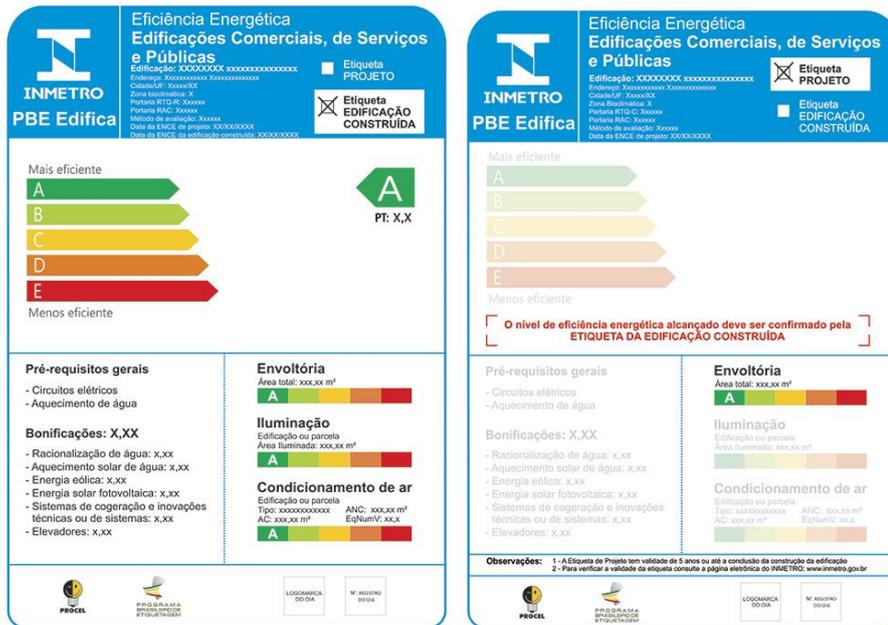
2.4 Legislação Brasileira: programas para a conservação de energia em edifícios

No Brasil, as primeiras medidas relacionadas à conservação e uso racional de energia surgiram na década de 1980, através da implementação em 1984 do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) pelo Instituto Nacional de Metodologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO); cujo objetivo inicial foi informar o consumidor sobre a eficiência energética de aparelhos e equipamentos através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE (LAMBERTS et al., 2015)

Em virtude da crise de energia ocorrida no país em 2001, o documento pioneiro da legislação brasileira no que tange a eficiência energética foi a Lei nº 10295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia (BRASIL, 2001a) com a regulamentação desta Lei com o Decreto nº4059. Tais documentos estabeleceram níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, sendo as edificações construídas incluídas no anexo da mesma lei (BRASIL, 2001b).

A partir desse momento que foram formados grupos técnicos que passaram a elaborar e regulamentar os parâmetros para a avaliação de eficiência energética de edificações sendo que, em 2003, viria a ser criado o PROCEL Edifica, órgão governamental responsável pela coordenação dos diversos pesquisadores sobre o tema.

O INMETRO veio a integrar a equipe em 2005 e veio a definir o processo para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) utilizada para aferir as edificações e que integra o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Nas Figuras 04 e 05 estão apresentadas etiquetas da envoltória emitidas pelo PROCEL Edifica.



Figuras 04 e 05 – ENCE Geral e ENCE Parcial da Envoltória

Fontes: PBE Edifica (2015)

Para a obtenção da ENCE para edificações comerciais e de serviços, são avaliados os seguintes itens: envoltória, sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificial. Nesse sistema de etiquetagem é possível a obtenção de uma etiqueta parcial, na qual são avaliados isoladamente cada um dos sistemas, e a total, na qual é aferida uma pontuação final que resulta de uma média entre os três itens avaliados; além de possíveis bonificações adicionais através do emprego de outras tecnologias sustentáveis na edificação. As etiquetas são similares às do programa de etiquetagem energética de equipamentos e veículos, e se distribuem entre os níveis A (maior eficiência) a E (menor eficiência).

Além da criação do PBE Edifica, outra medida que contribuiu para o desenvolvimento da análise de edificações foi a publicação em 2005 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) - Norma de desempenho térmico de edificações para habitações unifamiliares de interesse social. Essa norma estabeleceu diretrizes projetuais e construtivas aplicáveis às diferentes regiões do país, com a definição do Zoneamento Bioclimático Brasileiro adaptado da carta bioclimática de Givoni. Apesar de essa norma ser voltada para habitações unifamiliares, as definições do zoneamento bioclimático se aplicam a outras normas e regulamentos elaborados posteriormente.

Em 2013 entrou em vigor a NBR 15575 (ABNT, 2013) - Norma de desempenho de edificações habitacionais que é baseada nas diretrizes definidas pela NBR 15220

(2003), porém utiliza como critério de avaliação de desempenho térmico a determinação de valores limites para a temperatura do ar no interior da edificação, para os períodos de verão e inverno. Essa norma foi validada em julho de 2013, passando a ser obrigatório o atendimento para projetos e obras posteriores a data de publicação. Essas duas normas são referenciais para a tomada de decisões do presente trabalho.

Em 2014 foi instituída a obrigatoriedade da etiquetagem de todos os edifícios públicos federais acima de 500 m², sejam novos ou em processo de reforma, através da utilização da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) definida pela publicação da Instrução Normativa MPOGSLTI Nº2 de 05 de junho de 2014. Segundo esse documento as edificações novas devem obter obrigatoriamente o nível de projeto classe “A”, assim como a sua construção deve atingir o mesmo nível.

Para as obras de reforma ou *retrofit*, a obrigatoriedade da obtenção do nível “A” prevalece para os sistemas individuais de iluminação e condicionamento de ar. A envoltória, por se tratar de ser parte da estrutura física permanente do edifício, é vedada apenas a restrição de redução da classe de eficiência da edificação existente e recomendada a obtenção do maior nível possível.

Ou seja, a Instrução Normativa pressupõe que o melhor desempenho energético da envoltória possui um impacto menor na eficiência global do que o dos demais sistemas constituintes da ENCE, independente do contexto no qual a edificação esteja inserida e dos potenciais benefícios de uma intervenção na envoltória sobre os sistemas de climatização e iluminação.

Além da ENCE, outros programas de economia de energia patrocinados por órgãos governamentais, como o Programa de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), programa voluntário para redução do consumo energético em edificações, desconsidera o potencial impacto da envoltória para o ganho em termos termo energéticos do edifício. Nas diretrizes descritas no Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (ANEEL, 2008), são mencionados apenas a influência equipamentos, iluminação e sistemas de climatização como contribuintes para o consumo energético.

Concluindo, a visão predominante na legislação brasileira vigente é que a envoltória desempenha um papel secundário, e conseqüentemente a atividade do arquiteto e o seu projeto pouco são considerados para efeito da melhoria dos níveis de eficiência

energética em edifícios pré-existentes. Pelo fato da envoltória ser um requisito básico para a avaliação segundo o RTQ-C, e por ser um elemento diretamente relacionado com o projeto arquitetônico, esse trabalho buscou embasar sobre esse elemento a pesquisa desenvolvida.

2.5 Programa brasileiro de etiquetagem em edificações - PBE Edifica

2.5.1 Regulamento técnico da qualidade (RTQ-C)

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), oferece os procedimentos necessários para a obtenção da Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE) da edificação. Para tanto, esse regulamento avalia a eficiência de três sistemas da edificação: a envoltória, a iluminação e o condicionamento de ar. Esse regulamento é aplicável para edificações novas ou existentes, desde que possuam área construída superior a 500 m² ou tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV.

A classificação decorre do atendimento de pré-requisitos gerais e específicos de cada um desses sistemas. Além do atendimento desses itens, é possível a obtenção de bonificações à nota final através da incorporação de outros sistemas e equipamentos que venham a contribuir com a redução do consumo energético geral, como sistema de aquecimento solar de água ou com o uso de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia. Para a análise do nível de eficiência energética, o RTQ-C possui duas metodologias: o método prescritivo e o da simulação computacional.

No método prescritivo, são calculados os equivalentes numéricos, denominados Índices de Consumo (IC), respectivos para envoltória, iluminação e ar condicionado. São considerados para os cálculos ambientes condicionados naturalmente e artificialmente e áreas de longa permanência. A classificação dos sistemas é feita em cinco níveis, sendo o nível A o mais eficiente (correspondendo a 5 pontos) e o nível E o menos eficiente (correspondente a 1 ponto).

Para a obtenção da classificação final do edifício, que engloba os três sistemas, cada pontuação isolada é submetida a um peso para a composição da nota final, sendo 30% para envoltória, 30% para o sistema de iluminação e 40% para o sistema de condicionamento de ar. O maior peso na composição da classificação para os sistemas de ar condicionado decorre do maior impacto que causam no consumo energético dos edifícios, se comparado com os outros sistemas analisados.

Para a envoltória, objeto de análise dessa pesquisa, a classificação é feita através da determinação de um conjunto de índices referentes às características físicas da edificação, que compõem a “pele” do edifício como cobertura, fachadas e aberturas; complementados pelo volume, área de piso e área de fachadas da edificação, que são considerados para o cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv). Os componentes opacos e iluminação zenital são definidos como pré-requisitos e as aberturas verticais definidas através de equações. (ELETROBRAS, 2015).

As equações de ICenv foram criadas a partir de resultados de simulações computacionais desenvolvidas em pesquisas que simulam as diversas tipologias construtivas de edificações nacionais de uso comercial. Para uso destas equações, o cálculo do Percentual de Área de Aberturas nas Fachadas Total (PAFt) demanda que cada fachada tenha sua orientação geográfica escolhida conforme quatro orientações: Norte, Sul, Leste e Oeste. A fachada Oeste, que em diversas regiões brasileiras possui os maiores níveis de insolação, dever ser usada obrigatoriamente na equação caso o percentual de área de abertura nessa face seja 20% superior que o PAFt (ELETROBRÁS, 2015).

O sombreamento de aberturas no RTQ-C, através das proteções solares, é determinado pela média final dos ângulos verticais (AVS) e horizontais (AHS) de sombreamento de cada fachada, sendo que o ângulo máximo aplicável nessas equações é de 45° em qualquer cenário. No entanto, o regulamento tem uma preocupação quanto ao possível sobre-aquecimento dos ambientes internos decorrentes do uso de elementos de proteção excessivos, além do eventual prejuízo relacionado à penetração de luz natural nesses ambientes.

Além de limitar a aplicação dos elementos de proteção solar, os efeitos do sombreamento de outras edificações que fazem parte do mesmo conjunto, como blocos de diferentes alturas, ou mesmo outras obstruções do entorno, como edifícios e vegetação, não são considerados nas avaliações de sombreamento de aberturas pelo RTQ-C. Devido aos motivos expostos, o cálculo de eficiência energética para envoltória é limitado pois não explora todo o potencial de economia de energia que poderia advir dos elementos de sombreamento.

Já o método da simulação considera as características específicas da edificação para a geração de um modelo real, correspondente ao edifício de referência, e outros modelos propostos com incorporação de soluções e alterações em relação ao modelo

real. As simulações devem ser realizadas em programas (softwares) de análise de desempenho termoenergético específicos para edificações e atender às exigências da norma norte americana ASHRAE Standard 140, devendo possibilitar a modelagem de todas as horas para o período de um ano.

Além disso, as simulações devem adotar arquivos climáticos com dados horários relativos à temperatura, umidade, radiação solar e direção dos ventos que seja adequado à localidade onde o projeto em análise está localizado. No capítulo 3, onde é apresentada a Metodologia, são abordadas as variáveis necessárias para criação dos modelos de referência e propostos a serem simulados.

2.5.2 RTQ-C – pré-requisitos

Segundo o manual “Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas” (ELETROBRÁS, 2014) para o edifício obter a etiqueta de melhor eficiência, nível A, é necessário que cumpra os pré-requisitos gerais quanto aos circuitos elétricos, com separação por uso final ou equipamento instalado que possibilite medição por uso final, e aquecimento de água que comprove que a demanda de água quente é atendida por um sistema eficiente, como aquecimento solar ou a gás. Para a avaliação do nível de eficiência da envoltória segundo os métodos prescritivo e da simulação, será considerado que o edifício atende preliminarmente a esses pré-requisitos.

Para o RTQ-C, a envoltória é o conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior que delimitam os fechamentos dos ambientes internos em relação ao exterior; excluídos elementos ou espaços construídos abaixo do solo. Elementos exteriores de proteção solar como telas ou *brise-soleil* também não são considerados para o cálculo da envoltória; o que, segundo a Tabela 01, mostra que existe uma parcela significativa de proteção solar que não é considerada para os cálculos.

Além do cálculo da eficiência da envoltória, é necessário o atendimento de pré-requisitos específicos para o nível de classificação pretendido, segundo indicado na Tabela 02. São três os pré-requisitos para a envoltória: transmitância térmica da cobertura e paredes externas, cores e absorvância⁴ de superfícies e iluminação zenital.

⁴ A absorvância pode ser definida como a propriedade no material referente a parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada a cor. Quanto maior a absorvância, maior a parcela da energia incidente que se transforma em calor (ELETROBRÁS, 2015).

Tabela 02 – Síntese dos pré-requisitos para a envoltória.

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C – versão 4 (ELETROBRAS, 2015)

Nível de eficiência	Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Cores e absorvância de superfícies	Iluminação zenital
A	X	X	X
B	X	X	X
C e D	X		

A seguir seguem as descrições sobre os pré-requisitos para a envoltória segundo o método prescritivo do RTQ-C:

a) Transmitância térmica

Para o RTQ-C, transmitância térmica é a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de elemento ou componente construtivo, no caso das envoltórias, componentes opacos das fachadas ou coberturas. Está inclusa na resistência térmica as resistências superficiais interna e externa, provocadas pela diferença de temperatura entre os dois ambientes.

Um dos métodos de cálculo de transmitância adotado pelo RTQ-C é o da NBR 15220-2 (ABNT, 2005), que é adotado para esse trabalho. A unidade de medida para a transmitância térmica (U) é “W/m²K”, a qual corresponde ao inverso da resistência térmica de componentes.

Existem limites de transmitância térmica para cada Zona Bioclimática, que são específicos para edifícios condicionados e não-condicionados. No caso do edifício escolar não-condicionado e localizado na ZB-6, considerando o Nível A de etiqueta, seguem os limites para cobertura e paredes externas.

Tabela 03 – Limites de transmitância térmica para cobertura

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C – versão 3 (ELETROBRAS, 2015)

Limite de Transmitância Térmica para Cobertura (Nível A)	
Ambiente	Zona Bioclimática 6
Não Condicionado	2,00 W/m ² K

Tabela 04 – Limites de transmitância térmica para paredes externas

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C – versão 3 (ELETROBRAS, 2015)

Limite de Transmitância Térmica para Paredes Externas (Nível A)	
Ambiente	Zona Bioclimática 6
Não Condicionado	3,7 W/m ² K

Superfícies compostas por planos de vidro protegidas por superfícies opacas paralelas para a promoção do sombreamento não precisam atender ao pré-requisito de transmitância térmica, visto que os vidros não constituem superfícies opacas. Exemplos disso são: proteção solares que ocupam toda a fachada, pórticos, placas perfuradas, qualquer elemento paralelo de sombreamento, que esteja conectado a edificação. Entretanto, estes elementos devem estar fisicamente conectados ao edifício e com uma distância até o plano envidraçado inferior a uma vez a altura de seu maior vão. Esse afastamento entre os planos deve possuir proteção solar horizontal como beiral ou marquise.

b) Cores e absorvância de superfícies

Segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a absorvância térmica (α) é o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.” (p.3). Segundo a mesma norma, a cor é o principal determinante dessa propriedade e o RTQ-C define limites máximos para os materiais de revestimento externo de paredes e coberturas, segundo a Zona Bioclimática onde está localizada a edificação.

Para a ZB-6, onde se situa Goiânia, seguem os limites de absorvância térmica (Tabela 05).

Tabela 05 – Limites de absorvância térmica de superfícies

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C – versão 3 (ELETROBRÁS, 2015)

Limite de Absortância Térmica para Superfícies (ZB-6)	
Materiais de revestimento de paredes externas	$\leq 0,50$
Coberturas	$\leq 0,50$

c) Iluminação zenital

As aberturas zenitais permitem que a luz natural penetre nos ambientes internos, possibilitando a redução no consumo de eletricidade em iluminação, considerando aberturas geralmente localizadas na cobertura das edificações e com inclinação inferior a 60° em relação ao plano horizontal. Entretanto, tais aberturas não devem implicar em simultâneo incremento da carga térmica através da radiação solar.

Diante desse problema, foi definido o índice de Percentual de Abertura Zenital (PAZ) que corresponde à relação entre aberturas e a área de cobertura, e a relação entre esse índice é associada diretamente aos limites de Fator Solar (FS) dos vidros empregados. Quanto menor o PAZ, maior o FS passível de utilização. (Tabela 06)

O FS representa o quanto de calor um ambiente ganha através de uma abertura com a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Esse fator depende das transmitâncias do material, da sua absorvância e sua resistência superficial externa.

Tabela 06: Limites de Fator Solar e Percentual de Abertura Zenital para coberturas

Fonte: Manual RTQ-C - Versão 3 (ELETROBRAS, 2015)

Limites de Fator Solar (FS) de vidros e Percentual de Abertura Zenital (PAZ) 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	0,3

O limite máximo de PAZ estabelecido pelo RTQ-C é de 5%, sendo que esse valor pode ser maior desde que comprovado através do método da simulação de desempenho térmico da edificação. Também podem ser utilizados para aproveitamento da iluminação zenital aberturas em planos verticais nas quais a incidência direta da radiação solar seja menor durante as horas mais quentes do dia. No entanto, tais aberturas são contabilizadas como parte do Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFt).

2.5.3 RTQ-C - Método Prescritivo

O método prescritivo do RTQ-C para a envoltória, conforme mencionado anteriormente, classifica a sua eficiência baseado num Indicador de Consumo (IC) obtido através de duas equações específicas, definidas de acordo com a Zona Bioclimática (ZB), e que variam de acordo com a área de projeção da cobertura (A_{pcob}) da edificação, sendo a primeira para edifícios com área menor que 500 m² e a segunda para edifícios com área de projeção maior que 500m². Além da determinação da A_{pcob} , outras variáveis são necessárias para a determinação da eficiência energética da envoltória segundo o Método Prescritivo e estão listadas a seguir.

a) Fator Altura (FA)

É a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pcob}/A_{tot}). Para o RTQ-C, a Área de projeção da cobertura (A_{pcob}), desconsidera beirais e marquises que estejam fora do alinhamento do edifício. Já a Área Total Construída (A_{tot}) é a soma das áreas de piso dos ambientes fechados, contados a partir da face externa das paredes da envoltória.

b) Fator Forma (FF)

É a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (A_{env}/V_{tot}), sendo que a área da envoltória corresponde à soma das áreas das fachadas da edificação, sejam opacas ou não-opacas. O volume total da edificação é delimitado pelos fechamentos externos, multiplicando a área de projeção do edifício pela sua altura.

c) Fator Solar (FS)

Corresponde à razão de ganho de calor que entra em um ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nessa mesma abertura. Segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), a equação que determina o cálculo do FS é a seguinte:

$$FS_T = U \times \alpha \times R_{se} + T \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo: FSt é o fator solar dos elementos transparentes e translúcidos; U é a transmitância térmica do componente; α é a absorvância à radiação solar; R_{se} é a resistência superficial externa e T é a transmitância à radiação solar. Os dados relacionados às propriedades de materiais devem ser fornecidos pelos fabricantes e indicados em catálogo.

d) Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) e Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)

O sombreamento de aberturas pode ocorrer de forma horizontal, a qual é determinada pelo AHS, ou vertical, determinado pelo AVS. O AHS é formado entre dois planos verticais entre uma abertura e, para efeito de cálculo, é considerada a média do ângulo entre eles medido em planta. O AVS é indicado em corte e corresponde às proteções solares horizontais e seu efeito sobre uma determinada abertura. Ambas as medidas são em graus.

Importante destacar que o RTQ-C não considera o sombreamento proveniente de edificações vizinhas para a elaboração do cálculo. Também não são considerados elementos de proteção solar tais como pórticos, chapas, telas e outros elementos paralelos ao plano envidraçado, não sendo considerados esses elementos para o cálculo do AHS e do AVS.

e) Percentual de Abertura Zenital (PAZ)

Conforme já mencionado no item Iluminação Zenital, o PAZ corresponde à porcentagem de aberturas zenitais em relação à área da cobertura, desde que o Ângulo de abertura seja inferior a 60°.

f) Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAF_T)

O percentual de área de abertura na fachada total é obtido dividindo a soma das aberturas envidraçadas ou transparentes da fachada pela área total da edificação.

Esses ângulos devem obrigatoriamente ser entre 60° e 90°, pois caso seja inferior será considerado para o cálculo de PAZ. Deve ser descontada a área dos caixilhos e considerada o tamanho real da abertura em vista.

Para os casos de brises, são considerados fachadas opacas quando a sua abertura não ultrapassa a altura do vão e os mesmos estão conectados ao edifício. O PAF considerado nesses casos é apenas o percentual de vidro possível de ser visto ortogonalmente através da proteção solar, não sendo contabilizado como AHS ou AVS. (Figura 06)

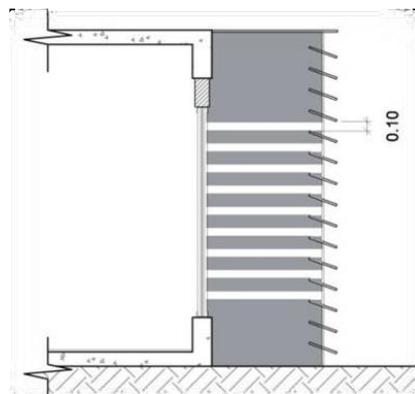


Figura 06: Parcela de abertura contabilizada para o cálculo do PAF

Fonte: Manual RTQ-C - Versão 3 (ELETROBRAS, 2015)

g) Determinação do nível de eficiência energética para a envoltória – Método Prescritivo

Para avaliar o nível de eficiência da envoltória, o regulamento estabeleceu um Indicador de Consumo (IC), que indica como a envoltória impacta no consumo de energia do edifício, associando as trocas térmicas entre os meios interno e externo para, em virtude da região onde se localiza a edificação, determinar se é necessário maior ou menor dispêndio de energia para a manutenção das condições de conforto e qualidade para os seus usuários.

As equações para a determinação do IC variam segundo dois fatores: a localização segundo a Zona Bioclimática onde está inserido o edifício, determinado pela NBR 152220-3 (ABNT, 2003); e a área de projeção da edificação (A_{pe}), havendo diferenciação entre áreas maiores e menores que 500 m².

Segundo o RTQ-C, equações onde a $A_{pe} > 500m^2$, são válidas para o Fator de Forma mínimo permitido (A_{env}/V_{tot}), e onde $A_{pe} < 500m^2$, utiliza-se o FF máximo. Acima ou abaixo desses, utiliza-se os valores limites.

O município de Goiânia, onde está localizado o edifício objeto de estudo, situa-se na Zona Bioclimática 6 (ZB-6), que possui semelhanças com a ZB-8 e cujas equações para cálculo do IC estão listadas abaixo:

Equação para Zona Bioclimática 6 e 8:

$A_{pe} < 500m^2$, Limite de forma máximo (A_{env}/V_{tot}), = 0,48

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

$A_{pe} > 500m^2$, Limite de forma máximo (A_{env}/V_{tot}), = 0,17

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

Uma vez determinado e calculado o Indicador de Consumo (IC) correto, devem ser realizados os cálculos dos limites máximo (ICmáxD) e mínimo (ICmín) do indicador de consumo, segundo os dados da Tabelas 07 e 08.

Tabela 07: Parâmetros do IC Máximo

Fonte: Manual RTQ-C - Versão 3 (ELETROBRÁS, 2015)

Parâmetros do IC máxD			
PAFT	FS	AVS	AHS
0,6	0,61	0	0

Tabela 08: Parâmetros do IC Mínimo

Fonte: Manual RTQ-C - Versão 3 (ELETROBRÁS, 2015)

Parâmetros do IC mínimo			
PAFT	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

A partir dos limites delimitados pelo $IC_{máxD}$ e IC_{min} são estabelecidos os limites dentro dos quais a edificação deve estar inserida, sendo dividido um intervalo em quatro partes iguais segundo a equação 3.

$$I = \frac{IC_{máxD} - IC_{min}}{4} \quad Eq. 2$$

Após a determinação dos limites e intervalos, os resultados são aplicados segundo a equação para cada nível de etiqueta, conforme a Tabela 09. Ao comparar os resultados do IC_{env} obtido com os dados de projeto, chega-se ao nível de eficiência da envoltória do projeto.

Tabela 09: Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Fonte: Manual RTQ-C - Versão 3 (ELETROBRAS, 2015) – adaptado de MOREIRA, 2015.

Limites dos intervalos dos níveis de eficiência					
Eficiência	A	B	C	D	E
Límite mínimo	-	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Límite máximo	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	-

2.5.4 RTQ-C - Método simulação

A simulação computacional compara o desempenho do edifício proposto (real) com um edifício similar (de referência), cujas características estão de acordo com o nível de eficiência desejado. No RTQ-C, entretanto, o processo de simulação da edificação utiliza um modelo real e quatro outros modelos de referência com características distintas e separadas de acordo com o nível de eficiência energética – A, B, C, D ou E. As características e parâmetros empregados nos modelos de referência são obtidos através do método prescritivo conforme os mesmos níveis de eficiência. (ELETROBRAS, 2015, p. 176).

A metodologia do RTQ-C utilizada para a modelagem dos modelos real e de referência pressupõe que alguns parâmetros sejam comuns para possibilitar a comparação e avaliação dos sistemas. Os arquivos devem ser criados no mesmo programa de simulação; utilizar o mesmo arquivo climático; possuir a mesma geometria e dimensões; mesma orientação em relação ao Norte Geográfico; mesmo padrão de uso de pessoas e atividades; mesmo padrão de uso e operação de sistemas; e o mesmo valor de Densidade de Carga Interna (DCI) em equipamentos e iluminação e o mesmo

tipo de sistema de condicionamento de ar para todas as opções modeladas (ELETROBRÁS, 2015, p. 180 e 181). Em suma, os resultados de uma simulação para avaliação de medidas de redução de consumo de energia devem ser analisados em comparação com os resultados de simulação de edificação de referência nas mesmas condições de ocupação e clima (HERNANDEZ, 2015, p.292).

Como o edifício analisado não possui sistema condicionamento de ar mecânico, foi realizada a simulação apenas para a obtenção da Etiqueta Parcial da Envoltória, sendo considerada a ventilação natural e o Percentual de horas Ocupadas em Conforto (POC) segundo o nível pretendido.

Os resultados das simulações termoenergéticas para as condições ambientais determinadas por estratégias passivas, como no caso do edifício analisado, viabilizam a quantificação do potencial de uso dessas estratégias, com a identificação do total de horas em que os espaços internos apresentam condições de conforto térmico, segundo os padrões pré-estabelecidos para a localidade em estudo (GONÇALVES, 2015, P. 298). O método da simulação aplicado ao edifício estudado está descrito em detalhes no capítulo 3.4.

2.5.5 Estudos realizados sobre o RTQ-C

Carlo (2008) propôs uma metodologia de avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações comerciais e institucionais, porém condicionados artificialmente. Para tanto, baseou-se no estudo de sistemas de classificação internacionais, especificamente no relativo à envoltória de edificações, para elaborar a metodologia de trabalho. A partir do estudo de campo de edificações localizadas em cinco cidades de distintas regiões do país, foram concebidos modelos de edifícios a serem simulados, criados a partir de um levantamento fotográfico de edifícios existentes e por tipo de atividade.

Essas informações forneceram dados relativos à forma, áreas de janelas, número de pavimentos, existência de proteções solares, entre outros e a criação de cinco protótipos volumétricos genéricos separados por tipo de uso. Apesar da tipologia escolar estar inserida em um dos protótipos criados, os seus resultados são genéricos e por isso não foram considerados para efeitos comparativos com a edificação estudada. Entretanto, a metodologia de cálculo do índice de eficiência da envoltória presente nesse trabalho foi posteriormente adotada e incorporada ao RTQ-C.

Nicoletti (2009), propôs o *retrofit* da envoltória de um edifício que abriga um Ministério em Brasília, visando a otimização de seu desempenho termo energético, utilizando-se das metodologias prescritiva e simulação, que viriam a ser incorporadas pelo RTQ-C, para a posterior classificação segundo a ENCE. Apesar das limitações impostas por se tratar de um edifício tombado e que faz parte de um conjunto emblemático para a arquitetura brasileira projetado por Oscar Niemeyer, as análises e simulações realizadas concluíram que as grandes janelas envidraçadas da envoltória são as maiores responsáveis pelos ganhos térmicos da edificação.

Os modelos simulados consideraram variações no Percentual de Abertura das Fachadas (PAFt) e no Fator Solar (FS) dos vidros para a proposição do *retrofit* da envoltória. Além da classificação dos modelos segundo a ENCE, esse trabalho também realizou a análise financeira do custo-benefício de implementação das medidas propostas, considerando o tempo de retorno do investimento para cada um dos níveis de etiqueta obtidos como fator determinante para a viabilidade de uma solução.

Santos (2009), desenvolveu a análise da envoltória e do sistema de iluminação para um edifício público de escritórios a ser construído na cidade de Belo Horizonte para avaliação do desempenho de sistemas de fachadas e de proteções solares. Utilizou a metodologia do RTQ-C para a análise dos resultados, empregando para esses dois sistemas o método prescritivo e da simulação termo energética.

Diante dos resultados, foram propostas modificações nos modelos simulados de forma que a edificação atingisse a ENCE nível “A” nos dois critérios analisados. Considerou diferentes soluções de proteção da envoltória para as distintas orientações solares, com simulações de casos com diferentes sistemas de fachadas com ou sem a incorporação de elementos de proteção solar, associando tais resultados ao desempenho da iluminação artificial. Por se tratar de um edifício de grandes dimensões, no caso um Tribunal de Justiça, com planos verticais predominantemente envidraçados e o edifício climatizado mecanicamente, o trabalho contemplou diversas possibilidades de elementos de proteção solar das fachadas.

O mesmo trabalho comparou através de simulações o desempenho de diversos tipos de elementos de proteção solar, como brise-soleil e prateleiras de luz, associados às fachadas de envidraçadas de diferentes tipos de vidros (duplo, simples, low-E), calculados segundo a metodologia do RTQ-C; comparando o ganho de calor e consumo de energia total e com iluminação para essas distintas soluções.

Por se tratar de um edifício com fachadas envidraçadas em todas as orientações, os elementos de proteção solar possuem comportamentos distintos e efeitos diversos segundo a orientação e tipo de pele a que estão associados, e por isso o enfoque maior do trabalho na associação de envoltória e diversos sistemas de controle solar.

Esse trabalho destacou que os dispositivos de proteção solar das aberturas, tanto horizontais como verticais, possuem um pequeno peso na equação de Indicador de Consumo (ICenv), o que através das simulações realizadas mostrou-se uma falha do regulamento. Considerando as quatro fachadas de estudo para o ambiente padrão analisado, o autor aponta a possibilidade de redução de até 12,9% do consumo energético em relação ao edifício real, sendo que para orientações isoladas esse percentual de redução poderia ser ainda maior.

Em comum, os trabalhos de Nicoletti (2009) e Santos (2009) abordaram edificações com atividades de escritório, que fazem uso intensivo de equipamentos de climatização do ar e que supostamente dispõem de recursos que possibilitam a incorporação de elementos arquitetônicos ou tecnologias mais sofisticadas para a melhoria do consumo energético.

Esses trabalhos foram importantes pois expuseram aspectos a serem considerados ao analisar uma edificação escolar, como a importância da aplicação de elementos de controle solar ou as variações decorrentes da mudança do Fator Solar para vidros mais eficientes porém, em virtude das limitações de recursos inerentes à administração pública, sobretudo na esfera municipal, nem todas as soluções incorporadas nos modelos simulados são condizentes com a realidade dos edifícios públicos.

Knop (2012) empregou o RTQ-C para a classificação de edifício histórico institucional, do início do século XIX, localizado na cidade de Pelotas – RS. Teve como desafio a construção de um modelo sem uma base de dados disponível acerca das propriedades físicas dos materiais encontrados na edificação, sendo necessário recorrer a levantamentos ou ensaios para identificação de propriedades como calor específico e condutividade térmica dos materiais. Esse estudo, assim como o presente trabalho, em virtude do edifício ser naturalmente ventilado utilizou como ferramentas para análise do conforto térmico o índice de Fanger (PMV) e o modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2010) para a determinação dos níveis aceitáveis para os usuários, para vários ambientes da edificação, considerados para um dia típico de verão e inverno.

Posteriormente, para a análise da eficiência energética do RTQ-C, foi considerado o POC (Percentual de horas Ocupadas em Conforto) que resulta no EqNumV (equivalente numérico de ventilação) para todo o edifício. Além das análises da envoltória e a proposição de medidas corretivas associadas ao conforto térmico e desempenho da envoltória, esse trabalho abordou a classificação do sistema de iluminação da edificação propondo soluções em função do tempo de retorno financeiro dos investimentos.

Tavares (2012) realizou a aplicação da avaliação segundo o RTQ-C para um edifício localizado em Uberlândia, e teve como desafio inicial a identificação e criação do arquivo do ano climático de referência (TRY) da localidade assim como a sua carta bioclimática, visto que não existiam tais dados necessários para a realização das simulações.

A edificação, que faz parte de um campus universitário e possui áreas climatizadas artificialmente e não climatizadas, utilizou como metodologia para a comprovação do POC a desenvolvida por Negreiros (2010), que é mais apropriada a edificações naturalmente ventiladas pois existe uma tendência natural à adaptação humana às condições climáticas do ambiente. Essa flexibilidade na análise do percentual de horas de conforto foi considerada para as análises realizadas no presente trabalho.

3. METODOLOGIA

Este trabalho adotou como metodologia de avaliação do desempenho termoenergético da envoltória o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, para um edifício escolar padrão localizado no município de Goiânia-GO.

Em um primeiro momento, foi realizada a classificação e etiquetagem da envoltória da edificação segundo o método prescritivo do Regulamento tendo como base o edifício real. Após essa análise preliminar, foram realizadas simulações computacionais de desempenho termoenergético da envoltória, com a criação de modelos propostos utilizando diferentes materiais para paredes e cobertura segundo as recomendações das normas NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Após a simulação dos diferentes cenários, os modelos simulados foram submetidos à etiquetagem da envoltória segundo a ENCE. Os resultados obtidos foram comparados com o modelo original em função do desempenho termo energético. Seguem os passos da metodologia de trabalho:

1. Pesquisa bibliográfica em teses, dissertações e artigos relacionados ao tema;
2. Caracterização da edificação através dos projetos arquitetônicos fornecidos pela Prefeitura de Goiânia;
3. Visita a uma escola padrão para levantamento in loco de características físicas;
4. Cálculo da eficiência da envoltória segundo o método prescritivo do RTQ-C e nível de etiqueta ENCE obtida;
5. Seleção dos sistemas de vedação vertical e cobertura para os modelos a serem simulados segundo recomendações e critérios extraídos do RTQ-C e normas de desempenho (NBR 15575-1:2013 e NBR 15220-3:2005);
6. Cálculo da eficiência da envoltória segundo o método da simulação do RTQ-C considerando os modelos real e propostos com a utilização do *software* DesignBuilder para a realização das simulações termoenergéticas;
7. Análise dos resultados da simulação computacional considerando os dias típicos de verão e inverno para a caracterização das temperaturas internas e determinação do índice PMV;
8. Avaliação segundo o RTQ-C e classificação da ENCE para o modelo real e o melhor cenário obtido através das simulações.

Para a melhor compreensão da metodologia empregada na presente dissertação foi elaborado o esquema, apresentado na Figura 07.

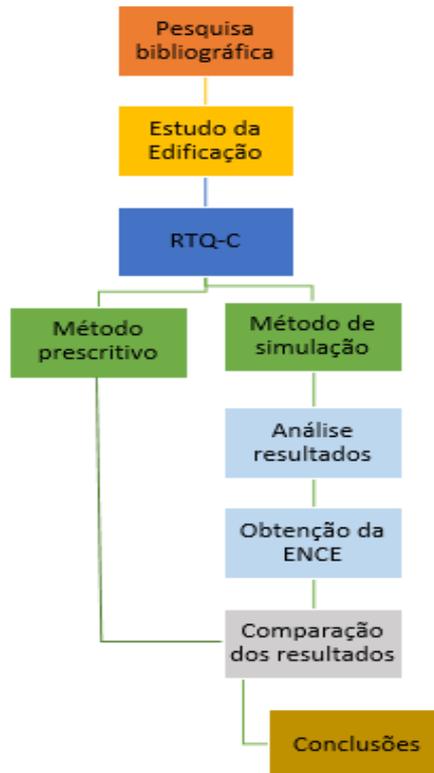


Figura 07: Esquema da metodologia adotada para o trabalho

3.1. Caracterização do objeto

3.1.1 Caracterização da edificação

A pesquisa é baseada no estudo de caso de um bloco de salas de aula padrão para escolas de ensino municipal desenvolvido pelo departamento de projetos da Secretaria Municipal de Obras (SEMOB) da Prefeitura de Goiânia, cujo projeto está disponível no Anexo I. O projeto arquitetônico em questão foi desenvolvido no ano de 1998 e passou por revisões pontuais, sendo a última em 2009 visando o atendimento de questões relativas à acessibilidade. Em nenhum momento no decorrer das revisões foi realizada uma análise da eficiência energética dessa edificação.

A seleção do objeto de estudo foi iniciada com a escolha de um tipo de edificação escolar padrão a partir de conversas realizadas junto à Secretaria de Educação e à

SEMOB. Após esse contato, foi verificado que existiam dois projetos padrão de escolas municipais - as de ensino infantil e as de ensino fundamental e médio. Em função do maior número de unidades construídas e por sua abrangência, pois podem atender até três turnos, foi selecionado o padrão de escolas de ensino fundamental e médio como objeto dessa pesquisa.

Após a definição do tipo de escola a ser estudado, foram realizadas visitas in loco em algumas escolas para verificação de materiais adotados e condições gerais de manutenção. Também foi obtido o projeto arquitetônico em formato CAD e o memorial descritivo junto ao órgão responsável e, a partir desse projeto, foi realizado um modelo tridimensional no software DesignBuilder para a posterior análise de desempenho termo energético.

A escolha de apenas uma tipologia de blocos dentre as diversas que compõem uma escola – visto também existem blocos padronizados para a administração, refeitório, laboratórios e biblioteca – deve-se ao fato deste ser a essência da escola e local de maior permanência em horas pelos alunos e professores. Outro fator deve-se à impossibilidade de implantação dos demais blocos em terrenos exíguos em área, de forma que nem todos os grupos escolares do município podem dispor de todos os blocos específicos, porém sempre possuem o de salas de aula. (Figuras 08 a 12)



Figuras 08 e 09: Imagens de bloco de salas de aula padrão da Prefeitura de Goiânia - E.M. Dalísia Doles

Fonte: Fotos do autor (2014)



Figuras 10,11 e 12: Imagens de bloco de salas de aula padrão da Prefeitura de Goiânia - E.M. Barravento
 Fonte: Fotos do autor (2015)

O bloco de salas padrão pode ser fragmentado para se ajustar a terrenos mais compactos, podendo resultar em módulos menores de 10, 8, 6 e 4 salas de aula, térreo ou com dois pavimentos, possibilitando a sua utilização em diversas situações. Todos os blocos seguem o mesmo padrão construtivo e de acabamento, com pilares, vigas e lajes de concreto; telha cerâmica tipo “plan” e alvenarias externas e internas em tijolo maciço “marombado” conforme especificações do memorial descritivo da Secretaria de Infraestrutura da Prefeitura de Goiânia (SEINFRA, 2009).

O bloco de salas de aula padrão analisado possui área construída total de 987,56 m², distribuída entre dois pavimentos, térreo e superior. A projeção de sua cobertura possui 65,50 metros no sentido longitudinal e 9,30 metros no transversal. Possui doze salas de aula de 48,00 m² cada, sendo distribuídas seis salas por pavimento. Além das salas de aula, o bloco dispõe de dois sanitários por pavimento e escada e corredores abertos.

O memorial descritivo do projeto padrão de escolas municipais da Prefeitura de Goiânia (SEINFRA, 2009) é bastante sucinto e impreciso, apresentando poucas

especificações acerca das propriedades dos materiais a serem utilizados, sem referências a laudos ou estudos que embasem o porquê da seleção dos materiais. Essa falta de informações técnicas possibilita a utilização de materiais de baixa qualidade ou não condizentes com o desempenho termo energético esperado para a edificação.

Para a simulação do modelo real do bloco de salas de aula, a ser utilizado como comparação para a análise do desempenho, serão utilizadas as informações retiradas do memorial descritivo de projeto e adaptadas para o programa de simulação do desempenho termoenergético.

3.1.2. Caracterização do município de Goiânia e clima

O município de Goiânia está localizado na latitude 16°41' sul e longitude 49°17' oeste, região que segundo Fernandes (2006), está situada numa zona intersticial do país entre regiões de predominância do clima quente e úmido ao norte e quente e seco da porção mais setentrional do país. Essa condição, aliada à continentalidade da região, impõe uma característica marcante ao clima do município que é a presença de duas estações claramente definidas: a chuvosa e a seca, sendo a subdivisão anual em quatro estações irrelevante para a análise do clima da região.

As temperaturas de forma geral são constantes e elevadas ao longo de todo o ano. A partir da análise das médias de temperatura segundo o mesmo autor, é possível afirmar que a região de Goiânia possui calor à tarde durante todo o ano e a variação das médias de temperatura decorre do frio noturno verificado nos meses da estação mais seca, entre maio e agosto, sendo essa condição a responsável pela queda da temperatura média nesse período.

A amplitude térmica diária é elevada ao longo do ano, oscilando entre 10°C nos meses úmidos, entre novembro e março, e acima de 19°C nos meses secos, de maio a agosto. Tal característica nos meses secos assemelha o clima local nesse período ao de climas desérticos, onde é verificada grande variação na amplitude térmica diária o que resulta em diretrizes específicas para o projeto arquitetônico.

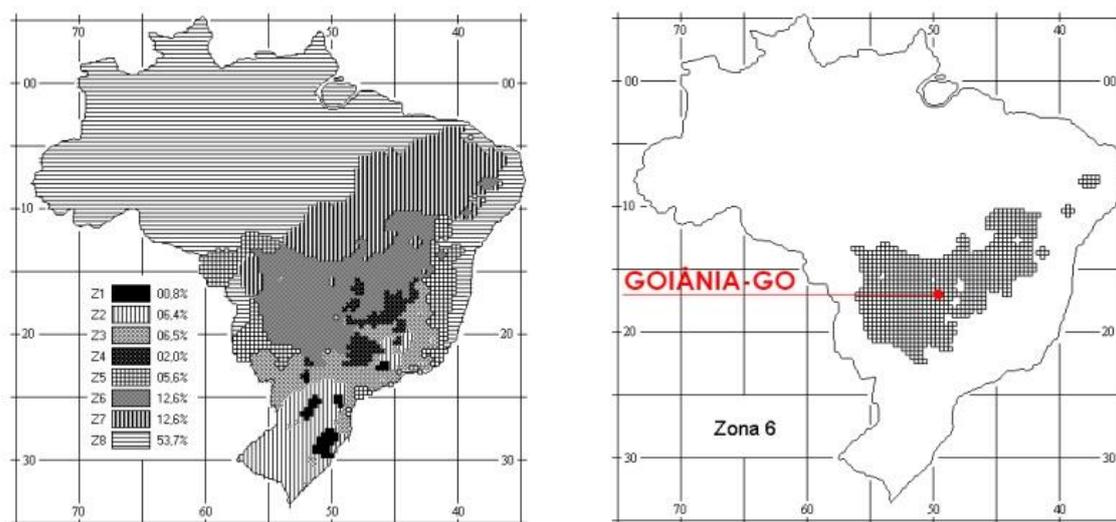
A umidade relativa também acompanha as variações na amplitude térmica diária, sendo que mesmo nos meses de temperatura mais elevada, devido à baixa umidade relativa do ar, a sensação térmica de conforto é maior do que no período chuvoso, quando existe a conjugação dos fatores alta temperatura e elevada umidade do ar,

que podem causar certo desconforto e o aumento da sensação de calor devido ao suor (FERNANDES, 2006).

Outros aspectos climáticos relevantes característicos do clima local são os altos níveis de radiação solar global praticamente ao longo de todo o ano, que variam conforme a oscilação da nebulosidade diária, geralmente mais elevadas nos meses de verão em decorrência da maior umidade relativa e menores nos meses secos de inverno (FERNANDES, 2006).

Ainda segundo o mesmo autor, mesmo com as oscilações mensais verificadas no ano, Goiânia está situada numa região com elevada insolação média diária, fator relevante que deve ser considerado para as diretrizes projetuais. Os ventos tem velocidade média fraca e possuem predominâncias distintas no período seco e chuvoso, o que requer atenção para a otimização do desempenho térmico através do emprego de ventilação passiva nos edifícios.

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que determina o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas e estratégias de conforto térmico para habitações unifamiliares de interesse social, o território brasileiro está dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 13 e 14) e cartas bioclimáticas como a apresentada na Figura 15.



Figuras 13 e 14: Zonas Bioclimáticas do Brasil e Zona Bioclimática 6

Fonte: Norma NBR 15220-3 (adaptado)

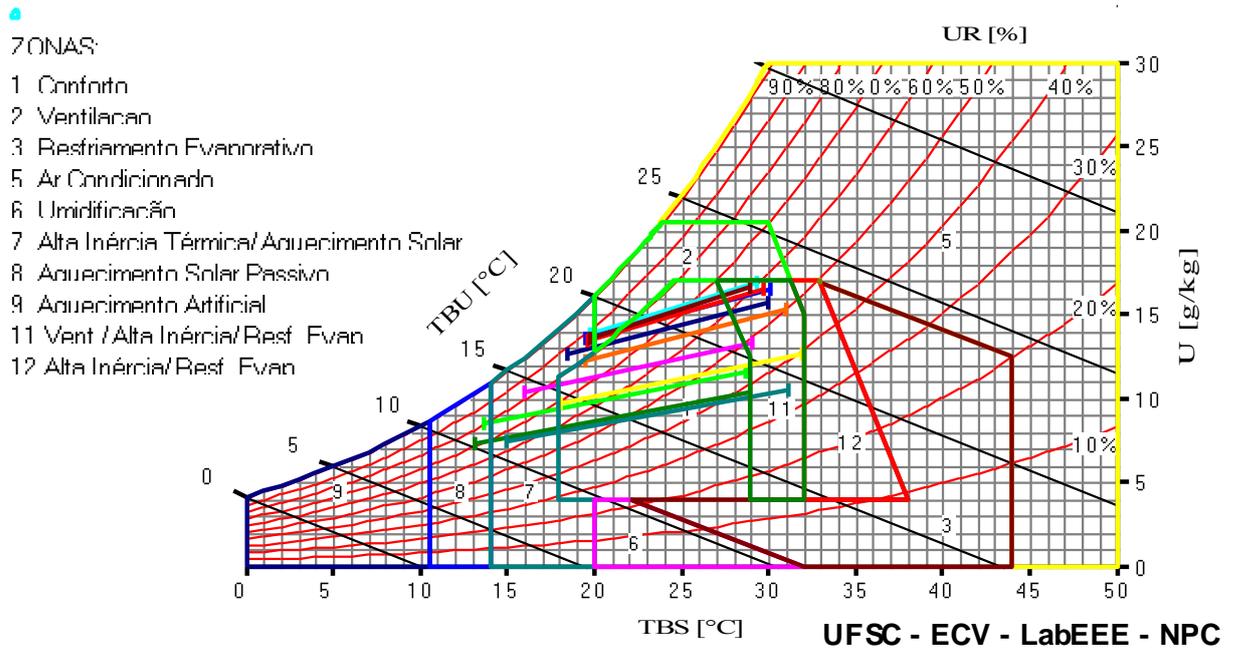


Figura 15: Carta bioclimática com normais climatológicas para Goiânia-GO

Fonte: Software Analysis BIO 2.2 (2010)

Essa separação em zonas teve como origem as definições da carta bioclimática de Givoni (1992), que foram adaptadas para refletir as particularidades do clima brasileiro, com recomendações técnicas que busquem a otimização do desempenho térmico energético das edificações e garantam a manutenção do nível de conforto térmico dos usuários. As recomendações referem-se sobretudo ao tamanho das aberturas para ventilação; os tipos de vedações externas, tanto para paredes como coberturas; a proteção de aberturas e as estratégias para condicionamento térmico passivo dos ambientes.

O município de Goiânia segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), está situado na Zona Bioclimática 6 (ZB-6) que, segundo as recomendações da carta bioclimática adaptada de Givoni (1992), destaca como estratégias de condicionamento térmico passivo no verão, período quente e úmido, o uso de massa térmica e resfriamento evaporativo para diminuição da temperatura interna do edifício e a ventilação seletiva com a renovação do ar externo nos períodos quentes quando a temperatura interna for superior à externa.

Nos meses de inverno, período quente e seco, a norma recomenda o uso de vedações internas pesadas para a garantia de maior inércia térmica da edificação, possibilitando que o calor armazenado durante o dia seja devolvido aos ambientes internos no período noturno. Na Tabela 10 é possível visualizar as porcentagens de horas

separadas por meses nas quais é atingido o nível de conforto térmico, assim como a porcentagem de horas de aplicação das estratégias corretivas para atingir o nível de conforto.

Tabela 10: Percentual de estratégias bioclimáticas segundo médias mensais para Goiânia-GO

Fonte: Software Analysis BIO 2.2 (2010) – adaptado

MÊS	ESTRATÉGIA (em % de horas/mês)			
	Conforto Térmico	Ventilação	Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica	Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo
JANEIRO	58,74	19,25	3,17	18,85
FEVEREIRO	53,54	22,21	3,10	21,15
MARÇO	55,79	15,27	4,72	24,22
ABRIL	64,03	4,25	13,05	18,68
MAIO	81,64	0	15,27	3,09
JUNHO	71,33	0	26,67	2,00
JULHO	69,43	0	25,48	5,10
AGOSTO	67,90	0	18,52	13,58
SETEMBRO	78,99	0	0	21,02
OUTUBRO	74,93	0	0	25,07
NOVEMBRO	60,66	14,04	3,97	21,33
DEZEMBRO	61,64	18,87	3,27	16,23

Segundo a NBR 15220-3, as diretrizes construtivas para o clima local recomendam o uso de vedações de paredes pesadas e coberturas leves e isoladas, enquanto que as aberturas para ventilação devem ser médias e as aberturas devem ser sempre sombreadas (Tabela 11).

Tabela 11 – Recomendações construtivas para adequação da edificação ao clima local.

Fonte: NBR 15220-3 (adaptado).

DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA GOIÂNIA (ZONA BIOCLIMÁTICA 6)			
ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO			Área (% da área de piso)
Médias			15% < A < 25%
VEDAÇÕES EXTERNAS	Transmitância Térmica – U (W/m ² .K)	Atraso Térmico – ϕ (horas)	Fator Solar – FSo (%)
Paredes Pesadas	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FSo \leq 3,5$
Coberturas Leves Isoladas	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,30$	$FSo \leq 6,5$

Apesar das distorções em relação ao exposto por Fernandes (2006) quanto à caracterização das estratégias de condicionamento térmico segundo duas estações definidas por verão e inverno, as recomendações da norma NBR-15220-3 (ABNT, 2003), apesar da metodologia aplicada, servem como parâmetro norteador das diretrizes projetuais arquitetônicas para edifícios localizados nessa zona bioclimática.

Entretanto, tais recomendações, embora sejam referenciais para habitações unifamiliares de interesse social, são frequentemente empregadas para outros tipos de edifícios localizados na mesma Zona Bioclimática e que objetivem a otimização do consumo energético e o emprego de técnicas passivas de condicionamento de ar e, portanto são utilizadas para a análise do edifício educacional do presente trabalho.

3.2. Cálculo da eficiência energética da envoltória – Método Prescritivo RTQ-C

Segundo o método prescritivo do RTQ-C (ELETROBRAS, 2015) para a análise de envoltórias, o bloco de salas de aula analisado não atende aos pré-requisitos específicos para atendimento dos níveis A e B, situando-se entre os níveis C e D conforme exposto pela Tabela 02. Isso porque as paredes externas são de tijolo aparente e não apresentam elementos de iluminação zenital.

A cor é utilizada como indicação da absorvância da radiação solar das superfícies tanto das paredes como coberturas. No caso da Zona Bioclimática 6 (ZB-6), onde se localiza Goiânia, segundo o regulamento as paredes e coberturas devem possuir absorvância (α) máxima de 0,50 para assegurar uma envoltória mais eficiente.

No caso da escola selecionada, as paredes de tijolos aparentes apresentam um índice entre 0,65 e 0,80, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2008); a estrutura de concreto entre 0,65 e 0,80 e a cobertura de telha cerâmica entre 0,65 e 0,80. Ou seja, segundo o método prescritivo, toda a envoltória está acima dos limites máximos estabelecidos pelo regulamento para a obtenção de classificação nível A, mas tal fato não deixa de ser contraditório, pois se baseia apenas na cor do revestimento.

Leder e Lima (2014) apontam outra crítica ao RTQ-C, é que mesmo que existam elementos de proteção e sombreamento das fachadas, a falta de revestimentos nas paredes externas inviabiliza a obtenção dos níveis mais elevados A e B; pois para a obtenção desses níveis é necessário ainda assim o baixo coeficiente de absorvância nas superfícies externas.

Diante do exposto acima, para efeito de comparação entre o resultado das equações do método prescritivo, foram feitos os cálculos das variáveis, conforme descritas no capítulo 2.5.3, necessárias para a determinação do Indicador de Consumo da envoltória (ICenv).

Para a avaliação do sistema envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C, são necessárias informações relacionadas à forma e aberturas da edificação. Informações relacionadas às propriedades térmicas dos componentes construtivos das paredes e cobertura, além de informações relacionadas ao uso e ocupação do edifício são consideradas apenas para o método da simulação.

Na Tabela 12 estão indicados os valores síntese das variáveis necessárias para o cálculo prescritivo desse indicador.

Tabela 12 – variáveis consideradas para o cálculo do ICenv da edificação.

Fonte: Manual RTQ-C – Versão 3 (ELETROBRAS, 2015) adaptado.

Variáveis para o cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv)	
Ape: Área de projeção da edificação (m ²)	592,80
Atot: Área total de piso (m ²)	987,56
Aenv: Área da envoltória (m ²)	1427,50
Apcob: Área de projeção da cobertura (m ²)	371,66
AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento	0
AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento	0
FF: Fator de Forma (Aenv/Vtot)	0,485
FA: Fator Altura (Apcob/Atot)	0,376
FS: Fator Solar	0,86
PAFt: Percentual de Abertura na Fachada Total	0,41
Vtot: Volume Total (m ³)	2938,35

Além do cálculo PAFt, é necessário também o cálculo do Percentual de Abertura da Fachada Oeste (PAFo), conforme indicado pelo RTQ-C. Isso porque essa fachada geralmente apresenta situação menos favorável do ponto de vista da insolação e ganho de cargas térmicas. Caso o PAFo seja superior ao PAFt em 20% ou mais, deve-se obrigatoriamente adotar o PAFo onde houver PAFt nas equações relativas à envoltória.

Para a edificação analisada, os valores de PAFt foi 0,19 e PAFo 0,41 e, dessa forma, foi adotado como índice válido para percentual de aberturas este último, pois é o pior caso. Isso ocorreu pois as maiores aberturas envidraçadas são encontradas justamente na fachada oeste do modelo analisado, contribuindo para que o índice PAFo fosse muito superior ao do total de fachadas.

Com todas as variáveis disponíveis, o Indicador de Consumo é calculado para os três tipos de envoltórias:

- ICenv: determina o Indicador de Consumo do edifício atual. Utiliza os dados do projeto real da edificação;
- ICmaxD: determina o Indicador de Consumo limite para a edificação se situar entre os níveis D e E. Caso o ICenv seja maior que o ICmaxD, então o nível da envoltória desse edifício é E. Utiliza a mesma equação e os mesmos dados relativos ao Fator de Forma e Fator de Altura do ICenv. Porém os dados de PAFt, FS, AVS, AHS utilizados são determinados segundo a Tabela 13.
- ICmín: determina o Indicador de Consumo mínimo de uma volumetria, ou seja, corresponde ao nível de classificação A. Assim como no ICmaxD, utiliza os mesmos parâmetros de Fator de Forma e Fator de Altura do ICenv e possui dados fixos para de PAFt, FS, AVS, AHS utilizados conforme a Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação de parâmetros nas equações de Indicadores de Consumo (IC).

Fonte: Manual RTQ-C – Versão 3 (ELETROBRAS, 2015) - adaptado.

ICenv	ICmáxD	ICmín
Ape	Igual	Igual
Apcob	Igual	Igual
Atot	Igual	Igual
Aenv	Igual	Igual
Vtot	Igual	Igual
FA	Igual	Igual
FF	Igual	Igual
PAFt	Alterar para 0,60	Alterar para 0,05
FS	Alterar para 0,61	Alterar para 0,87
AVS	Alterar para 0	Alterar para 0
AHS	Alterar para 0	Alterar para 0

Com esses dados, são construídas e calculadas as três equações que determinarão os limites de eficiência máximo (ICmín) e mínimo (ICmáxD), além do indicador do edifício real (ICenv) conforme a Figura 16.

Zona Bioclimática 6 , Edifício com mais de 500m ²																					
ICenv= -160,35.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAFT + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFT + 0,01.PAFT.AVS.AHS - 120,58																					
Ape: Área de projeção do edifício; (m2);	Atot: Área total construída (m2);	Aenv: Área da envoltória (m2);	Apcob: Área de projeção da cobertura (m²);	AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;	AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;	FF: Fator de Forma; (Aenv/Vtot);	FA: Fator Altura; (Apcob/Atot);	FS: Fator Solar;	PAFT: Percentual de Abertura na Fachada total;	Vtot: Volume total da edificação (m3).	Limite de Fator de Forma (Aenv/Vtotal)	FA	FF	PAFT	FS	AVS	AHS	FFxPAFT	PAFTxAVSxAHS	ICenv: Indicador de Consumo da envoltória :	
592,80	987,56	1427,50	371,66	0,00	0,00	0,48	0,37	0,86	0,41	2938,35	0,49	-59,33	613,10	-7,88	2,54	0,00	0,00	57,81	0,00	-120,58	485,66
ICmáxD= -160,35.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAFT + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFT + 0,01.PAFT.AVS.AHS - 120,58																					
Ape: Área de projeção do edifício; (m2);	Atot: Área total construída (m2);	Aenv: Área da envoltória (m2);	Apcob: Área de projeção da cobertura (m²);	AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;	AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;	FF: Fator de Forma; (Aenv/Vtot);	FA: Fator Altura; (Apcob/Atot);	FS: Fator Solar;	PAFT: Percentual de Abertura na Fachada total;	Vtot: Volume total da edificação (m3).	Limite de Fator de Forma (Aenv/Vtotal)	FA	FF	PAFT	FS	AVS	AHS	FFxPAFT	PAFTxAVSxAHS	ICmáxD: Indicador de Consumo da envoltória :	
592,80	987,56	1427,50	371,66	0,00	0,00	0,48	0,37	0,61	0,60	2938,35	0,49	-59,33	613,10	-11,53	1,80	0,00	0,00	84,61	0,00	-120,58	508,06
ICmín= -160,35.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAFT + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFT + 0,01.PAFT.AVS.AHS - 120,58																					
Ape: Área de projeção do edifício; (m2);	Atot: Área total construída (m2);	Aenv: Área da envoltória (m2);	Apcob: Área de projeção da cobertura (m²);	AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;	AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;	FF: Fator de Forma; (Aenv/Vtot);	FA: Fator Altura; (Apcob/Atot);	FS: Fator Solar;	PAFT: Percentual de Abertura na Fachada total;	Vtot: Volume total da edificação (m3).	Limite de Fator de Forma (Aenv/Vtotal)	FA	FF	PAFT	FS	AVS	AHS	FFxPAFT	PAFTxAVSxAHS	ICmín: Indicador de Consumo da envoltória :	
592,80	987,56	1427,50	371,66	0,00	0,00	0,48	0,37	0,87	0,05	2938,35	0,49	-59,33	613,10	-0,96	2,57	0,00	0,00	7,05	0,00	-120,58	441,84

Figura 16 – Equações de Indicadores de Consumo (ICenv, ICmáxD e ICmín).

(Adaptado de MOREIRA, 2015)

A determinação dos limites de eficiência da envoltória é feita através dos limites do ICmáxD e ICmín. Esses dois indicadores fornecem limites superiores e inferiores que são considerados para a elaboração da escala de classificação segundo a ENCE. A diferença entre os indicadores ICmáxD e ICmín formam um intervalo (i) a ser dividido em quatro partes iguais, conforme a Figura 17, sendo que cada intervalo corresponde a um nível de classificação.

Cálculo IC					
ICenv	485,66				
ICmáxD	508,06				
ICmin	441,84				
Intervalo (/4)	16,56				
Limites dos intervalos dos níveis de eficiência					
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Min		$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Resultado		458,41	474,96	491,52	508,07
Lim Máx	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	
Resultado	458,40	474,95	491,51	508,06	

Figura 17 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência da edificação

(Adaptado de MOREIRA, 2015)

O $IC_{mín}$ corresponde ao nível de maior eficiência energética para a envoltória calculado, mas não representa um limite pois indicadores menores do que esse IC representa também o nível de classificação “A”. O $IC_{máxD}$ indica o nível de maior consumo energético possível para a classificação nível “D” para a envoltória, sendo que valores acima desse número automaticamente representam classificação nível “E”.

Considerando que o cálculo do IC_{env} do edifício real corresponde à 485,66, esse índice corresponde ao nível de classificação “C” para a envoltória após a determinação dos intervalos segundo a metodologia prescritiva do RTQ-C para a envoltória. Entretanto, em virtude do não atendimento de pré-requisitos específicos relativos às cores e abstratância das paredes externas, mesmo que o IC_{env} obtido fosse compatível com a classificação nível A ou B, o nível de eficiência máximo ainda seria a classificação “C”.

Em suma, segundo o método prescritivo do RTQ-C, o não atendimento dos pré-requisitos específicos para a envoltória da edificação é pouco eficiente e se situa entre os níveis mais baixos, C e D. A partir dessa constatação obtida através do método prescritivo, se faz necessária a simulação computacional termoenergética como forma de contrapor tais informações e analisar os resultados dessa classificação prévia. Diante desse problema, o mesmo edifício foi analisado para distintas soluções de materiais conforme mostrado no capítulo a seguir.

3.3. Seleção de sistemas de vedação vertical e cobertura para modelos propostos

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), o município de Goiânia – GO localiza-se na Zona Bioclimática nº 6 (ZB-6), para a qual são recomendadas paredes pesadas e coberturas do tipo leve e isolada. De acordo com a mesma norma, paredes pesadas e coberturas leves necessitam atender os seguintes critérios apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Critérios para paredes pesadas e coberturas leves

Fonte: (ABNT NBR 15220-3:2005) - adaptado.

Sistemas	Transmitância térmica - U (W/m ² .K)	Atraso térmico - ρ (horas)	Fator solar – F _{so} (%)
Parede pesada	$U \leq 2,20$	$\rho \geq 6,5$	$F_{so} \leq 3,5$
Cobertura leve isolada	$U \leq 2,00$	$\rho \leq 3,3$	$F_{so} \leq 6,5$

No entanto, a partir da análise dos requisitos e critérios das normas de desempenho, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e a NBR 15575-5 (ABNT, 2013), que tratam da parte das vedações verticais e coberturas, respectivamente, só estabelecem dois critérios que precisam ser atendidos, sendo eles a Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (Ct).

Desta forma, os critérios de Atraso Térmico e Fator Solar não foram considerados no presente trabalho; sendo considerado o valor mínimo de Ct de 130 kJ/m².K (definido nas NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013)). Como os valores de U da norma de desempenho são superiores ao da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), foi adotado o valor máximo de U previsto NBR 15220-3 (ABNT, 2005), por este ser mais restritivo.

Deve-se ressaltar que a norma de desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005), são voltadas para edificações habitacionais. No entanto, por não existirem normas brasileiras de desempenho específicas para edifícios escolares, foram adotadas esta norma.

Na NBR 15220-3 (ABNT, 2005) são apresentados alguns sistemas de paredes e coberturas com os valores de U e Ct já calculados (presentes na Tabela D. 3 da norma). Assim sendo, foram selecionados dois sistemas de parede e dois de cobertura, que atendam os valores de $U < 2,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para as paredes e $U < 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para as coberturas. Dessa forma, foram escolhidos os seguintes sistemas para compor os modelos a serem simulados e indicados na Figura 18:

- Sistema de parede 1: parede de tijolos de 6 furos quadrados assentados na maior dimensão. Dimensões do tijolo: 9x14x19 cm. Argamassa de assentamento de 1 cm e argamassa de emboço de 2,5 cm. Espessura total da parede de 19,0 cm. $U = 2,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $C_t = 192 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$.
- Sistema de parede 2: parede de tijolos de 8 furos quadrados assentados na maior dimensão. Dimensões do tijolo: 9x19x19 cm. Argamassa de assentamento de 1 cm e argamassa de emboço de 2,5 cm. Espessura total da parede de 24,0 cm. $U = 1,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $C_t = 231 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$.
- Sistema de cobertura 1: cobertura de telha cerâmica (espessura de 1,0 cm) com laje de concreto (espessura de 20 cm).
- Sistema de cobertura 2: cobertura de telha de fibro-cimento (espessura de 0,7 cm) com laje de concreto (espessura de 20 cm).

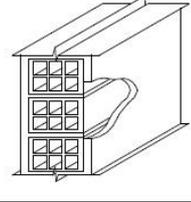
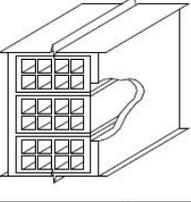
Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,84	458	8,0
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,99	451	7,9

Figura 18 – Sistemas de paredes e coberturas selecionados.

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005) – adaptado

A seleção de materiais para as simulações extraídos diretamente da norma deve-se ao fato de, além do atendimento aos requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica, ao fato de serem materiais construtivos usuais na região estudada e de possuírem custo relativamente baixo se comparado a outras soluções possíveis, como o emprego de paredes duplas e outros sistemas de cobertura.

3.4. Cálculo da eficiência energética da envoltória – Método Simulação RTQ-C

A simulação computacional permite aferir, seja na etapa de projeto como na de construção, soluções que possibilitem o aumento da eficiência da edificação em algum aspecto e oferecer resultados em curto espaço de tempo e com confiabilidade. No campo do desempenho termoenergético, a simulação computacional possibilita vantagens se comparada aos métodos analíticos como a possibilidade de avaliação termodinâmica, que leva em conta variações do clima externo, padrão de ocupação e os efeitos da inércia térmica ao longo do tempo (GONÇALVES, 2015, p.297).

O emprego da simulação de desempenho energético na etapa de projeto permite a correta seleção dos sistemas (iluminação, climatização, etc) visando a redução do consumo de energia da edificação e adequado ao período de utilização da edificação. “Além disso, a simulação pode fornecer subsídios quanto ao impacto no desempenho da edificação quando esta é submetida à regulamentos e normas, auxiliando no processo de auditoria energética e fornecendo análises de desempenho em seu estado atual”. (HERNANDEZ, 2015, p.286).

Ademais os recursos citados, alguns *softwares* de simulação termoenergética possibilitam a análise dos custos da tarifa de energia no custo de operação de mudanças no desempenho da edificação, o que não é explorado no presente trabalho.

Segundo Gonçalves (2015), a simulação de desempenho termoenergético possibilita uma abordagem qualitativa da arquitetura, contribuindo para o entendimento das condições ambientais possíveis de serem alcançadas em decorrência de mudanças climáticas do dia ou do ano, assim como o emprego de estratégias de adaptação às condições ambientais e às variações no uso dos espaços. Refletindo em potenciais benefícios para a avaliação do projeto arquitetônico que vão além do mero cálculo de cargas térmicas ou temperaturas extremas.

Para o RTQ-C (ELETROBRÁS, 2015), a simulação termoenergética é utilizada para comprovar que parâmetros diferentes daqueles determinados pelo método prescritivo geram uma maior economia de energia e conforto do ambiente analisado e deve possuir as seguintes características relativas ao desempenho energético:

- Ser validado pela ASHRAE Standard 140;
- Modelar 8760 horas por ano;
- Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- Modelar efeitos de inércia térmica;
- Permitir a modelagem de multi-zonas térmicas;
- Possibilitar a simulação das estratégias bioclimáticas de projeto;
- Determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de Ar;
- Produzir relatórios do uso final de energia.

Para a avaliação do desempenho energético e do conforto térmico da edificação, existem vários *softwares* que possibilitam a aferição dos índices supracitados com relativa precisão.

Dentre os diversos *softwares* existentes, foi utilizado o programa DesignBuilder, desenvolvido no Reino Unido, que permite a construção de modelos tridimensionais para a simulação do cálculo do consumo de energia, de equipamentos, iluminação ou sistemas de climatização; do desempenho térmico de paredes, pisos e partes internas da edificação, assim como o cálculo da ventilação e temperaturas do ar interno e externo (PEDRINI e VENÂNCIO, 2009). Além disso, possibilita a opção de saídas de parâmetros em intervalos sub-horários, horários, diários, mensais e anuais.

Outro fator determinante para a utilização desse programa é o fato deste utilizar a mesma base de dados algoritmos do EnergyPlus, programa desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e distribuído gratuitamente voltado para a simulação e análise de desempenho da carga térmica e eficiência energética de edificações e seus sistemas.

A vantagem do programa DesignBuilder em relação ao *software* norte americano é que este oferece uma interface mais amigável e corrige as limitações da interface gráfica do EnergyPlus, oferecendo recursos amigáveis de modelagem tridimensional

para a reprodução da geometria da envoltória (VENÂNCIO, 2007). Para essa pesquisa é utilizada a versão 4.6.0.015 do programa, revisada em 2015.

Outro fator de estimulou o uso do programa DesignBuilder é o seu emprego como ferramenta de simulação e geração de dados por diversos trabalhos na área da arquitetura e engenharia, sobretudo em trabalhos desenvolvidos na Universidade de Brasília (UnB), e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), instituições que concentram grande parte da base teórica consultada para o presente trabalho.

3.4.1. Dados climáticos

O programa DesignBuilder utiliza dados climáticos do padrão EPW (*Energyplus Data Files*) empregado pelo programa EnergyPlus e respaldado pelo RTQ-C e que se baseia em dados climáticos horários de um ano típico, selecionado após a compilação de dados de diversos anos avaliados. O arquivo climático resultante fornece os seguintes dados horários: temperatura de bulbo seco e úmido, radiação solar direta e difusa, direção e velocidade dos ventos, altitude e azimute solar e pressão atmosférica (PEDRINI e VENÂNCIO, 2009).

Segundo Roriz (2012), esse tipo de arquivo pode fornecer mais de trinta e cinco variáveis relacionadas ao clima local, sendo que esses dados resultantes diretos extraídos das estações climatológicas ou ainda estimados através de cálculos em softwares específicos e compilados para gerar uma base de dados para o município.

Como a edificação está localizada na cidade de Goiânia tentou-se primeiramente buscar os arquivos climáticos para esta cidade no banco de dados do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE/UFSC), principal fonte de informações desse tipo no país. No entanto não foi encontrado arquivo climático para esta cidade ou mesmo para outros municípios pertencentes à mesma região metropolitana. Desta forma, buscou-se arquivos climáticos de cidades próximas, localizadas na mesma Zona Bioclimática (ZB-6) e que apresentassem temperaturas e umidade médias mensais semelhantes aquelas da cidade de Goiânia (Figura 19).



Figura 19 – Cidades próximas à Goiânia-GO com arquivos EPW disponíveis.

Fonte: LABEEE – USFC. Arquivos climáticos em formato EPW.

Diante desse problema foi selecionado o arquivo climático EPW para utilização nas simulações de desempenho termoenergético o do município de Pires do Rio – GO (Latitude 17°30' S, Longitude 48°28' O) localizado a 125 km em linha reta a sudeste de Goiânia e que se situa na mesma Zona Bioclimática 6 (ZB-6) definida pela norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Segundo o Anexo A dessa norma, dentre os municípios goianos listados e localizados na mesma Zona Bioclimática está Catalão, distante aproximadamente 220 km à sudeste de Goiânia.

As demais cidades indicadas na Figura 17 e que dispõem de arquivo EPW ou estão a uma maior distância em relação à Goiânia, como Morrinhos e Paraúna, ou situam-se em Zonas Bioclimáticas diferentes, como Brasília (ZB-4), Luziânia (ZB-4) e Goiás (ZB-7).

O município de Pires do Rio possui características climáticas similares a de Goiânia, conforme os gráficos climáticos das duas localidades (vide Anexo II) extraído da ferramenta digital Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (ProjetEEE), desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da UFSC em parceria com o PROCEL e ELETROBRÁS.

O arquivo climático em formato EPW do município de Pires do Rio é resultado da compilação de informações de dados horários coletados através de estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 2000 e 2010 e foram revisados em Novembro de 2012 (RORIZ, 2012).

3.4.2. Orientação da Edificação

Para a análise do desempenho termoenergético da edificação e aferição dos ganhos térmicos e níveis de conforto interno, foram selecionados dois ambientes de longa permanência (Salas de Aula 7 e 8), localizadas no pavimento superior, sendo uma na extremidade do bloco (Sala 7) e outra entre duas salas (Sala 8). A escolha de salas com situações distintas visa identificar potenciais diferenças de ganho térmico em virtude do contato de paredes expostas diretamente ao meio externo. (Vide Figuras 20 e 21)



Figuras 20 e 21 – Modelos tridimensionais do bloco de salas de aula. (Fonte: autor)



Figura 22 – Planta baixa com Salas 7 e 8 em destaque. (Fonte: autor)

A orientação da edificação foi definida a partir de testes preliminares, conforme a metodologia do RTQ-C, variando entre norte, sul, leste e oeste. Foi escolhida a orientação mais desfavorável do ponto de vista do desempenho térmico das salas de aula selecionadas (Salas 7 e 8).

Foi avaliado os ganhos térmicos anuais para as quatro orientações para cada sala de aula, conforme apresentado nas Figuras 23 e 24. Não foram considerados elementos externos à edificação que possam obstruir ou bloquear a envoltória, como árvores ou edificações vizinhas. Com isso é possível ter uma análise geral do desempenho térmico dessa edificação, independente do sítio onde está inserida ou dos arranjos entre os diversos blocos constituintes da escola.

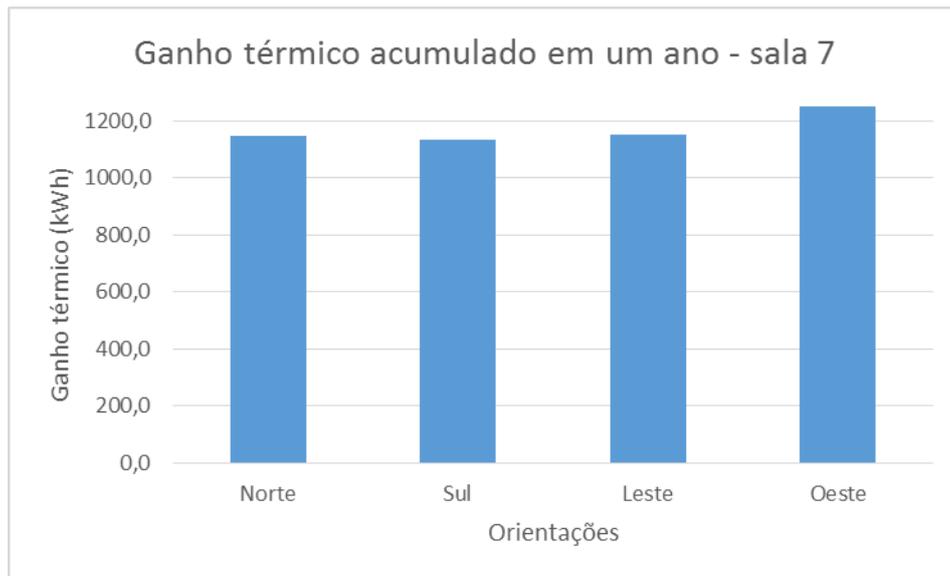


Figura 23 – Ganho térmico acumulado nas janelas exteriores para sala 7. (Fonte: Autor)

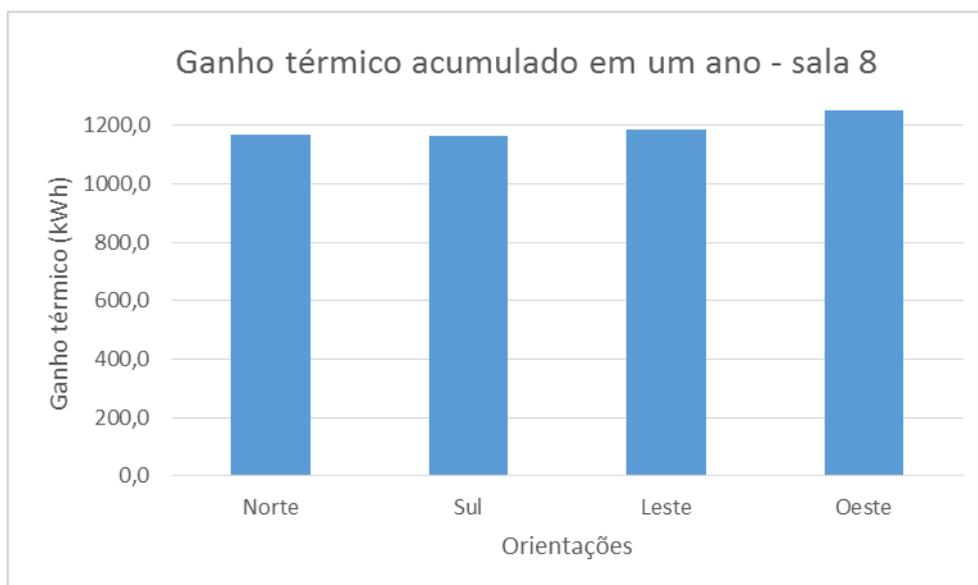


Figura 24 – Ganho térmico acumulado nas janelas exteriores para sala 8. (Fonte: Autor)

Neste sentido foi verificado que a orientação oeste para as fachadas das salas analisadas, foram as que apresentaram maiores ganhos térmicos e por essa razão foi adotada a orientação oeste para as maiores aberturas das salas de aula, conforme apresentado na Figura 25.

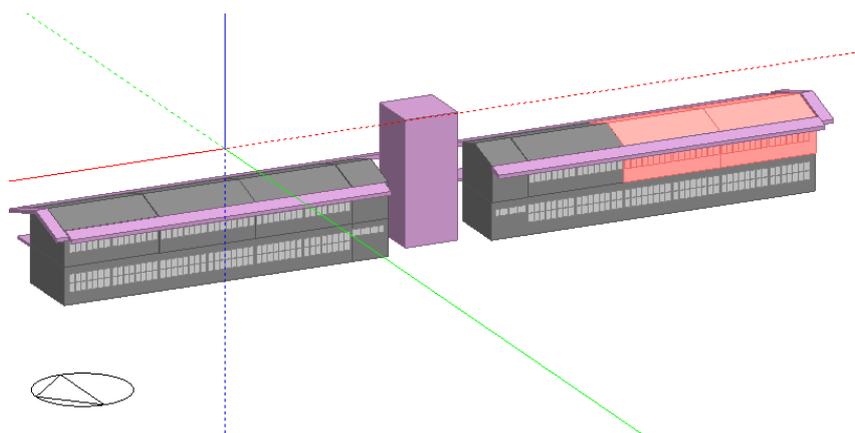


Figura 25 – Edificação modelada no software DesignBuilder com indicação da orientação adotada e salas analisadas. (Fonte: Autor)

3.4.3. Dados das atividades

Foram adotados os seguintes valores relativos ao tipo de atividades, horários e outras características para a simulação no software DesignBuilder e que atendem aos requisitos do modelo de simulação do RTQ-C (Tabela 15 e Figura 26). A quantidade e potência de iluminação das salas de aula são as mesmas do projeto original. Foi considerada uma densidade de ocupação de 30 alunos (crianças) por sala de aula, o que corresponde ao número ideal de alunos por sala padrão segundo informações da Prefeitura de Goiânia.

Tabela 15 – Dados de entrada para simulação por salas de aula.

Atividades Edificação	
<i>Template</i> (Modelo)	<i>Classroom</i> (sala de aula)
Ocupação - Densidade pessoas	0,625 pessoas/m ²
Ocupação - Agenda	7-12h e 13-17h
Metabolismo - Atividade	Trabalho Leve
Metabolismo (crianças) - Fator	0,75
Roupa inverno	1 clo
Roupa verão	0,5 clo
Iluminação	16 lâmpadas tubulares fluorescentes de 40 W
Equipamentos eletrônicos	Não foram considerados
HVAC	Não foi considerado

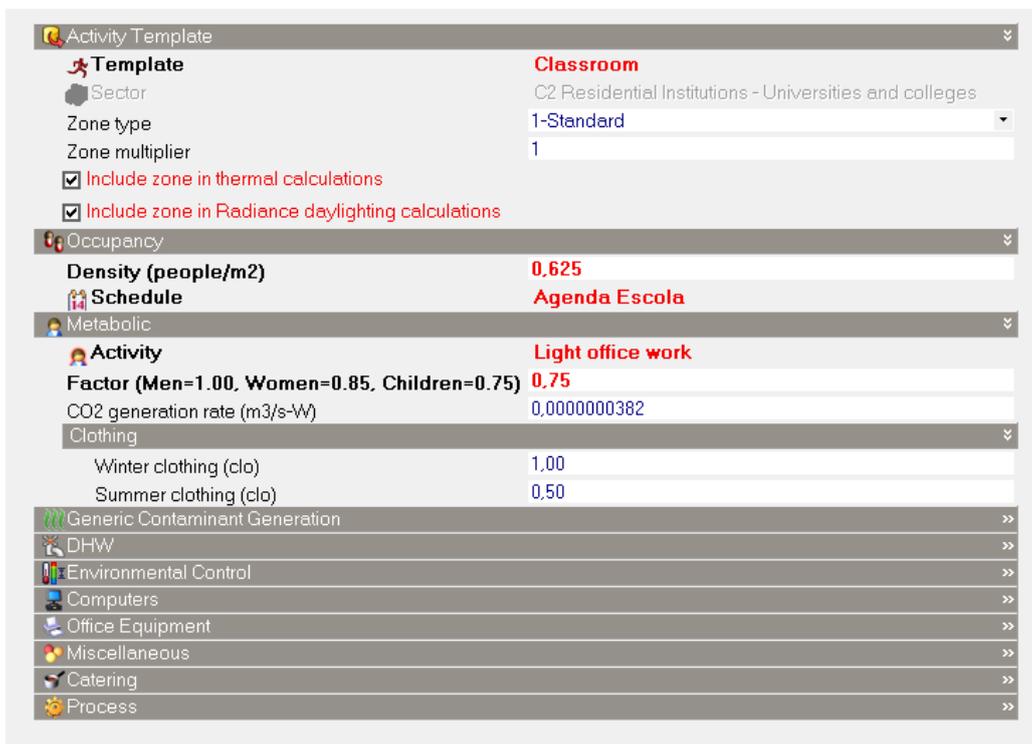


Figura 26 – Atividades adotadas. (Fonte: Programa Designbuilder)

3.4.4. Dados dos materiais e componentes utilizados

A partir da escolha dos sistemas de parede e cobertura foram utilizadas algumas propriedades térmicas dos materiais e componentes empregados, sendo elas: a Condutividade, o Calor Específico e Densidade. As propriedades foram retiradas da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Critérios para paredes pesadas e coberturas leves segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Material	Condutividade (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)	Densidade ¹ (kg/m³)	Fonte
Argamassa	1,15	1000	2000	ABNT NBR 15220 -3 (2005), p.18
Bloco Cerâmico	0,9	920	1600	ABNT NBR 15220 -3 (2005), p.18
Telha Cerâmica	1,05	920	2000	ABNT NBR 15220 -3 (2005), p.18
Telha de Fibrocimento	0,95	840	1900	ABNT NBR 15220 -3 (2005), p.18
Madeira (Forro)	0,14	2300	600	ABNT NBR 15220 -3 (2005), p.18
Concreto (Forro)	1,75	1000	2200	ABNT NBR 15220 -3 (2005), p.18
Vidro comum incolor	1,0	840	2500	ABNT NBR 15220 -3 (2005), p.18

Para os sistemas de parede foram produzidos os seguintes elementos de construção no software (vide Tabela 17). Isso se deve ao fato dos blocos cerâmicos empregados não serem componentes homogêneos e o software possibilitar a modelagem somente em duas direções, analisando somente uma camada. Foi elaborado um sistema da forma que atendesse os valores de transmitância já calculados e apresentados na NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

O software dá a possibilidade de fixar o valor de U, acrescentando uma camada isolante padrão ou aumentando a espessura de alguma camada. Neste sentido foram utilizados os seguintes sistemas, apresentados nas Figuras 27 a 33. As paredes internas permaneceram as mesmas, no modelo P2. As paredes e coberturas consideradas foram retiradas da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), conforme apresentado anteriormente.

Tabela 17 – Paredes externas e sistemas de coberturas consideradas.

Sigla	Descrição sistemas	U (W/m ² .K)
P1	Parede original. Parede rebocada do lado interno com tijolo cerâmico maciço espessura de 15 cm	3,02
P2	Parede rebocada do lado interno e externo com tijolo cerâmico maciço espessura de 18 cm	2,83*
P3	Parede rebocada dos dois lados (interno e externo) com tijolo cerâmico de 6 furos assentado na maior dimensão	2,02
P4	Parede rebocada dos dois lados (interno e externo) com tijolo cerâmico de 8 furos assentado na maior dimensão	1,80
C1	Cobertura original. Telhas cerâmicas (1 cm) sobre laje de concreto (20 cm)	3,47*
C2	Cobertura telhas cerâmicas (1 cm) e laje de concreto (20 cm)	1,84
C3	Cobertura telhas de fibrocimento (0,7 cm) e laje de concreto (20 cm)	1,99

* Valores de U calculados com base no procedimento da NBR 15220-2 (ABNT, 2008).



Figura 27 – Sistema parede original (P1).



Figura 28 – Sistema P2.

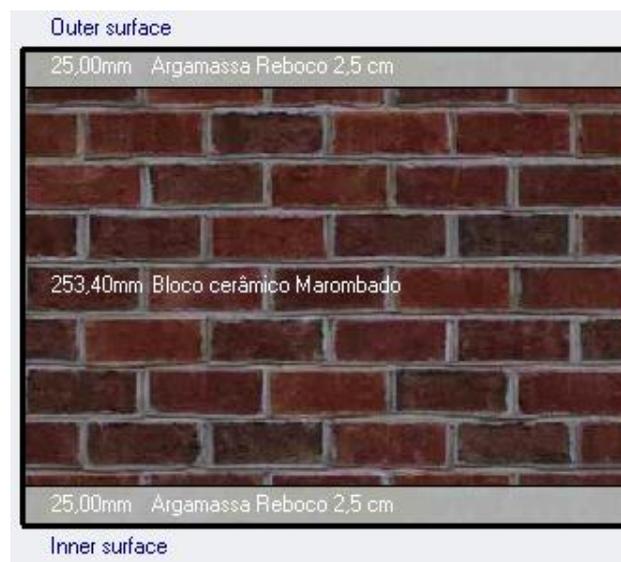


Figura 29 – Sistema parede P3.

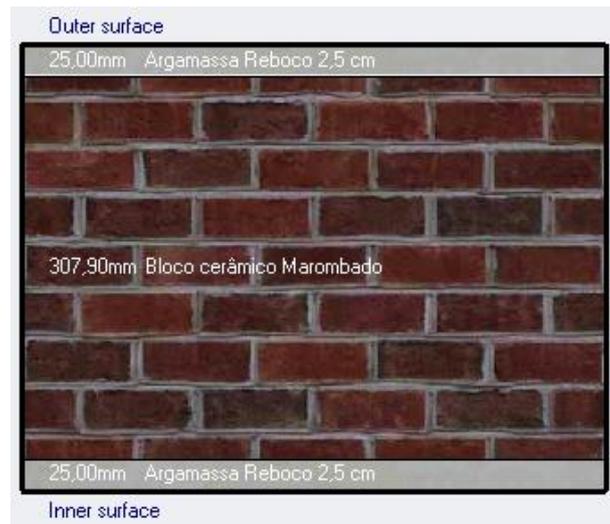


Figura 30 – Sistema parede P4.



Figura 31 – Sistema cobertura original (C1).

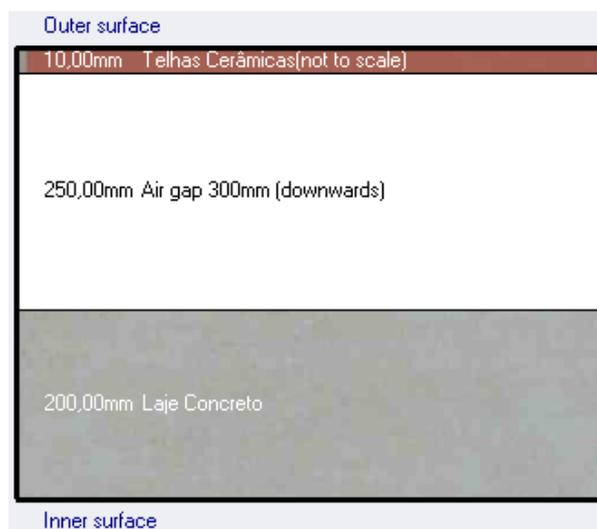


Figura 32 – Sistema C2.

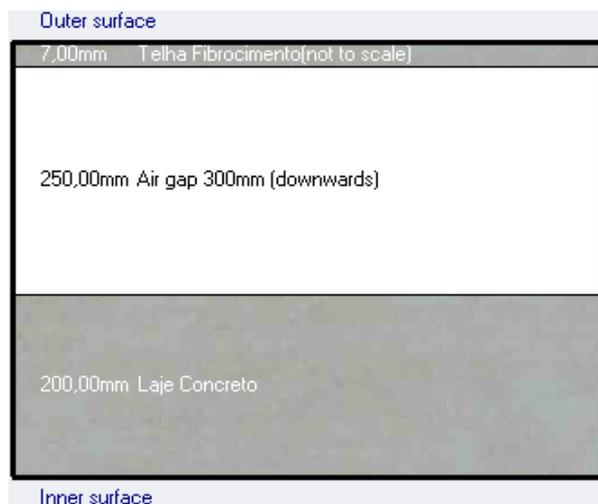


Figura 33 – Sistema C3.

3.4.5. Agenda e regime de funcionamento da edificação

Para a definição da agenda de ocupação das salas a serem analisadas foi considerado que elas estarão ocupadas em dois intervalos, das 7 às 12h e das 13 às 17h, de segunda à sexta. Foram considerados dois meses de férias ao longo do ano; janeiro e julho. Os feriados não foram considerados visto que essa oscilação não impacta significativamente nos resultados do desempenho energético e consumo de energia. Nas Figuras 34 e 35 são apresentados os horários de ocupação das salas.

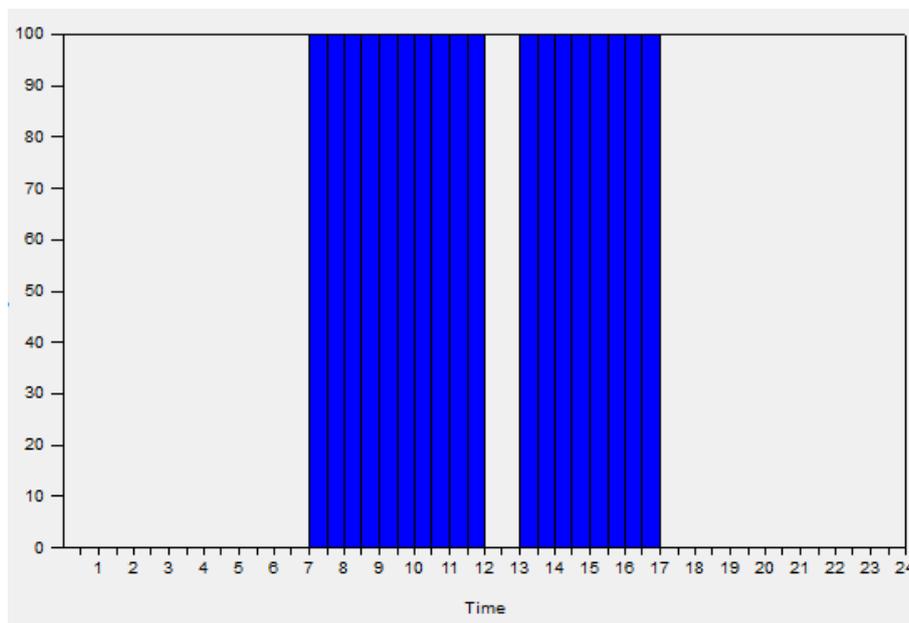


Figura 34 – Horário de ocupação diário.

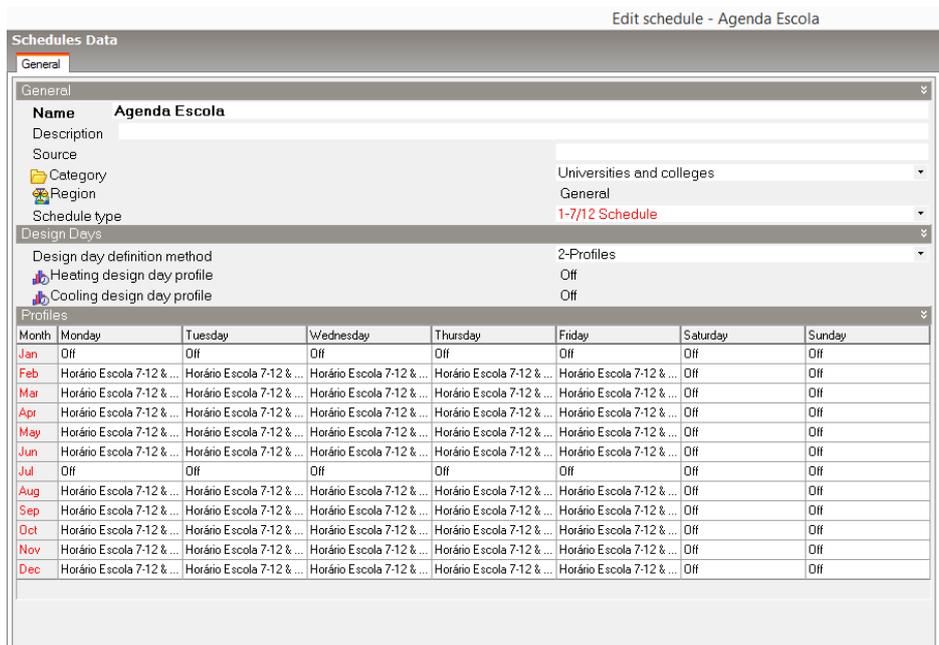


Figura 35 – Horário ocupação semanal e anual. (Fonte: Programa DesignBuilder)

3.4.6 Organização dos modelos analisados

Para a simulação computacional foram avaliadas diferentes combinações, com 4 opções de paredes, 3 opções de cobertura e a existência ou não de *brise-soleil* horizontais, todas com a mesma orientação solar (Oeste), o que resultou em 24 modelos (M1 ao M24), conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Combinações dos sistemas avaliados

Identificação	Sombreamento com <i>brise-soleil</i>	Cobertura	Parede
M1	Sem	C1	P1
M2			P2
M3			P3
M4			P4
M5		C2	P1
M6			P2
M7			P3
M8			P4
M9		C3	P1
M10			P2
M11			P3
M12			P4
M13	Com	C1	P1
M14			P2
M15			P3
M16			P4
M17		C2	P1
M18			P2
M19			P3
M20			P4
M21		C3	P1
M22			P2
M23			P3
M24			P4

Os elementos de proteção externa, no caso foi adotado o *brise-soleil*, foram considerados na proposta para avaliar o quanto desse item pode influenciar no desempenho térmico dos ambientes para os mesmos sistemas construtivos empregados e segundo a mesma orientação.

Para o dimensionamento dos brises empregados nos modelos M13 a M24, foi utilizado para o seu dimensionamento o programa Brise BR 2011, desenvolvido pela professora Márcia Peinado Alucci da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP) e adequados à localização e dimensões das janelas voltadas para oeste. Ao final, foram considerados 10 brises de 20cm de largura, ângulo de inclinação de 34,4° nas janelas das fachadas oeste (vide Anexo III). As janelas voltadas para a circulação não receberam esse elemento. Após a determinação

dessas características, esses elementos foram modelados no programa DesignBuilder e inseridos nas fachadas dos modelos nos quais foram considerados (Figuras 36, 37 e 38).

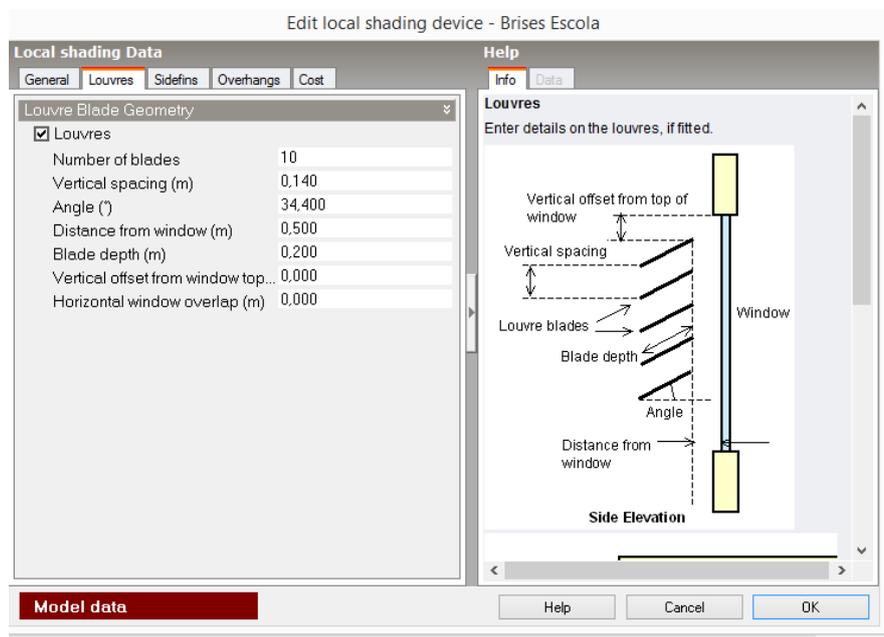


Figura 36 – Características dos brises (Fonte: DesignBuilder).

Classroom

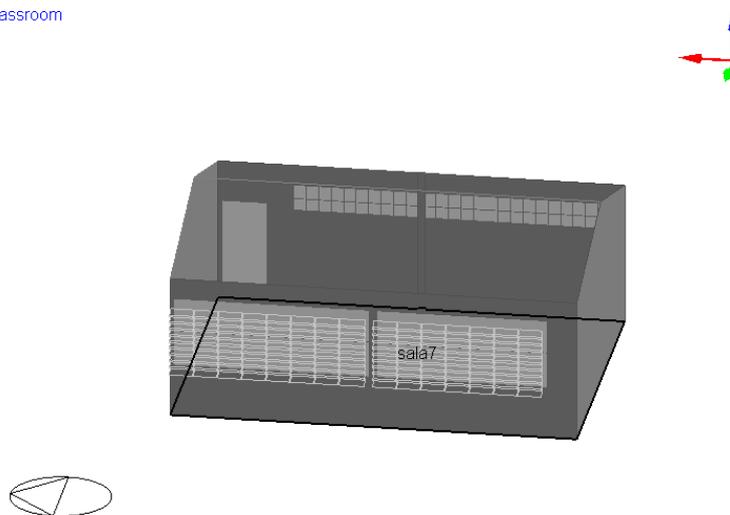


Figura 37 – Sala 7 com os brises horizontais (Fonte: DesignBuilder).

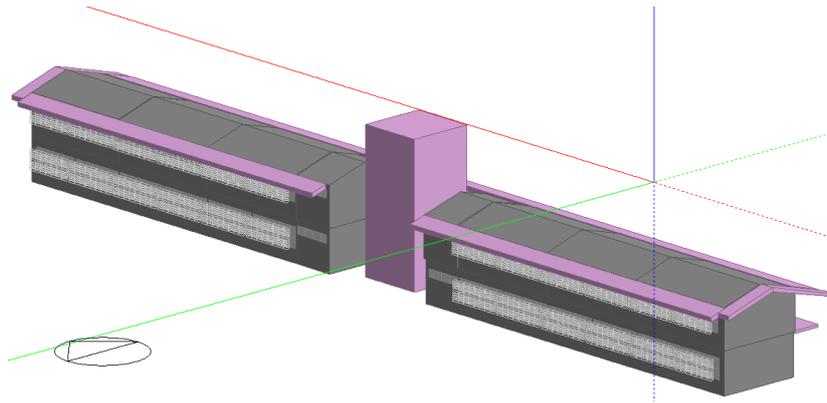


Figura 38 – Edificação com os brises horizontais na fachada oeste (Fonte: DesignBuilder).

3.5 Seleção dos dados gerados na simulação computacional

A partir dos dados gerados na simulação computacional, como valores de temperatura interna, operativa, radiante, umidade relativa, etc., tanto em forma de tabelas como de gráficos, foram selecionados aqueles relevantes para a realização dos objetivos propostos no presente trabalho.

3.5.1. Seleção dos dias típicos de verão e inverno

Primeiramente foi simulada a edificação com os dados climáticos da cidade de Pires do Rio - GO, para os 365 dias do ano, do dia 01 de janeiro a 31 de dezembro. A partir dos dados horários de temperatura foram selecionados os dias típicos de verão e inverno para esta cidade. Para tanto, foram adotados os valores dos dias típicos da cidade de Goiânia – GO, onde a edificação estaria localizada, considerando a norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), sendo que a referida norma define para o dia o dia típico de verão a temperatura de 34,6°C e para o inverno 9,6°C.

A partir destes valores, foram procurados nas temperaturas externas de bulbo seco (*Outside Dry-Bulb Temperature*) os dias do ano que apresentavam estas temperaturas. Desta forma, foram selecionados os dias típicos 18/09 para o verão e 04/06 para o inverno. Nas Figuras 39 e 40 estão apresentados como a seleção foi realizada.

dados horarios - Excel (Falha na Ativaçã

ARQUIVO PÁGINA INICIAL INSERIR LAYOUT DA PÁGINA FÓRMULAS DADOS REVISÃO EXIBIÇÃO

Colar

Área de Transferência

Fonte

Alinhamento

H9

	A	B	C	D	E	F	G
1	Date/Time	Relative Humidi	Fanger	Air Ten	Radiant	Operat	Outside Dry-Bulb Temperatur
6256	18/09/2002 14:00	81,26152	3,293645	34,79523	32,86544	33,83033	34,2
6257	18/09/2002 15:00	91,29204	3,727868	35,16106	33,40492	34,28299	34,875
6258	18/09/2002 16:00	96,40853	3,977782	35,44674	33,83256	34,63965	34,575
6259	18/09/2002 17:00	96,73432	4,098239	35,68593	34,17985	34,93289	34,25
8763							

Figura 39 – Procedimento para seleção do dia típico de verão.

ARQUIVO PÁGINA INICIAL INSERIR LAYOUT DA PÁGINA FÓRMULAS DADOS REVISÃO EXIBIÇÃO

Colar

Área de Transferência

Fonte

Alinhamento

G8770

	A	B	C	D	E	F	G
1	Date/Time	Relative Humidi	Fanger	Air Ten	Radiant	Operat	Outside Dry-Bulb Temperatur
699	04/06/2002 01:00	45,73499	-0,85478	20,1426	21,39503	20,76881	9,875
706	04/06/2002 08:00	46,17756	-1,53082	18,08182	18,89873	18,49027	9,8
763							

Figura 40 – Procedimento para seleção do dia típico de inverno.

3.5.2. Critérios avaliados

A partir da seleção dos dias típicos de verão e inverno, foram avaliados para o primeiro a temperatura horária máxima e o índice PMV⁵ máximo e para o segundo a temperatura horária mínima e o índice PMV mínimo. Foram comparadas as 24 combinações de sistemas de paredes e coberturas para as salas 7 e 8 e os resultados para o dia típico de verão e para o dia típico de inverno, que são apresentados detalhadamente no próximo capítulo.

⁵ O voto médio previsto (PMV, *Predicted Mean Vote*) é um índice empregado na avaliação do conforto térmico, que foi definido por Fanger em 1972. Este índice estima a resposta de um grande grupo de pessoas de acordo com a escala de sensação térmica da norma ASHRAE 55 (2004), norte americana. Os valores negativos representam a sensação de frio, os valores positivos a sensação de calor, e o valor zero a neutralidade térmica. Quanto mais os valores do índice PMV se afastam do zero, menor é o conforto térmico do usuário (MONTEIRO *et al.*, 2015).

3.6 Avaliação segundo o RTQ-C e classificação da ENCE

Após os resultados de desempenho térmico dos diferentes modelos propostos, foi aplicada a metodologia de avaliação presente no manual RTQ-C (Eletrobrás, 2015) para a determinação do nível de eficiência energética da envoltória e determinação da ENCE correspondente ao modelo original (M1) e o modelo que obteve o melhor resultado entre os modelos propostos (M2 ao M24), como é apresentado na Figura 41. Para tanto, os dados de temperatura obtidos nas simulações foram utilizados para a determinação do Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC) para as salas de aula da edificação. Esse procedimento está descrito em detalhes no próximo capítulo.

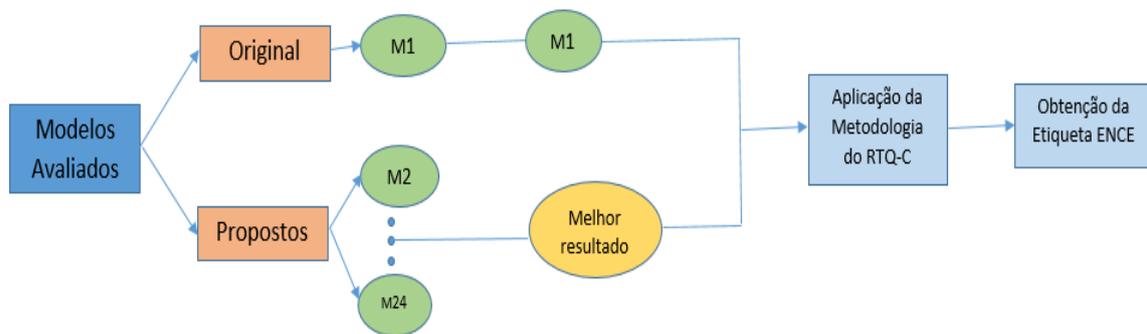


Figura 41 – Esquema do processo para a avaliação segundo o RTQ-C e classificação da ENCE.

(Fonte: Do autor)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Critérios avaliados

A partir da seleção dos dias típicos de verão e inverno, foram avaliados para o primeiro a temperatura horária máxima e o índice PMV máximo e para o segundo a temperatura horária mínima e o índice PMV mínimo. Foram comparadas as 24 combinações para as salas 7 e 8. Na Tabela 19 são apresentados os resultados para o dia típico de verão e na Tabela 20 para o dia típico de inverno. Nas Figuras 41 e 42 são apresentados os valores das temperaturas máximas e índices de PMV encontrados para as salas analisadas, respectivamente.

Como forma de facilitar a visualização dos resultados foi programado uma escala cromática que varia de acordo com os valores encontrados. Quanto maior o valor do Índice PMV mais ele se aproxima do vermelho e quanto menor mais ele se aproxima do verde. Valores médios ficaram próximas à cor amarela.

Tabela 19 – Resultados para o dia típico de verão (18/09).

Dados				Sala 7		Sala 8	
Identificação	Proteção	Parede	Cobertura	Temp do ar horária max (°C)	Índice PMV - Fanger horário max	Temp do ar horária max (°C)	Índice PMV - Fanger horário max
M1	Sem brises	P1	C1	35,28	4,11	35,2	4,12
M2		P2		34,52	3,74	34,7	3,89
M3		P3		34,29	3,63	34,6	3,86
M4		P4		34,32	3,65	34,6	3,88
M5		P1	C2	34,57	3,73	34,5	3,80
M6		P2		33,75	3,32	33,9	3,54
M7		P3		33,53	3,27	33,8	3,52
M8		P4		33,56	3,30	33,9	3,54
M9		P1	C3	34,75	3,90	34,7	3,87
M10		P2		33,99	3,53	34,1	3,63
M11		P3		33,80	3,47	34,1	3,62
M12		P4		33,83	3,49	34,1	3,64
M13	Com brises	P1	C1	35,04	3,98	34,9	3,98
M14		P2		34,31	3,61	34,4	3,77
M15		P3		34,07	3,56	34,3	3,74
M16		P4		34,09	3,58	34,3	3,75
M17		P1	C2	34,30	3,59	34,1	3,64
M18		P2		33,51	3,22	33,6	3,40
M19		P3		33,26	3,14	33,5	3,38
M20		P4		33,28	3,16	33,5	3,39
M21		P1	C3	34,47	3,76	34,3	3,71
M22		P2		33,74	3,41	33,8	3,49
M23		P3		33,53	3,33	33,7	3,47
M24		P4		33,55	3,35	33,8	3,49

Tabela 20 – Resultados para o dia típico de inverno (04/06).

Dados				Sala 7		Sala 8	
Identificação	Proteção	Parede	Cobertura	Temp do ar horária mín (°C)	Índice PMV - Fanger horário mín	Temp do ar horária mín (°C)	Índice PMV - Fanger horário mín
M1	Sem brises	P1	C1	16,40	-2,87	17,6	-1,51
M2		P2		16,26	-2,90	17,5	-1,55
M3		P3		17,49	-2,49	18,4	-1,29
M4		P4		17,93	-2,35	18,7	-1,20
M5		P1	C2	16,92	-2,68	18,3	-1,31
M6		P2		16,74	-2,72	18,1	-1,35
M7		P3		18,09	-2,27	19,1	-1,07
M8		P4		18,57	-2,11	19,5	-0,97
M9		P1	C3	16,96	-2,67	18,3	-1,31
M10		P2		16,78	-2,72	18,1	-1,35
M11		P3		18,08	-2,28	19,1	-1,08
M12		P4		18,54	-2,13	19,4	-0,99
M13	Com brises	P1	C1	16,26	-2,91	17,4	-1,56
M14		P2		16,16	-2,93	17,3	-1,59
M15		P3		17,35	-2,53	18,2	-1,34
M16		P4		17,78	-2,39	18,5	-1,25
M17		P1	C2	16,75	-2,73	18,0	-1,37
M18		P2		16,61	-2,77	17,9	-1,41
M19		P3		17,92	-2,32	18,9	-1,13
M20		P4		18,39	-2,17	19,2	-1,03
M21		P1	C3	16,79	-2,73	18,1	-1,37
M22		P2		16,65	-2,76	17,9	-1,41
M23		P3		17,91	-2,33	18,9	-1,14
M24		P4		18,36	-2,19	19,2	-1,06

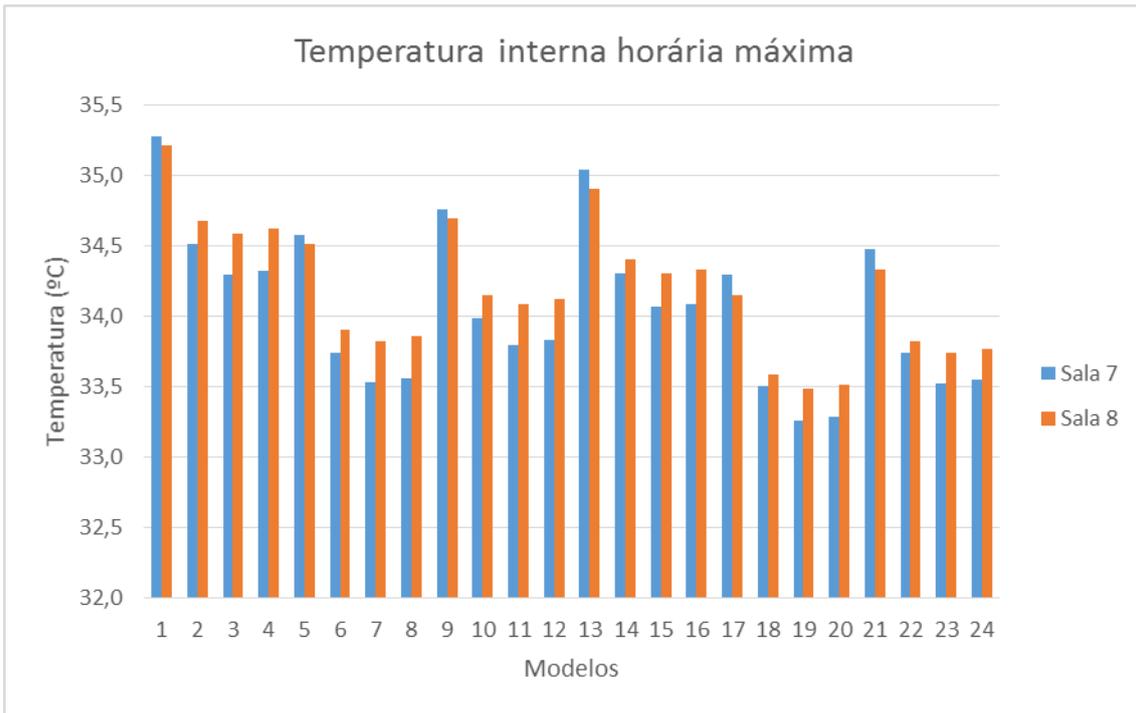


Figura 41 – Temperaturas internas horárias máximas para dia de verão.

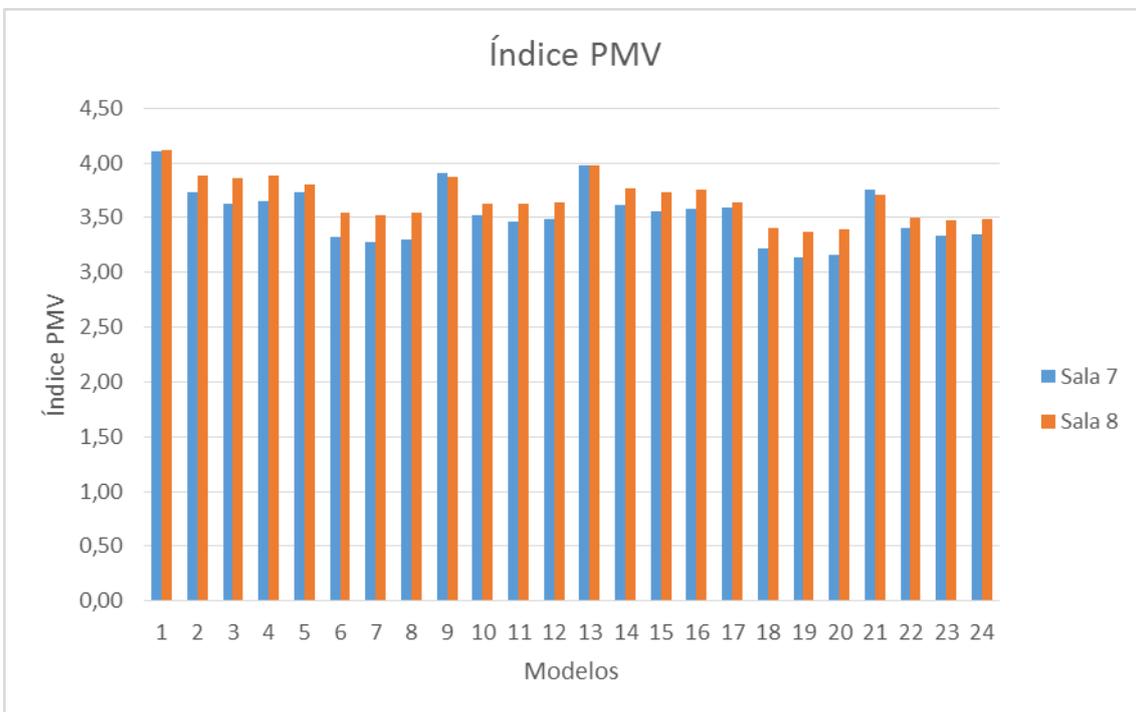


Figura 42 – índice PMV máximos para o dia de verão.

É possível observar que o sistema original (M1) composto por parede de blocos cerâmicos com revestimento interno em argamassa, cobertura com laje de concreto e telhas cerâmicas apresentou maiores valores de temperatura horária máxima e o índice de Fanger PMV. Nota-se que as modificações propostas resultam na melhoria do desempenho térmico, diminuindo as temperaturas máximas internas.

Comparando as duas salas, 7 e 8, as temperaturas e o índice PMV foram maiores para a sala 8, na maioria dos casos.

Esperava-se que os sistemas compostos da parede de 8 furos assentados na maior dimensão apresentassem os melhores resultados, no entanto, provavelmente devido ao valor da capacidade e inércia térmica, a temperatura máxima foi maior que os sistemas compostos da parede de 6 furos. Outra desvantagem da parede de 8 furos em relação à de 6 furos é sua maior espessura. Desta forma o sistema mais vantajoso é o M19, para ambas as salas. Este sistema conseguiu uma redução de 2,02°C para a sala 7 e 1,73°C para a sala 8.

Foi avaliado se os sistemas atendem os critérios definidos na norma de desempenho (ABNT NBR 15.575-1: 2013), para as condições de verão e inverno. Sabe-se que a norma de desempenho está voltada para edificações habitacionais, no entanto, por não existir outras normas brasileiras, ela foi utilizada como critério para a avaliação.

Para que esta norma seja atendida, pelo menos na classificação⁶ de mínimo desempenho (M), dois critérios precisam ser atendidos: (a) dia típico de verão: as temperaturas internas necessitam ser menores que a temperatura horária máxima externa de um dia típico de verão, neste caso foi 34,9°C; (b) dia típico de inverno: as temperaturas internas necessitam ser maiores que a temperatura horária mínima externa de um dia típico de inverno acrescida de 3°C, neste caso foi 10,7°C.

Para o critério de inverno todos os sistemas atendem a norma. Os sistemas compostos das paredes originais (P1) apresentaram valores de temperaturas mais baixas e menores valores do índice PMV, enquanto os sistemas com as paredes P4 apresentaram temperaturas maiores e maiores valores de índice PMV, mais próximos ao valor neutro (zero). Estes resultados foram consequência da maior capacidade e inércia térmica dos sistemas de parede P3 e P4 principalmente. Já para o critério de

⁶ Na ABNT NBR 15.575: 2013 existem três níveis de classificação do desempenho obtido: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

verão os sistemas na configuração original (M1) e original com brises (M13) não atendem, enquanto os sistemas com modificação nas paredes e coberturas atendem.

Desta forma, segundo a norma de desempenho térmico vigente, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), conclui-se que o sistema original (Modelo M1) atualmente empregado nos projetos destas edificações escolares não é recomendado em termos do desempenho térmico, para as condições de verão, o que provavelmente irá refletir nas questões de consumo de energia para a climatização do ambiente. O sistema M19 com parede de 6 furos assentada na maior dimensão (com 19 cm de espessura), cobertura com laje de concreto de 20 cm e telhas cerâmicas de 1cm, com brises foi o que apresentou o melhor desempenho térmico.

4.2 Avaliação da Envoltória Segundo os Requisitos do RTQ - C

Os resultados de desempenho térmico obtidos foram avaliados conforme os requisitos presentes no Manual RTQ – C (PROCEL, 2015), voltado para edificações comerciais, de serviço e públicas do Procel Edifica.

Foram pesquisados os requisitos a fim de atender a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) Parcial – Envoltória. Foi verificada que a edificação escolar estudada se enquadra em “Ambientes naturalmente ventilados ou não condicionados”.

De acordo com o manual: “Para edifícios naturalmente ventilados ou que possuem áreas de longa permanência não condicionadas, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas”.

Desta forma, foi verificado o Percentual de Horas Ocupadas em conforto (POC) para as doze salas de aula da edificação escolar e qual a classificação final da ENCE obtida, de acordo com a Tabela 21.

Tabela 21 – Percentual de horas ocupadas (POC), equivalente numérico e classificação final das envoltórias.

Fonte: Manual RTQ-C – Versão 3 (ELETROBRAS, 2015) - adaptado.

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV ¹	Classificação Final
POC ≥ 80%	5	A
70% ≤ POC < 80%	4	B
60% ≤ POC < 70%	3	C
50% ≤ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

¹ Equivalente numérico de Ventilação.

A partir dos dados horários de temperatura operativa gerados na simulação no DesignBuilder, para as doze salas, foram contabilizados a POC para o modelo M1 (original), de pior desempenho térmico e o M19, de melhor desempenho.

Para tanto, foi adotado a Temperatura Operativa Neutra (TON) baseada na ASHRAE 55 (2004) que adota um novo índice para avaliação térmica de ambientes condicionados naturalmente, de acordo com a Equação 3.

$$TON = 17,8 + 0,32 \times Text \quad Eq. 3$$

Onde:

TON = Temperatura operativa neutra (°C).

Text = Temperatura horária externa de bulbo seco (°C).

Foi adotado o intervalo de $\pm 4^{\circ}\text{C}$, em que 80% dos usuários estão confortáveis, resultando na Temperatura Operativa Final (TONf), de acordo com a Equação 4.

$$TONf = 4 + TOn \quad \text{Eq. 4}$$

TONf = Temperatura operativa neutra final ($^{\circ}\text{C}$).

Para a geração da POC, foram contabilizadas as temperaturas operativas horárias geradas na simulação que resultaram menor que a TONf e ao final foi obtido o valor percentual a partir do total de 8760h (1 ano de simulação). Os resultados encontrados estão apresentados nos Tabelas 22 e 23 e na Figura 43.

Tabela 22 – Avaliação modelo M1.

Salas	POC M1	Nível	EqNumV	Área (m ²)	Coefficiente de ponderação	EqNumV Ponderado
Sala 1	68	C	3	48	0,083	0,25
Sala 2	58	D	2	48	0,083	0,17
Sala 3	62	C	3	48	0,083	0,25
Sala 4	63	C	3	48	0,083	0,25
Sala 5	59	C	3	48	0,083	0,25
Sala 6	64	C	3	48	0,083	0,25
Sala 7	68	C	3	48	0,083	0,25
Sala 8	61	C	3	48	0,083	0,25
Sala 9	63	C	3	48	0,083	0,25
Sala 10	64	C	3	48	0,083	0,25
Sala 11	63	C	3	48	0,083	0,25
Sala 12	68	C	3	48	0,083	0,25
			Soma	576	1	2,92

Tabela 23 – Avaliação modelo M19.

Salas	POC M19	Nível	EqNumV	Área (m ²)	Coefficiente de ponderação	EqNumV Ponderado
Sala 1	88	A	5	48	0,083	0,42
Sala 2	80	A	5	48	0,083	0,42
Sala 3	83	A	5	48	0,083	0,42
Sala 4	82	A	5	48	0,083	0,42
Sala 5	80	A	5	48	0,083	0,42
Sala 6	88	A	5	48	0,083	0,42
Sala 7	82	A	5	48	0,083	0,42
Sala 8	74	B	4	48	0,083	0,33
Sala 9	76	B	4	48	0,083	0,33
Sala 10	77	B	4	48	0,083	0,33
Sala 11	76	B	4	48	0,083	0,33
Sala 12	84	A	5	48	0,083	0,42
Soma				576	1	4,67

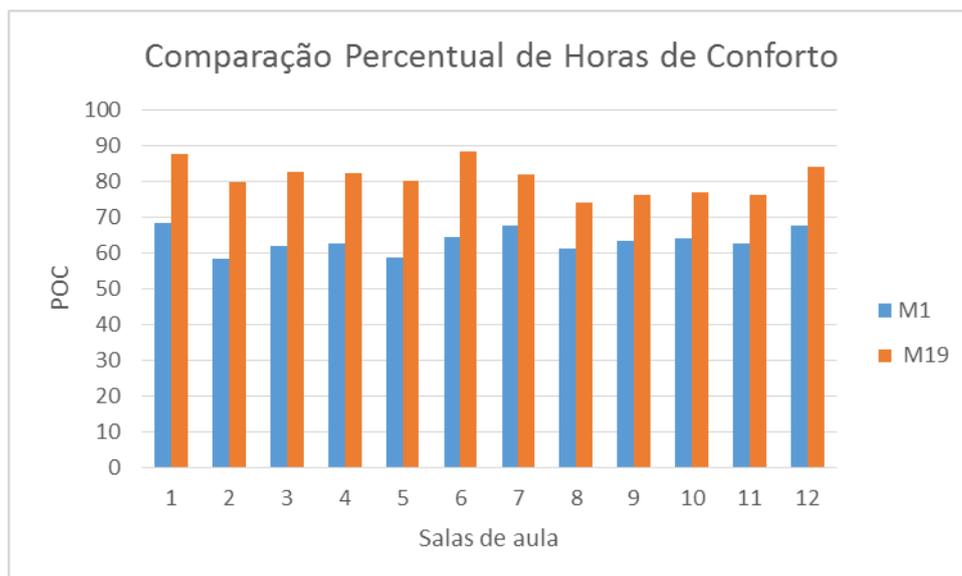


Figura 43 – Comparação POC para Modelos M1 e M19.

A partir dos resultados observa-se uma diferença considerável entre a POC do modelo M1 e o M19, o que reflete na classificação das envoltórias, indo da classificação nível “C” no modelo M1 (Equivalente numérico 2,92) para “A” no modelo M19 (Equivalente numérico 4,67).

5. CONCLUSÕES

5.1 Considerações finais

Na presente dissertação foi avaliada a envoltória (vedações verticais e cobertura) de um edifício escolar de salas de aula padrão do município de Goiânia-GO. Foram propostas modificações da envoltória do edifício, resultando em 24 modelos no total (original e propostos). Foi comparado o sistema de vedação vertical e cobertura original com sistemas recomendados pela ABNT NBR 15220-3:2005 e, com ausência e presença de brises, para a Zona Bioclimática nº 6, onde o município de Goiânia está localizado.

Foram avaliados dois critérios para os sistemas: a temperatura interna do ar no edifício e índice de conforto térmico PMV proposto por Fanger para duas salas de aula e para os 24 modelos, resultando em 48 simulações. As simulações foram realizadas no software DesignBuilder.

O sistema original M1, composto por parede de tijolos cerâmicos com revestimento interno de argamassa, cobertura com laje de concreto e telhas cerâmicas apoiadas diretamente sobre a laje apresentou pior desempenho e conforto térmico. O sistema M19 composto por parede de blocos de seis furos assentados na maior dimensão, com revestimento de argamassa nos lados internos e externo, e presença de brises nas aberturas, apresentou os melhores resultados de desempenho e conforto térmico.

Quando comparadas as duas salas, 7 e 8, a sala 8 apresentou piores resultados de desempenho e conforto térmico.

Por fim, o edifício no sistema M19 foi avaliado conforme os requisitos do RTQ – C, voltado para edificações comerciais, de serviço e públicas do PBE Edifica a fim de atender a ENCE Parcial – Envoltória para “Ambientes naturalmente ventilados ou não condicionados”.

Os resultados demonstram a modificação da classificação final da ENCE, que passou de uma classificação mediana (nível C) para do modelo original (M1) para o de máximo desempenho (nível A), com consideráveis implicações na temperatura interna e no percentual de horas em conforto dos usuários, sem a necessidade de emprego de sistemas de climatização mecanizados e de elevado consumo energético. A classificação da envoltória no método prescritivo para o edifício original obteve

classificação C, o que demonstra que tanto a simulação como o método prescritivo apresentaram resultados similares, apesar das críticas observadas relativas aos métodos de cálculo e pré-requisitos do primeiro.

Desta forma, a principal contribuição deste trabalho foi mostrar que é possível melhorar questões relacionadas ao desempenho térmico, conforto térmico e eficiência energética por meio de modificações nos materiais da envoltória do edifício. Os resultados aqui apresentados poderão subsidiar a tomada de decisão de projetistas e gestores públicos para a otimização dos edifícios atualmente desenvolvidos, tanto para o atendimento das normas técnicas e consequente melhoria do desempenho termo energético, como visando a questão da economia de recursos gastos tão caros à administração pública e ao contribuinte.

Por fim, deve ser ressaltada que a aplicação do RTQ-C e a simulação computacional é ainda um processo complexo e em alguns casos restritiva, principalmente quando se pensa em nível de gestão pública municipal, onde a escola está inserida. Um dos motivos é o fato da preocupação com a eficiência energética ainda ser recente no setor de edificações e também pela falta de profissionais qualificados. No entanto, com a crescente preocupação e tendência da obrigatoriedade de medidas de eficiência energética nas edificações, além das edificações federais onde a aplicação da RTQ-C já é obrigatória, é esperado que sua aplicação se torne mais difundida no país, englobando outros níveis da esfera pública do governo assim como a esfera privada.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Baseado nos resultados e desafios encontrados no decorrer desse trabalho, seguem sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliação de outros sistemas construtivos, como alvenaria de blocos de concreto, sistemas industrializados como *light steel framing*, paredes de concreto, etc;
- Avaliação dos níveis de conforto e influência no consumo energético segundo diferentes taxas de ocupação nas salas de aula;

- Aplicação da Avaliação Pós-Ocupação (APO) aplicada às edificações escolares e verificação com os resultados apresentados na simulação computacional;
- Influência de elementos de sombreamento na iluminação natural dos ambientes internos segundo orientações distintas e o impacto na eficiência energética;
- Avaliação do consumo de energia associado à climatização das salas de aula para as diferentes envoltórias;
- Previsão das emissões de dióxido de carbono (CO₂) associados ao consumo de energia nas salas de aula;
- Emprego da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a fim de verificar a relação entre desempenho térmico, eficiência energética e potenciais impactos ambientais da edificação;
- Expansão da metodologia utilizada para outros tipos de edifícios públicos (administração, saúde e etc.).
- Desenvolvimento de arquivo de dados climáticos para o município de Goiânia.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.215-1: Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos Básicos e Definições.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.220-2: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** ABNT, 2008. 34p.

_____. **NBR 15.220-3: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** ABNT, 2005. 30p.

_____. **NBR 15.575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais.** ABNT, 2013.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27&idPerfil=2&idiomaAtual=0>. Acesso em 12 de dezembro de 2014.

AMORIM, C. N. D. **Desempenho Térmico de Edificações e Simulação Computacional no Contexto da Arquitetura Bioclimática: Estudo de Caso na Região de Brasília.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, 1998.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. (2004). **Standard 55-2004**, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: ASHRAE.

BRASIL. Decreto 4.059 de 19.dez.01. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001a, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 20.dez.2001a.

_____. Lei 10.295, de 17.out.01 – “Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 18.out.2001b.

_____. Instrução Normativa MPOG/SLTI Nº2, de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. D.O.U., Brasília, DF, 05.jun.2014. Páginas 102 e 103. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=102&totalArquivos=164>. Acesso em 03 de março de 2015.

BRISE BR. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/pesquisa/lab_nuc/labaut/conforto/index.html> Acesso em 11 de outubro de 2015.

BROWN, G. Z.; DEKAY, A. S. M. **Sol, Vento e Luz**. Porto Alegre: Bookman, 2004, 416p.

BUORO, A. B.; HERNANDES NETO, A.; GONÇALVES, J. C. S.; HARRIS, C. **A certificação ambiental de edifícios**. In GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.) Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 21. p.523-543.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. Disponível em: http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho.pdf. Acesso em 06 de junho de 2015.

CAMPOS, N. L. F.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; LAMBERT, J. A.; DURANTE, L. C. **Avaliação do desempenho térmico de edificação pública em Cuiabá, MT: estudo de caso**. In Monografias Ambientais. V.7, p. 1670 – 1688, Mar-Jun, 2012.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação de Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2008.

CRUZ E SILVA, Viviane de Sousa. **A Influência dos Protetores Solares no Comportamento da Luz Natural em Edifícios de Escritórios**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – programa de Pós Graduação e Pesquisa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UNB, Brasília, 2011.

DESIGNBUILDER. Site oficial. Disponível em <<http://www.designbuilder.co.uk>>. Acesso em 05 de outubro de 2015.

EDWARDS, Brian. **O Guia Básico para a Sustentabilidade**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2008.

ELETOBRÁS; PBE EDIFICA; INMETRO. **Manual para a aplicação do RTQ-C: Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Volume 4.1, Versão 3, 2015. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual-rtqc_V4.pdf. Acesso em 10 de janeiro de 2015.

_____. **Diretrizes gerais para promover a etiquetagem pbe edifica em edificações públicas através de retrofit**. 2015. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/DiretrizesEficienciaEnergeticaEdificacoesPublicasRetrofit.pdf>. Acesso em 10 de janeiro de 2015.

_____. **Manual para a etiquetagem de edificações públicas – gestor público**. 2014. Disponível em:

http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_Etiquetagem_Edificacoes_Publicas.pdf. Acesso em 10 de janeiro de 2015.

_____. **Diretrizes para a obtenção da classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas.** 2014. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Manual-A.pdf>. Acesso em 03 de março de 2015.

_____. **Web prescritivo: Ferramenta de avaliação de eficiência energética de edificações comerciais pelo método prescritivo do RTQ-C.** Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>. Acesso em 20 de fevereiro de 2015.

ELETROBRÁS; PROCEL EDIFICA; UFSC. **ProjeteEEE: Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.** Disponível em: <http://projeteeee.ufsc.br/>. Acesso em 06 de maio de 2015.

FERNANDES, António Manuel C. P. **Clima, homem e arquitetura.** Goiânia: Trilhas Urbanas, 2006.

FROTA, A. **Geometria da insolação.** 1ª edição. São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico.** 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Confort climate analysis and building design guidelines.** Energy and Buildings, v. 18, p. 11-23.1992.

GONÇALVES, J. C. S.; BAKER, N. **A reabilitação de edifícios.** In GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.) Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 16. p.399-416.

GONÇALVES, J. C. S.; MOURA, N. C. S.; KUNIOCHI, E. M. U. **Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico.** In GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.) Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 11. p.297-312.

HERNANDEZ, A. **Fundamentos da simulação energética de edificações** In GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.) Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 10. p.285-295.

JOURDA, Françoise-Hélène. **Pequeno manual do projeto sustentável.** Barcelona: Gustavo Gili, 2012.

KEELER, Marian.; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis.** Porto Alegre: Bookman, 2010.

KLÜSENER, C. S. **Aplicação do regulamento para a etiquetagem no nível de eficiência energética de edifícios: o caso do centro de Tecnologia da UFSM.** Santa Maria, RS. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2009.

KNOP, S. **Comportamento termoenergético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas**. Pelotas, RS. Universidade Federal de Pelotas (UFP), 2012. 142 p.

KWOK, A.; GRONZIK, W. T. **Manual de arquitetura ecológica**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 2ª edição.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014. 366p.

LAMBERTS, R.; MACIEL, A. **Base de dados de apoio ao projeto de edificações eficientes**. Florianópolis: FEESC, LabEEE, Eletrobrás, PROCEL, 2005. 43p

LAMBERTS, R.; SCALCO, V. A.; MONTES, M. A. T.; VERSAGE, R. S. **Brasil, Plano nacional de Eficiência Energética, etiquetagem e o selo Casa Azul da Caixa**. In GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.) **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 22. P.545-571.

LAMBERTS, R. et al. **Apostila de Desempenho térmico em edificações**. Florianópolis: LabEEE, 2007. 182p.

LEDER, Solange Maria; LIMA, Amanda V. Pessoa. **Sombreamento e transferência de calor na envoltória da edificação**. In: III ENANPARQ - Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva**. São Paulo, 2014, 10p.

LEITE, Carlos; AWAD, Juliana. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012. 264p.

MAIA, José Luiz Pitanga (org). **Manual de prédios eficientes em energia elétrica**. Rio de Janeiro: IBAM/ELETROBRÁS/PROCEL, 2002.

MASCARÓ, Juan Luis (org). **O custo das decisões arquitetônicas**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2006. 4ª edição.

MELO, A. P. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2007, 111p.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional, 2015**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf. Acesso em: 23 de novembro de 2015.

MONTEIRO, L. M.; BITTENCOURT, L.; YANNAS, S. **Arquitetura da Adaptação**. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 1. p. 27-55.

MOREIRA, L. M. P. S. **Estudo do nível de eficiência energética de edifício escolar em Goiânia – GO**. Monografia (especialização em Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, 2015.

NICOLETTI, A. M. A.; AMORIM, C. N. D. **Análise do Desempenho térmico de envoltória através da aplicação da metodologia prescritiva da etiquetagem de eficiência energética de edificações.** In: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, X, 2009, Natal. São Paulo: ANTAC/UFRN, 2009, 8p. CD-ROM.

NICOLETTI, A. M. A. **Eficiência Energética em um Ministério da Esplanada em Brasília: propostas para Retrofit de Envoltória.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, 2009, 235p.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** 4ª Ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

OLIVEIRA, Bruno Gabriel Freitas. **Análise do desempenho energético de edificações: aplicação analítica do RTQ-C no edifício do Ceamazon.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, 2013, 162p.

PEDRINI, A.; VENÂNCIO, R. **Treinamento para o programa Design Builder.** Labcon – Laboratório de Conforto Ambiental, UFRN, 2009, 73p.

PREFEITURA DE GOIÂNIA – SEINFRA (Secretaria Municipal de Infra Estrutura). **Especificações de Arquitetura: Escola Municipal Padrão 2003 – Revisão 2009.** 2009

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

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse.** 3ª Edição. Oxford: Elsevier, 2008.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012.

ROMÉRO, M. A. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** São Paulo: Pro Editores, 2000.

ROMÉRO, M. A. **Retrofit e APO – Conforto Ambiental e Conservação de Energia/Eficiência Energética.** In: Romero, M. A. B (Org.). *Tecnologia e Sustentabilidade para a Humanização dos Edifícios de Saúde.* Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2011. Cap. 1. p. 13-52.

RORIZ, M. **Arquivos climáticos de municípios brasileiros.** ANTAC, 2012. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf. Acesso em 20 de janeiro de 2015.

SACRAMENTO, A. S.; BITTENCOURT, L.S. **Regulamento técnico da qualidade (RTQ) para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos e padrões arquitetônicos.** In: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, X, 2009, Natal. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFRN, 2009, 10p. CD-ROM.

SANTOS, I. G. **Análise de envoltória e do sistema de iluminação a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e de proteções solares.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2009, 146p.

SERRA, R. **Arquitectura y climas.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1999.

SOUZA, M. de A. S. **Energia e arquitetura: a importância dos padrões de consumo e produção da sociedade frente ao desafio da sustentabilidade** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, X, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC/USP, 2004, 10p. CD-ROM.

SOUZA, R. V. G. **Aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética em Edificações – Estudo de Caso da Escola de Arquitetura – UFMG.** In: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, X, 2009, Natal. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFRN, 2009, 10p. CD-ROM.

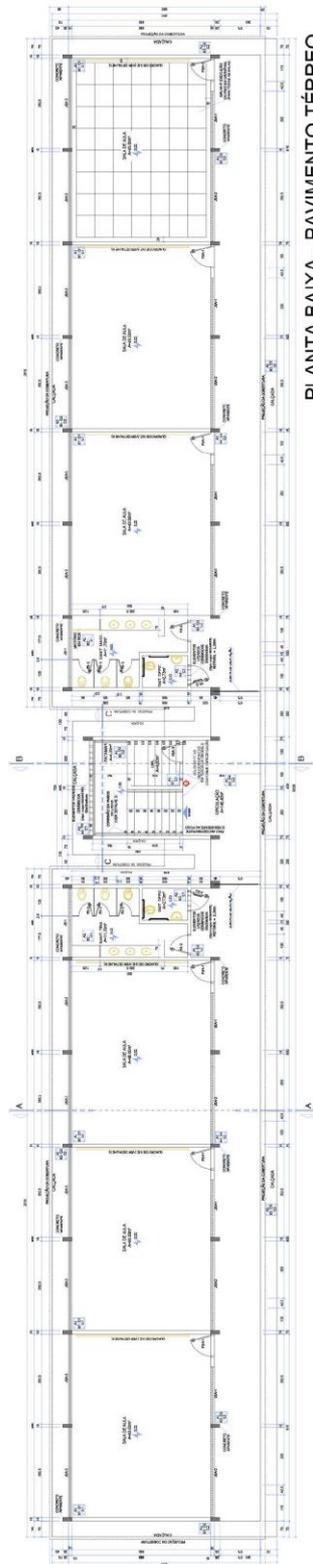
VENÂNCIO, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFRN, 2007, 221p.

ANEXOS

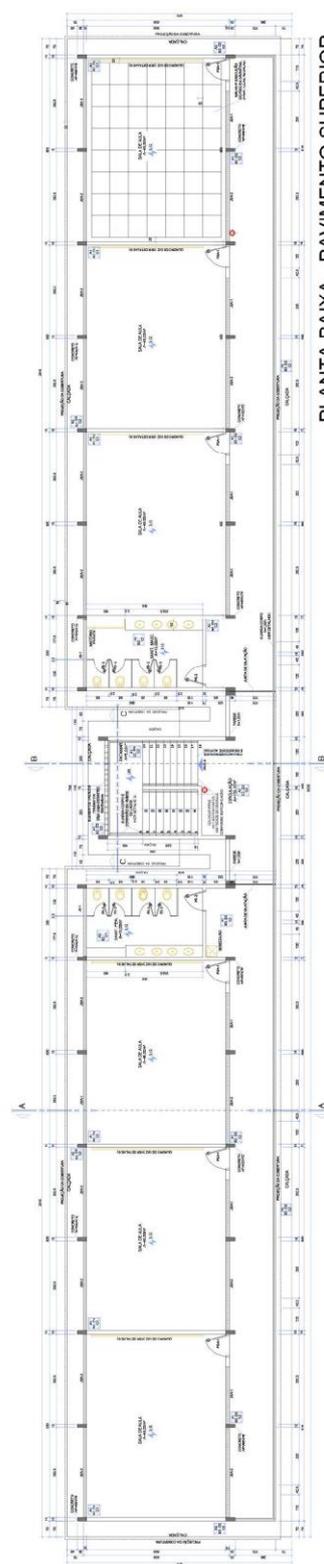
ANEXO I

Projeto de Arquitetura Padrão para Blocos de Salas e Aula

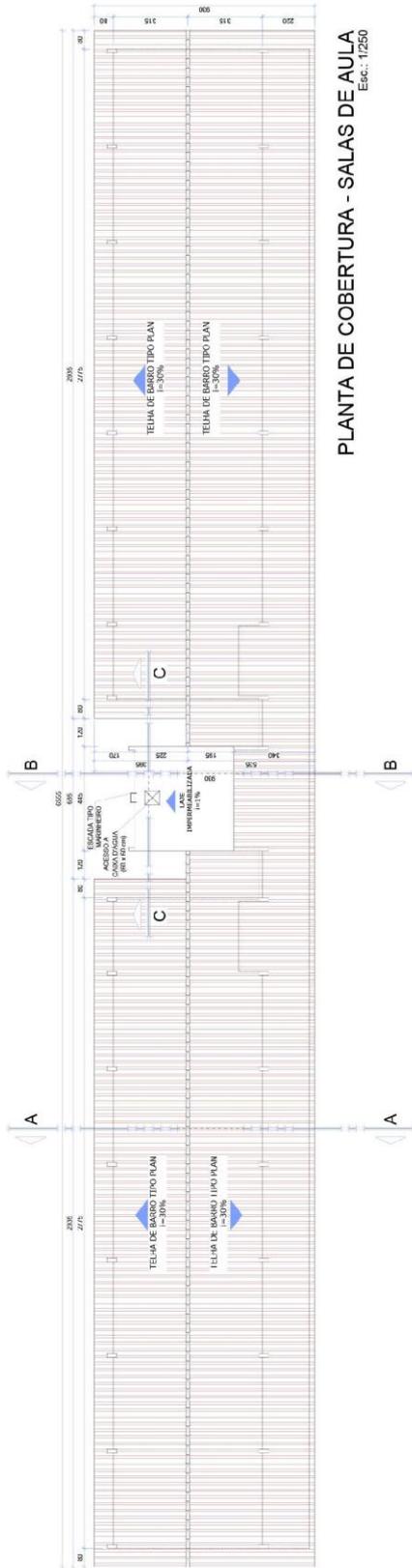
Fonte: SEMOB – Prefeitura de Goiânia (2014)



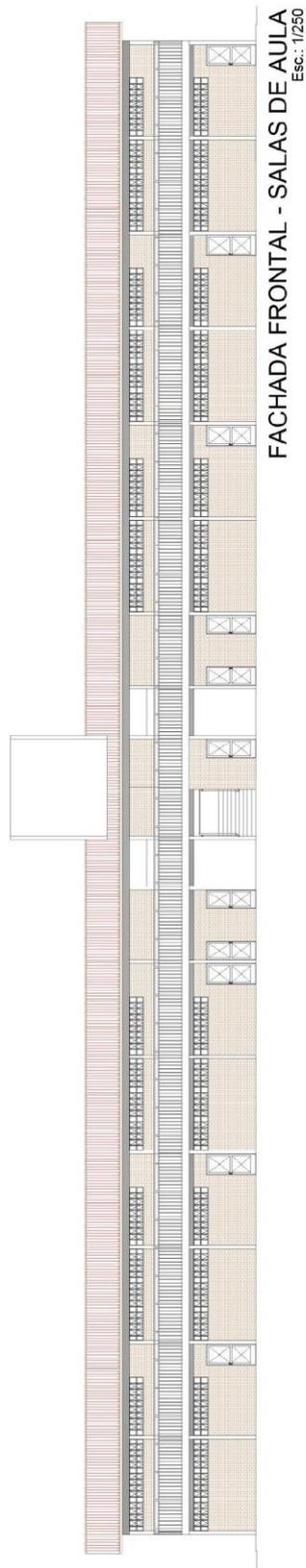
PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TÉRREO
SALAS DE AULA
Esc: 1/250



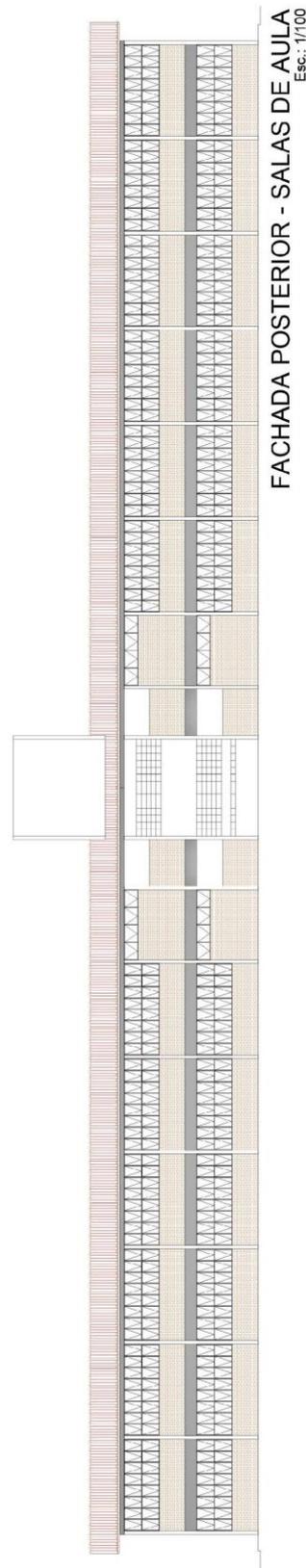
PLANTA BAIXA - PAVIMENTO SUPERIOR
SALAS DE AULA
Esc: 1/250



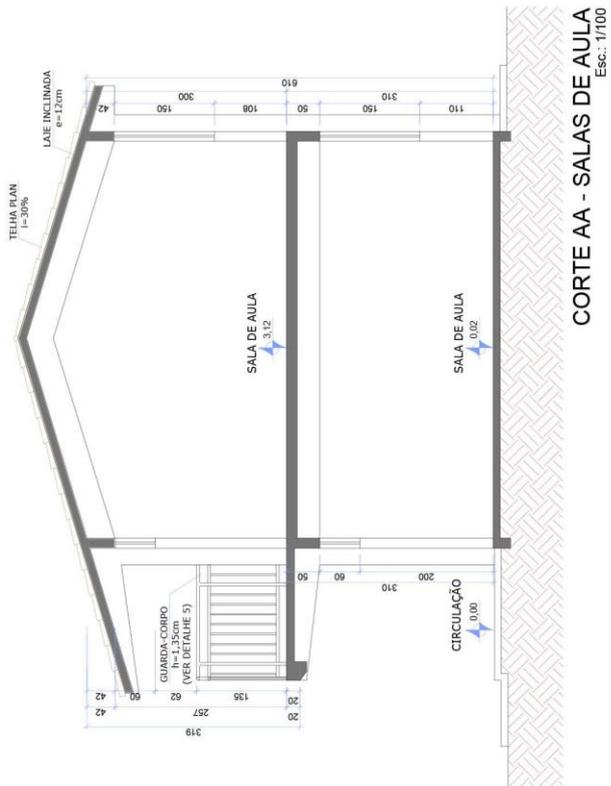
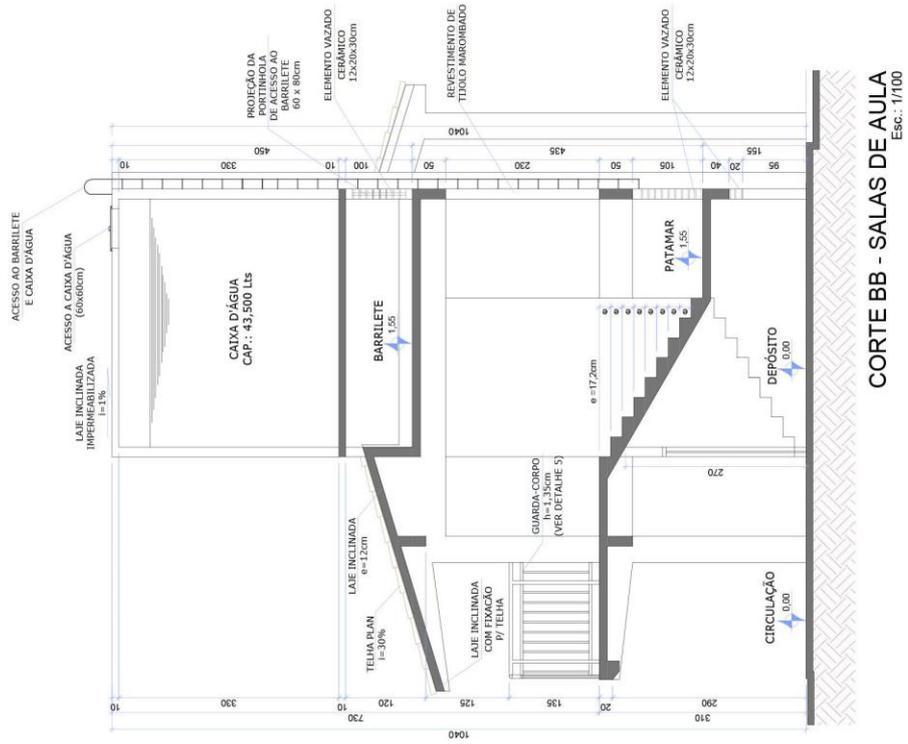
PLANTA DE COBERTURA - SALAS DE AULA
Esc.: 1/250

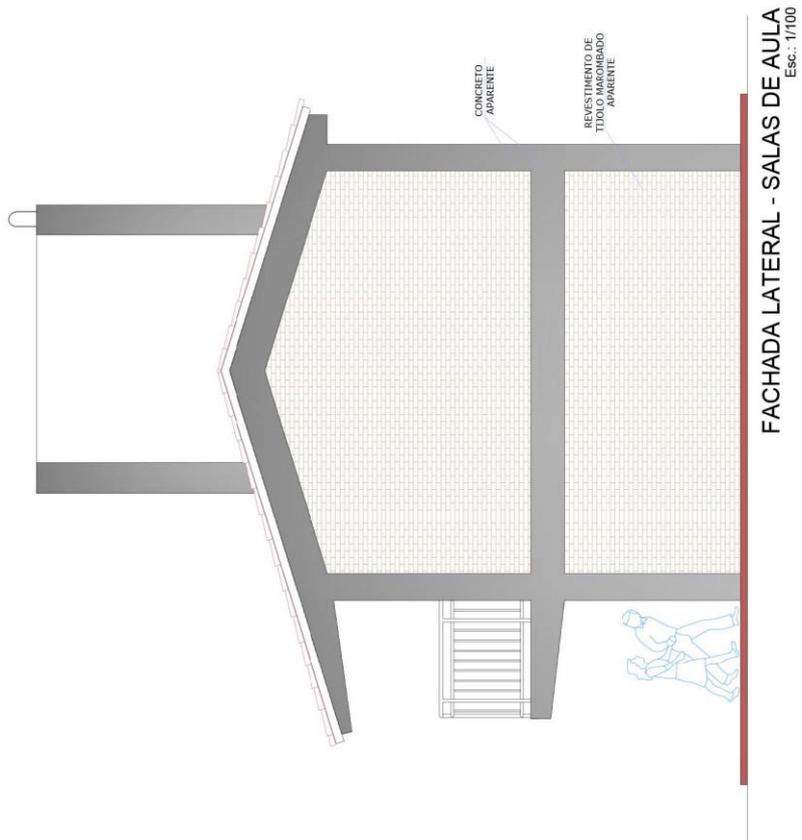
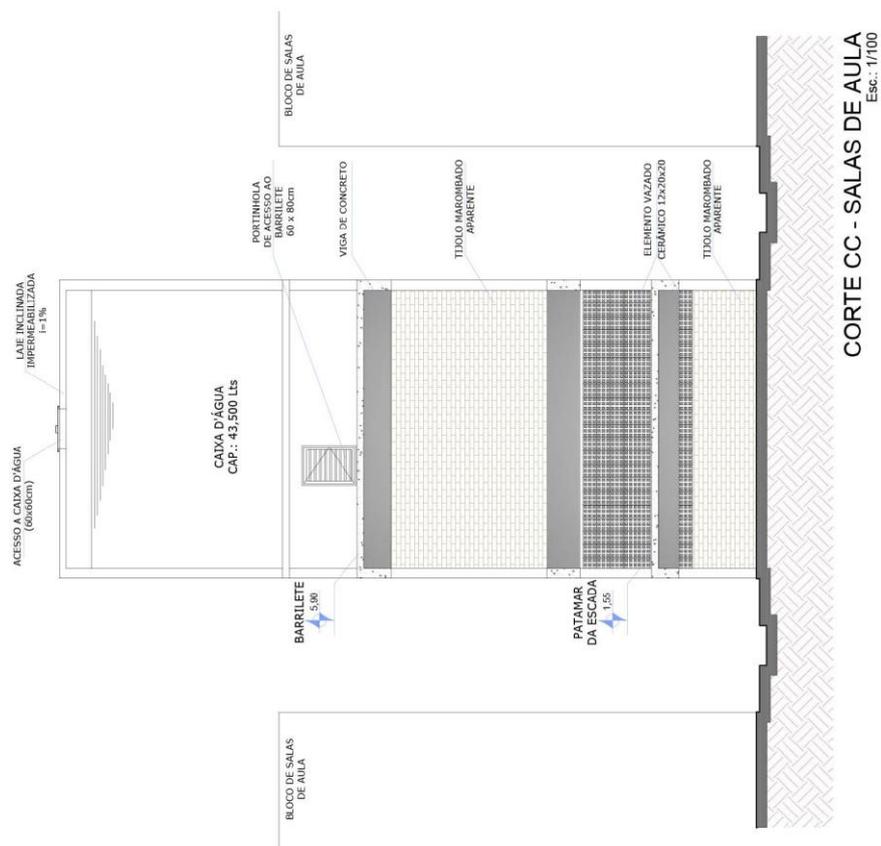


FACHADA FRONTAL - SALAS DE AULA
Esc.: 1/250



FACHADA POSTERIOR - SALAS DE AULA
Esc.: 1/100





TABELAS ESPECIFICAÇÕES E ABERTURAS – BLOCO SALAS DE AULA PADRÃO

Fonte: SEMOB – Prefeitura de Goiânia (2014)

ESPECIFICAÇÕES					
<table border="1" style="width: 40px; height: 40px; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">A</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">D</td></tr> </table>	A	B	C	D	<p>Letra A: Especificação de Piso Letra B: Especificação de Paredes Letra C: Especificação de Teto Letra D: Especificação de Detalhes</p> <p>A1: Piso e rodapé em granitina polida na cor platina. A2: Piso cerâmico 20x20cm branco, com rejunte na cor branca. A3: Piso em concreto desempenado.</p> <p>B1: Pintura com tinta PVA na cor branca acima do barrado. Barrado de 1,60m pintado com tinta esmalte sintético brilhante, na cor verde 601 da Sumaré ou equivalente de outras marcas. B2: Revestimento cerâmico 20x20cm branco do piso ao teto, com rejunte na cor branca. B3: Tijolo marombado aparente.</p> <p>C1: Teto rebocado e pintado com tinta PVA na cor branca assim como as vigas. C2: Teto rebocado e pintado com tinta PVA na cor branca com vigas em concreto aparente.</p> <p>D1: Quadro em Fibra de Eucalipto Prensada. D2: Pilares e Vigas em Concreto Aparente .</p>
A					
B					
C					
D					

QUADRO DE ABERTURAS - ADMINISTRAÇÃO				
PORTAS (L x h)	QTDE.	TIPO	MATERIAL	
PS -1= 0,60 x 1,65m	12	ABRIR	METÁLICA	
PS -2= 0,80 x 2,10m	05	ABRIR	METÁLICA	
PS -3= 0,80 x 2,10m	02	ABRIR	METÁLICA ADAPTADA	
PSA-1= 0,90 x 2,10m	12	ABRIR	METÁLICA	
JANELAS (L x h)	PEITORIL	QTDE.	TIPO	MATERIAL
JS - 1 = 3,00 x 0,60m	2,00m	04	BASC.	FERRO E VIDRO
JSA - 1 = 2,50 x 0,60m	2,00m	12	BASC.	FERRO E VIDRO
JSA - 2 = 3,90 x 0,60m	2,00m	12	BASC.	FERRO E VIDRO
JSA - 3 = 3,50 x 1,50m	1,10m	24	BASC.	FERRO E VIDRO

ANEXO II

Dados climáticos de Goiânia-GO e Pires do Rio -GO

Fonte: Projeteer / UFSC (acesso em 16 de outubro de 2015).

Figura 1: Temperaturas médias mensais para Goiânia-GO

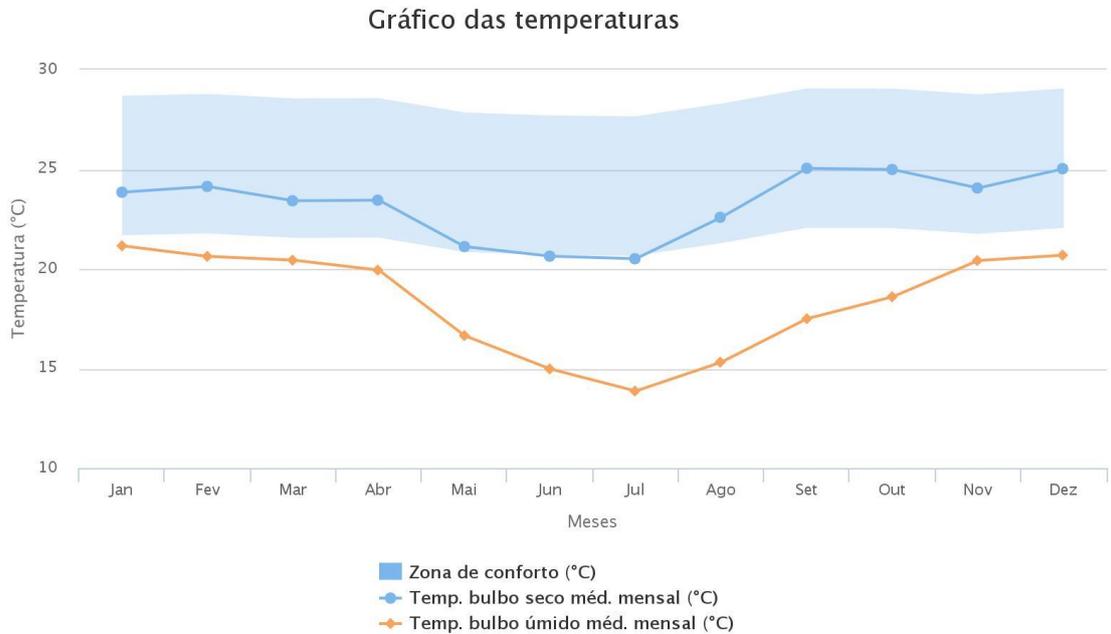


Figura 2: Temperaturas médias mensais para Pires do Rio-GO

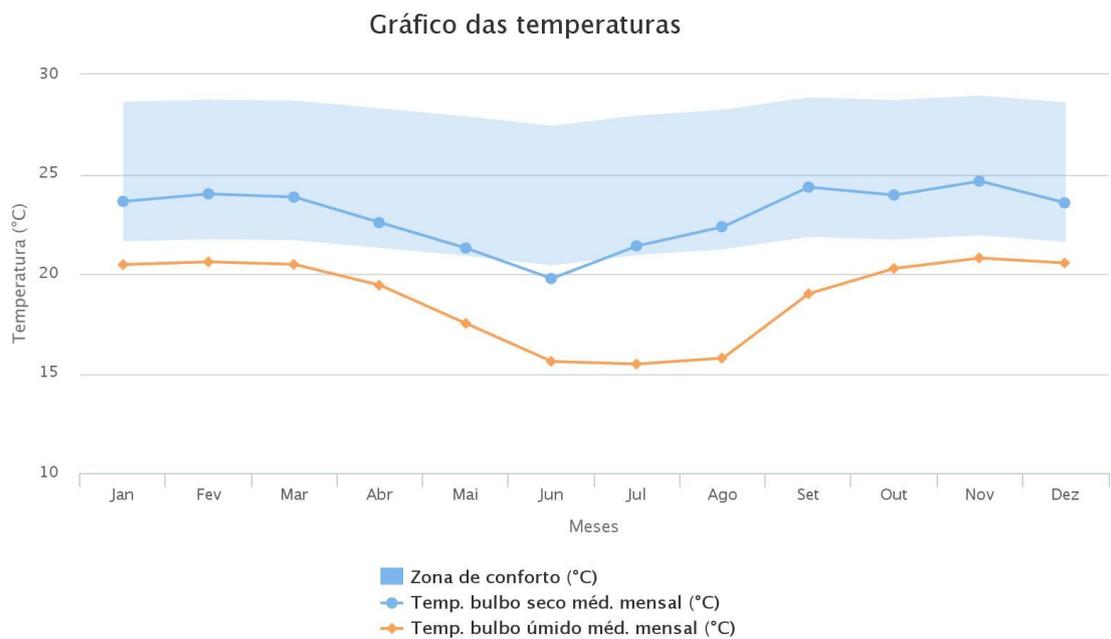


Figura 3: Umidade relativa média mensal para Goiânia-GO

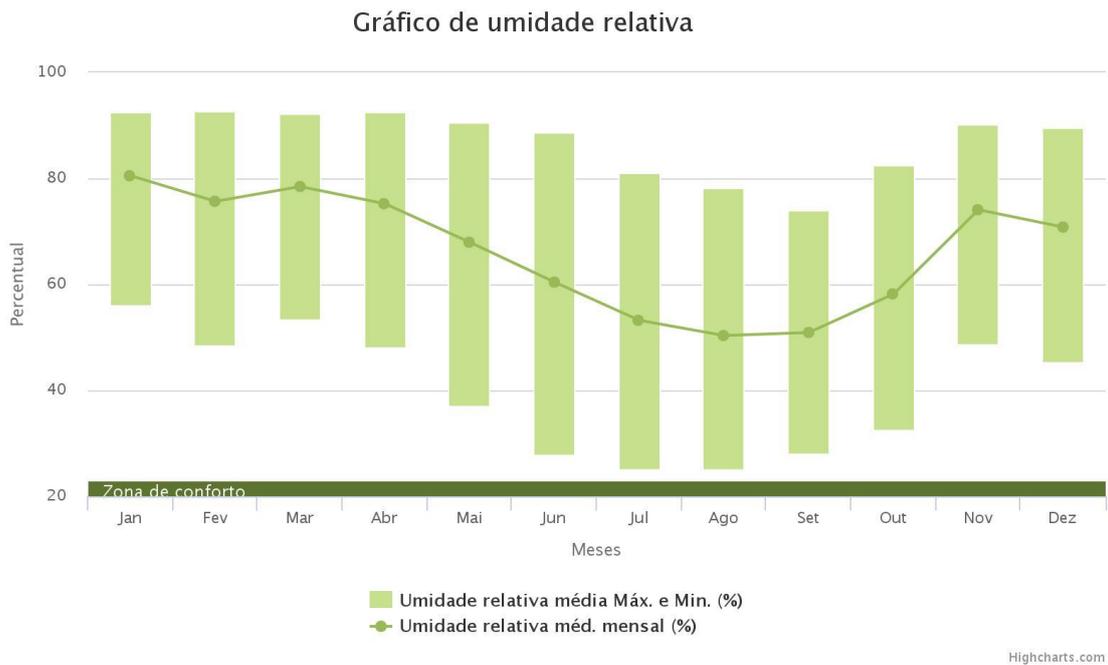


Figura 4: Umidade relativa média mensal para Pires do Rio-GO

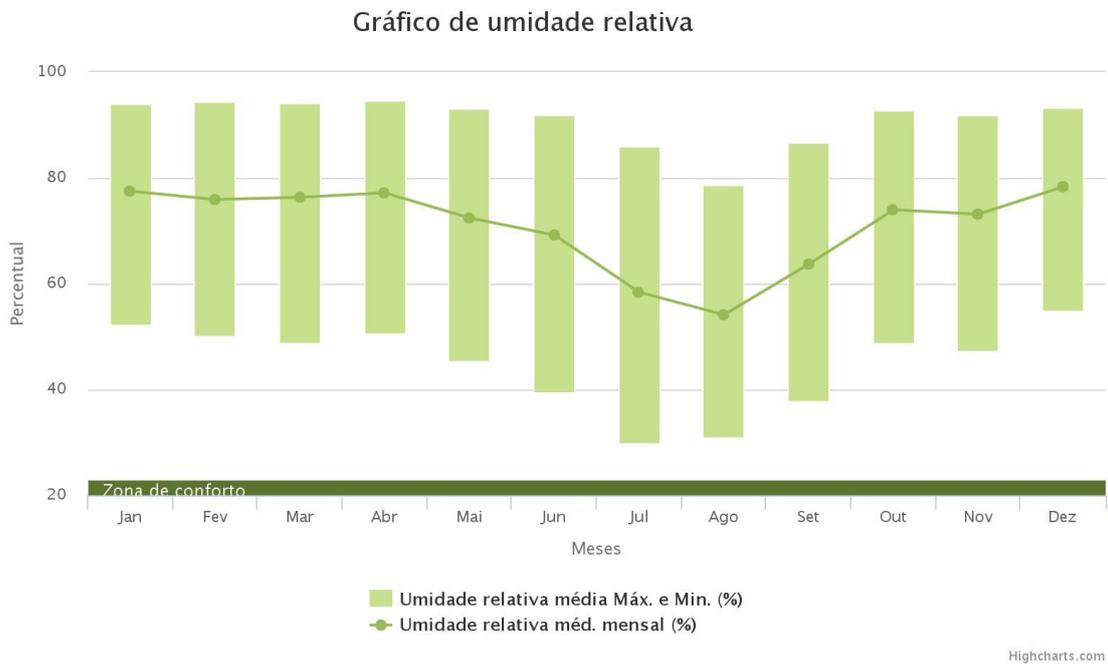


Figura 5: Temperatura e Zona de Conforto média mensal para Goiânia-GO

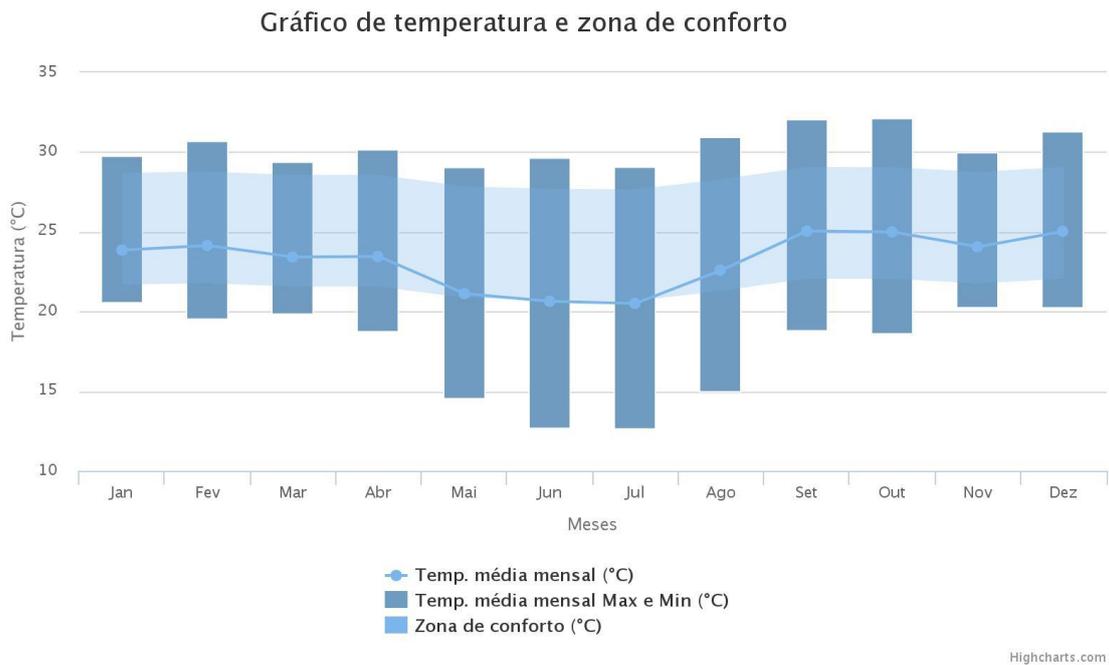
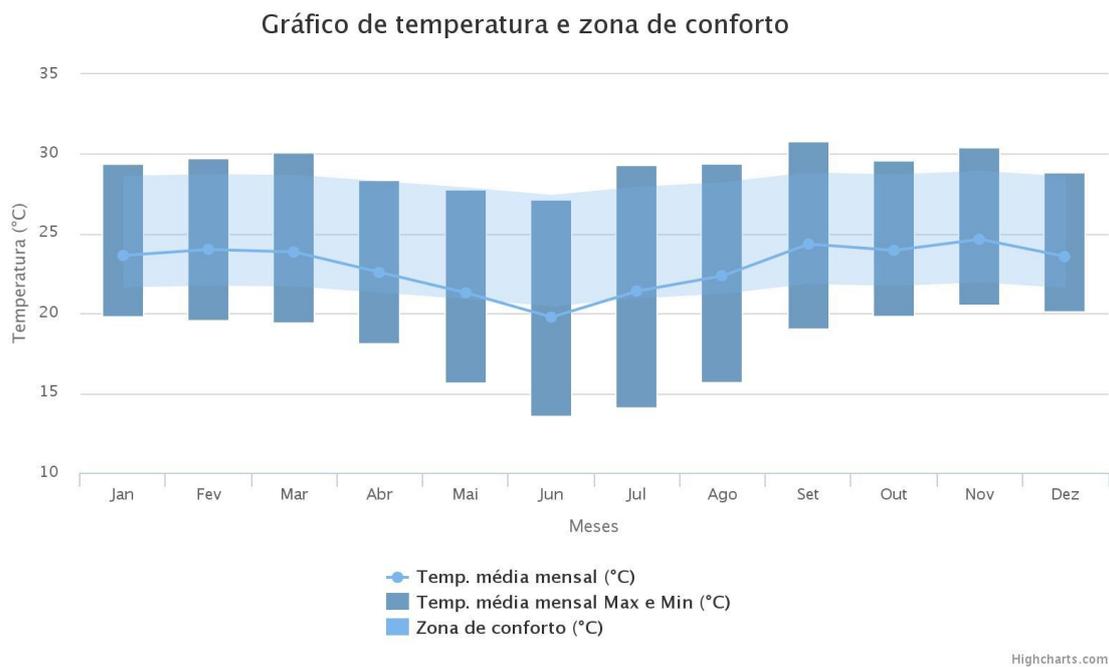


Figura 6: Temperatura e Zona de Conforto média mensal para Pires do Rio-GO



APÊNDICE A

Resultados das simulações computacionais gerados pelo programa Designbuilder para as Salas 7 e 8.

MODELO M1:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos - Sala 7

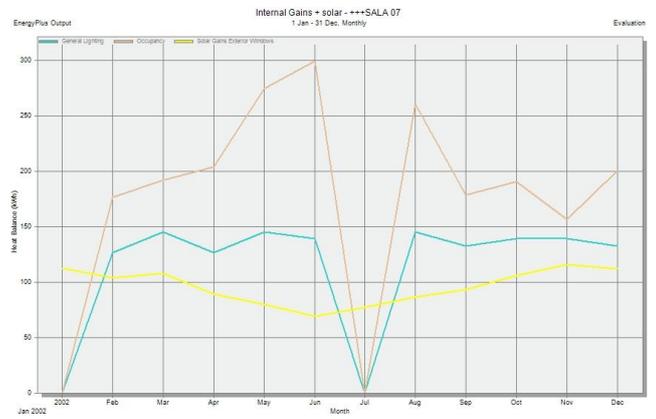
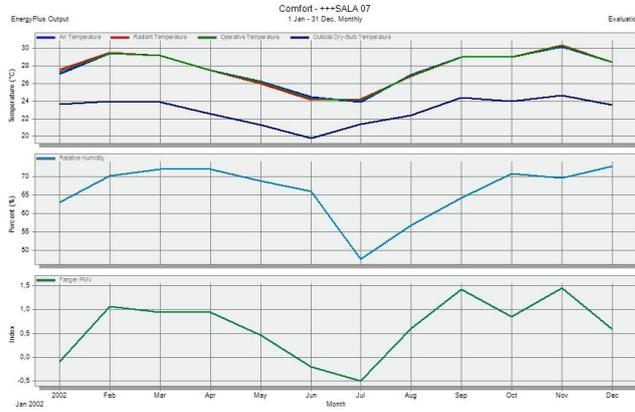
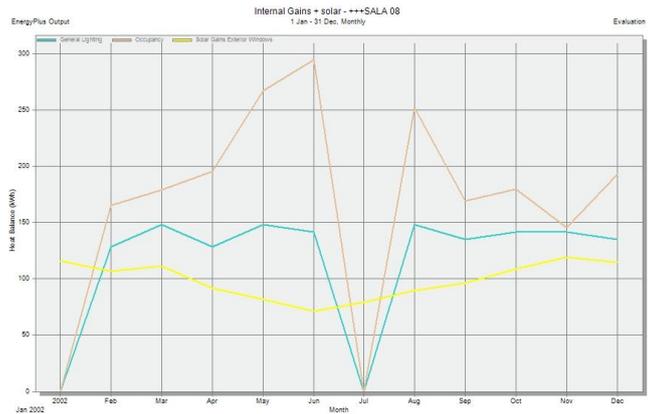
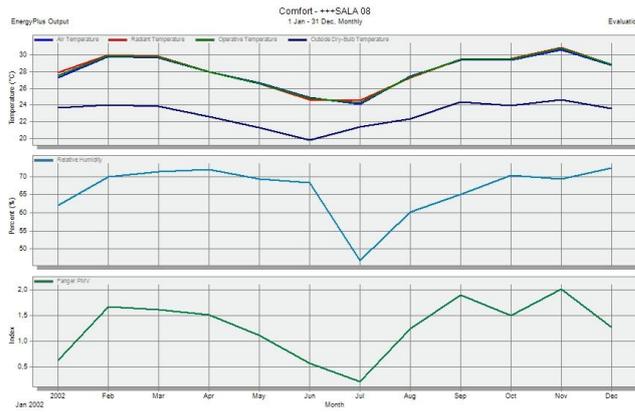


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M2:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos - Sala 7

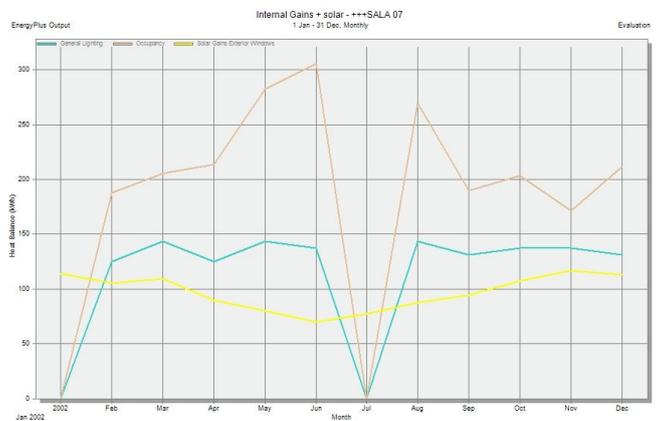
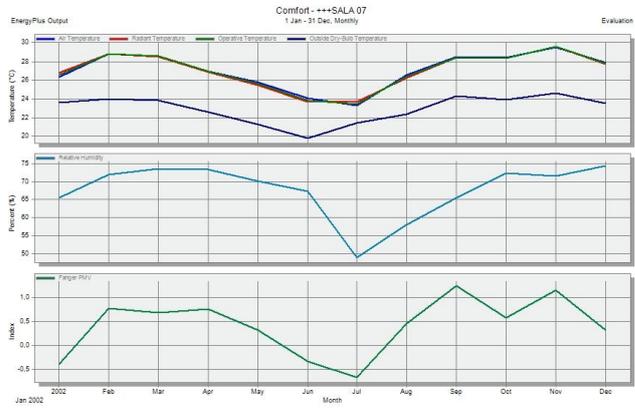
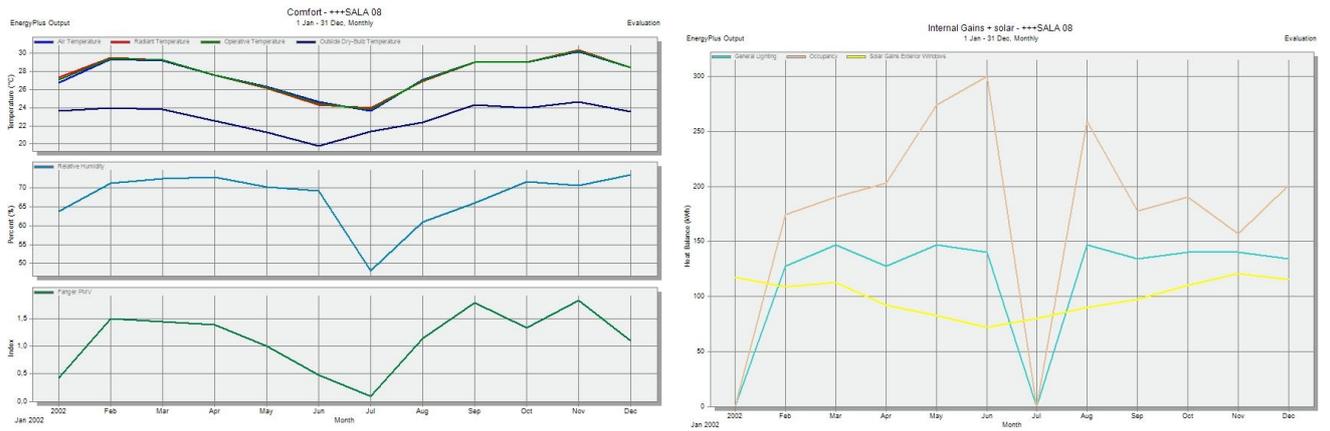


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M3:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

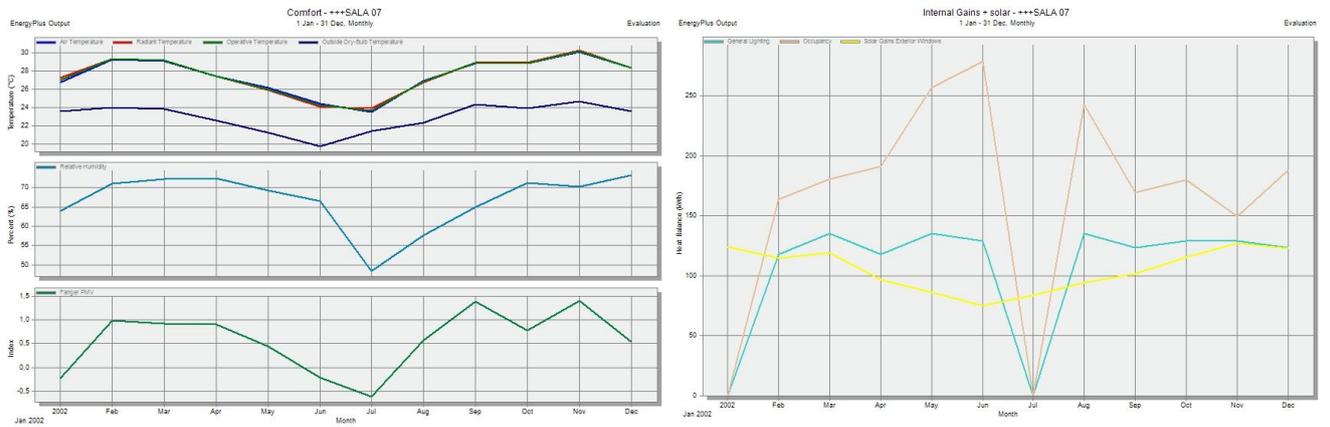
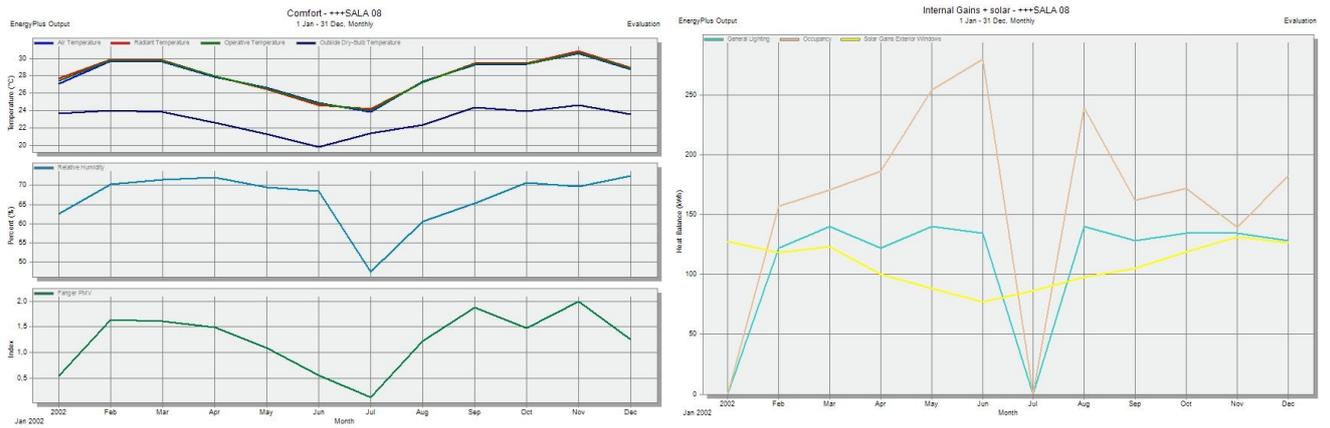


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M4:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

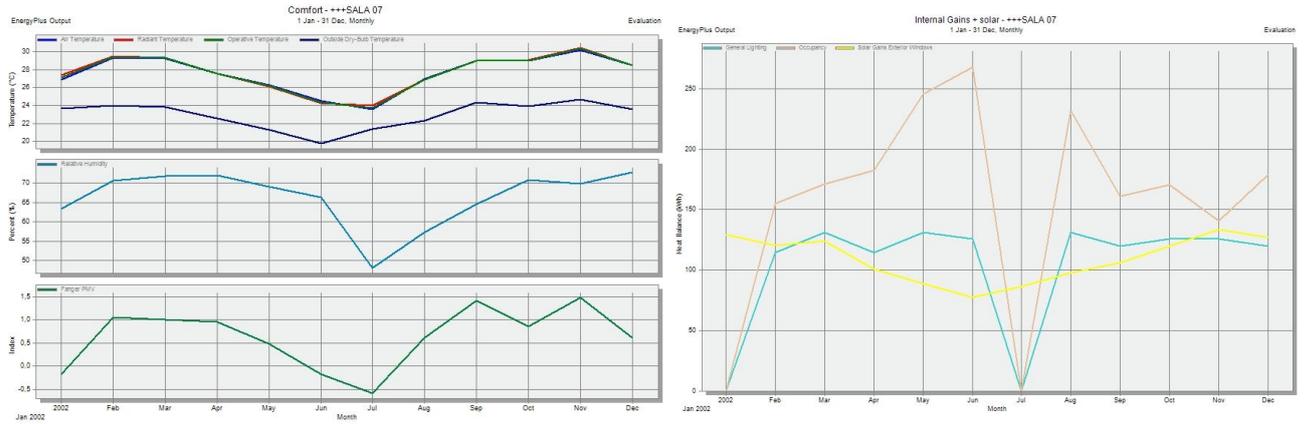
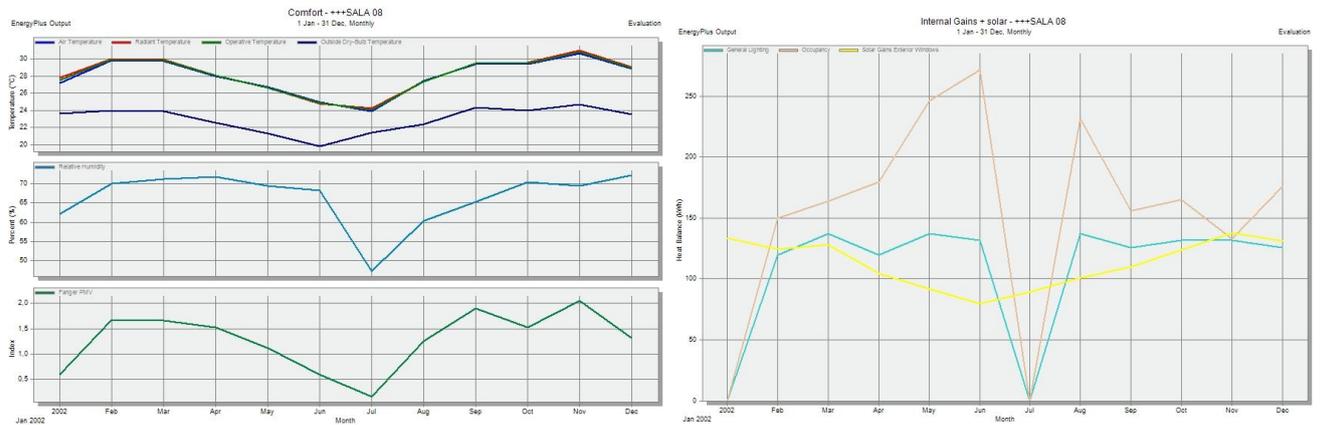


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M5:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

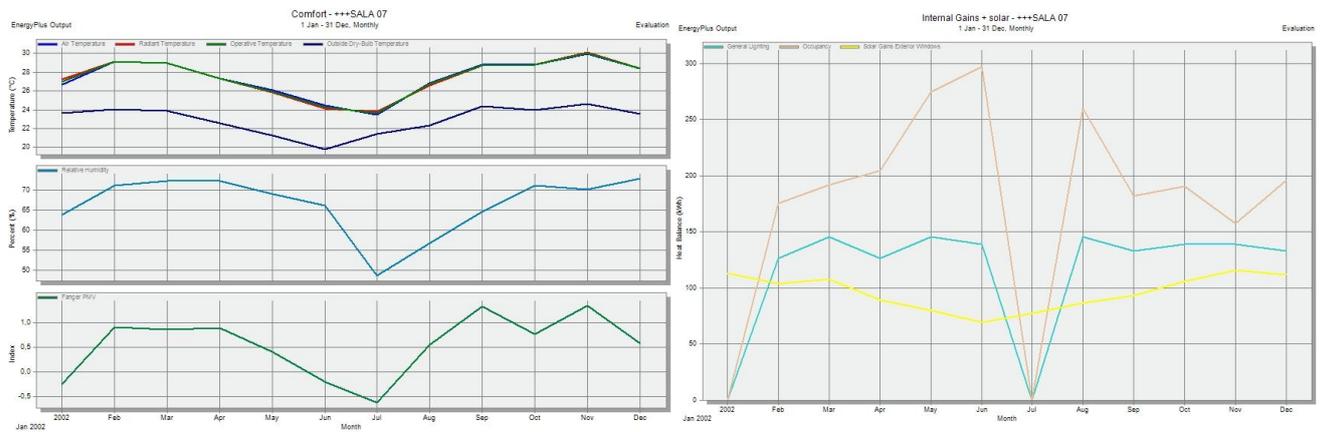
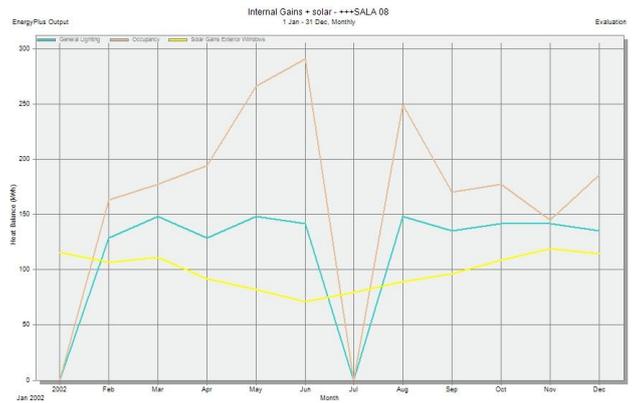
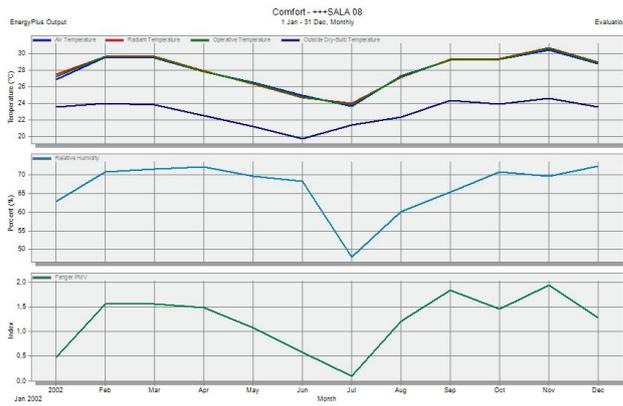


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M6:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

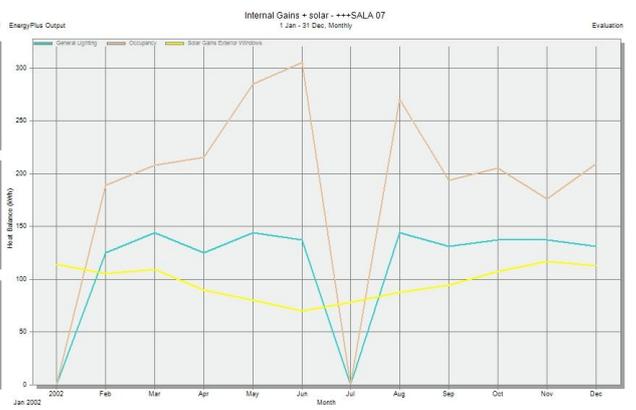
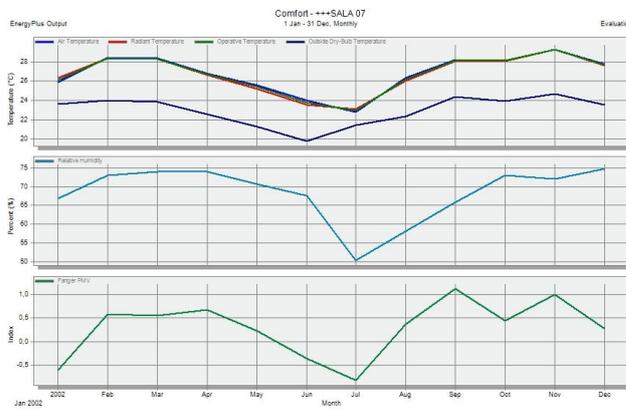
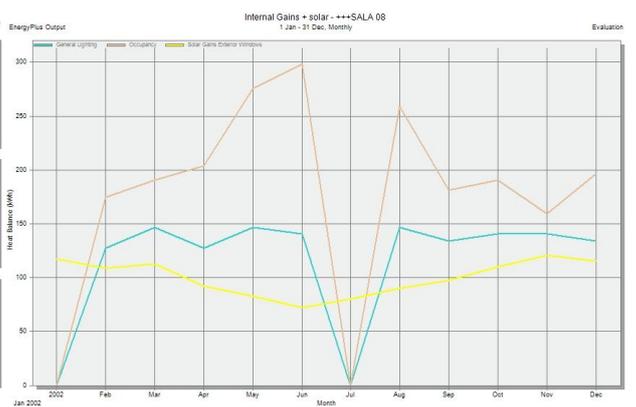
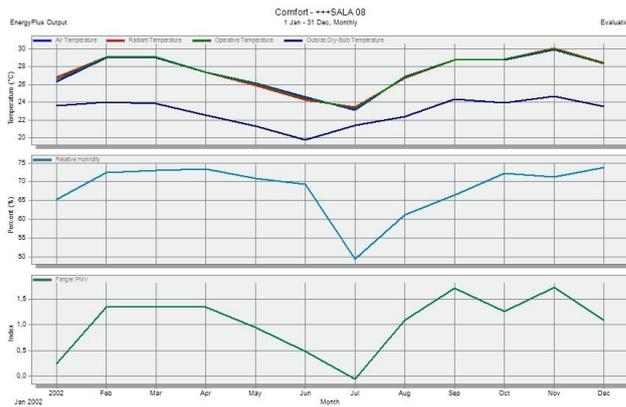


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M7:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

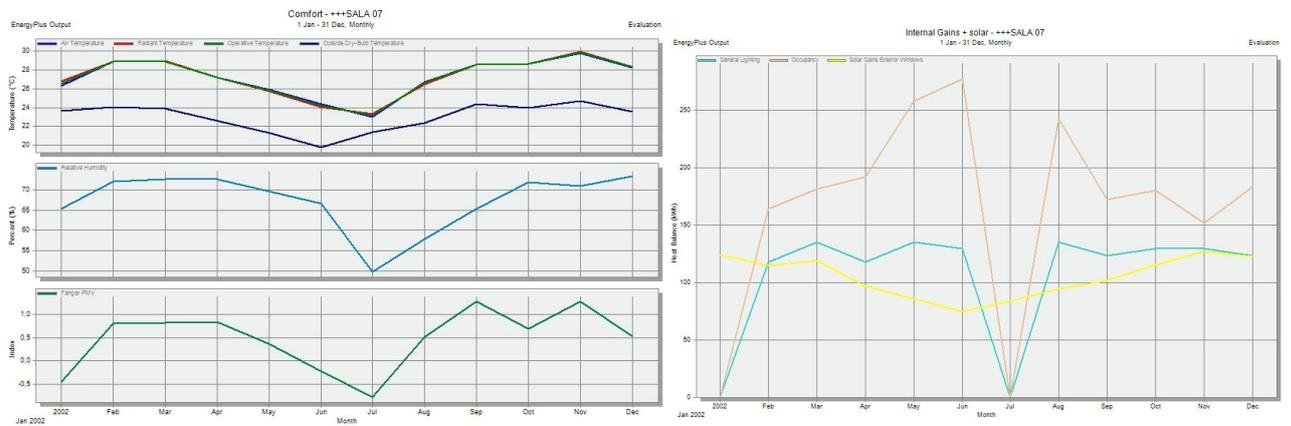
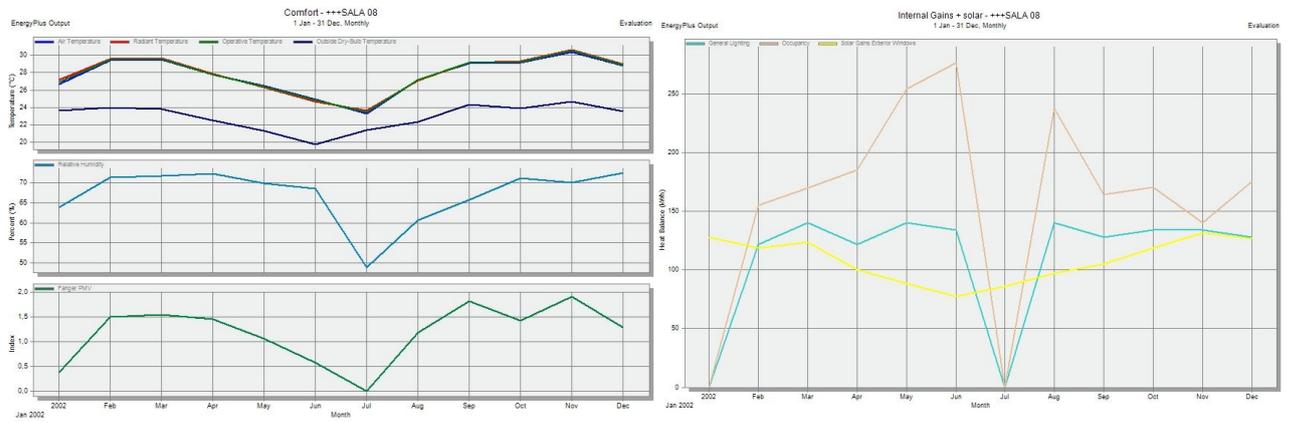


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M8:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

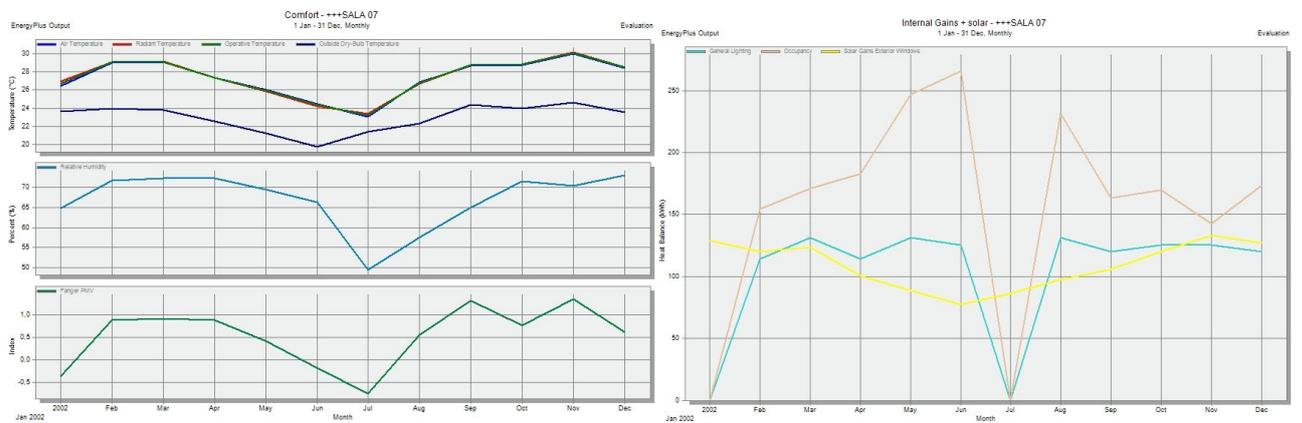
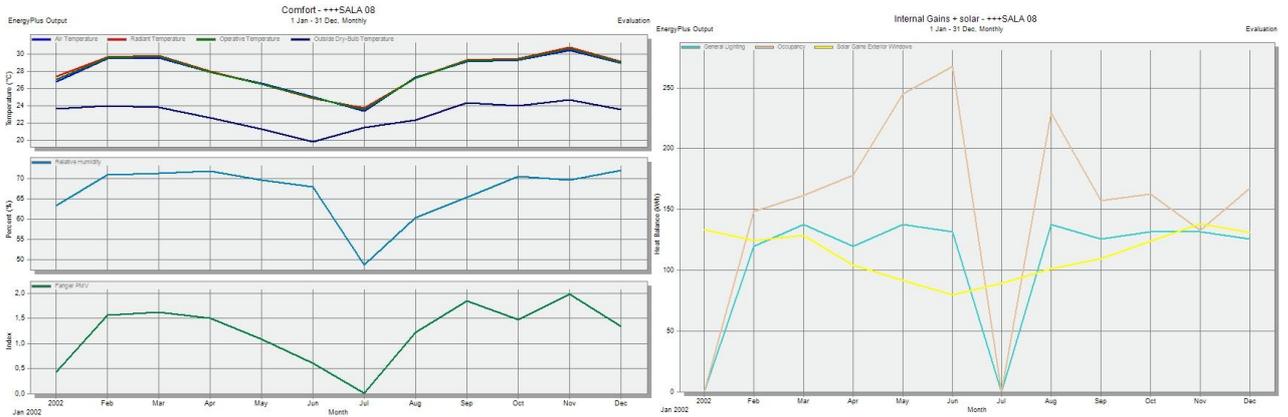


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M9:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

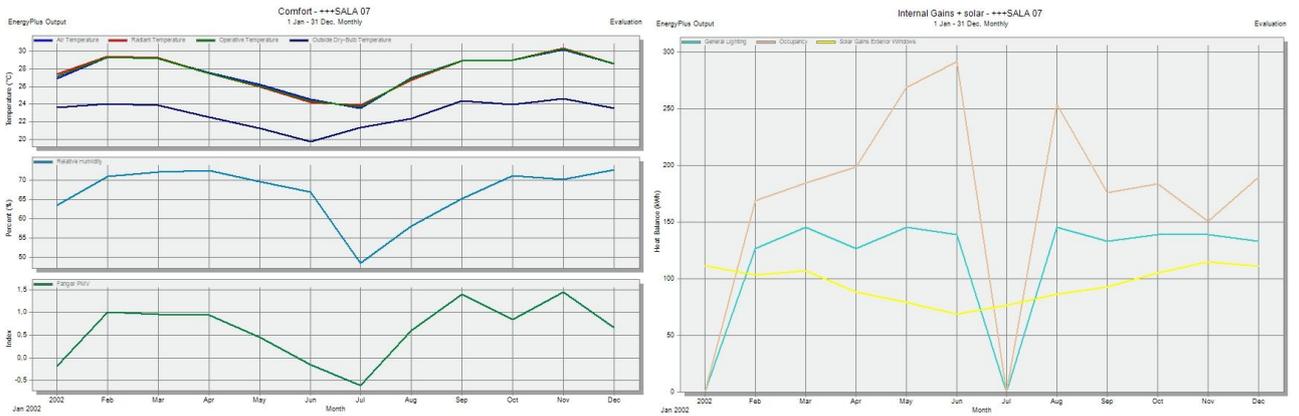
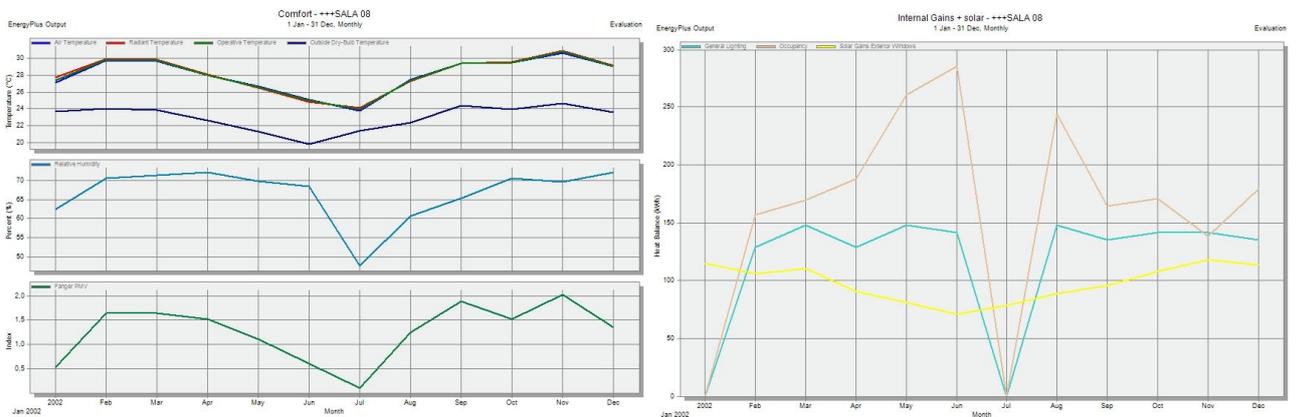


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M10:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

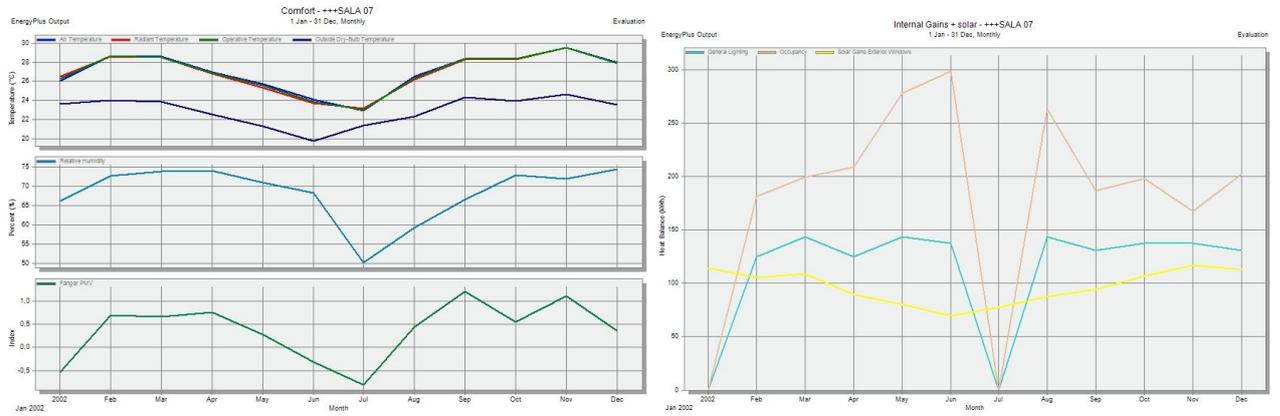
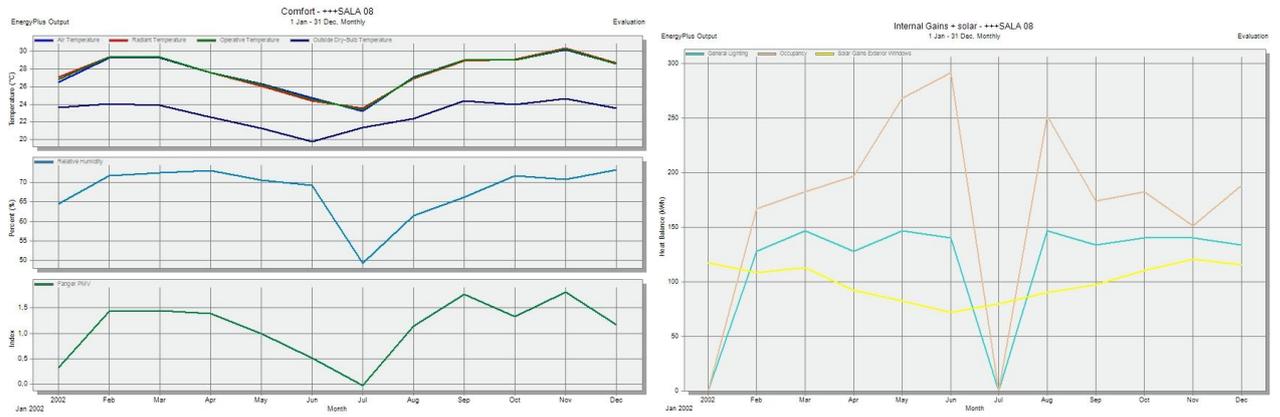


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M11:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

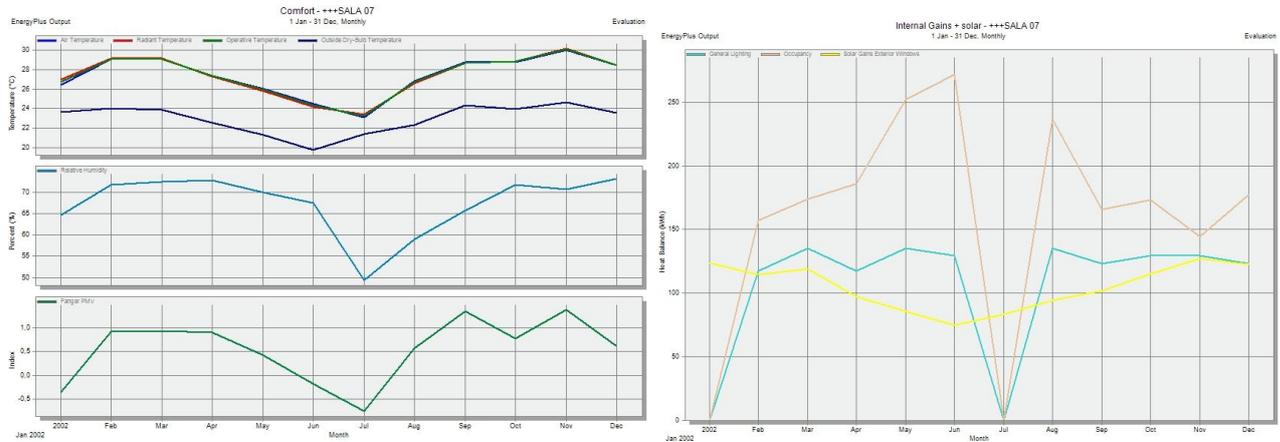
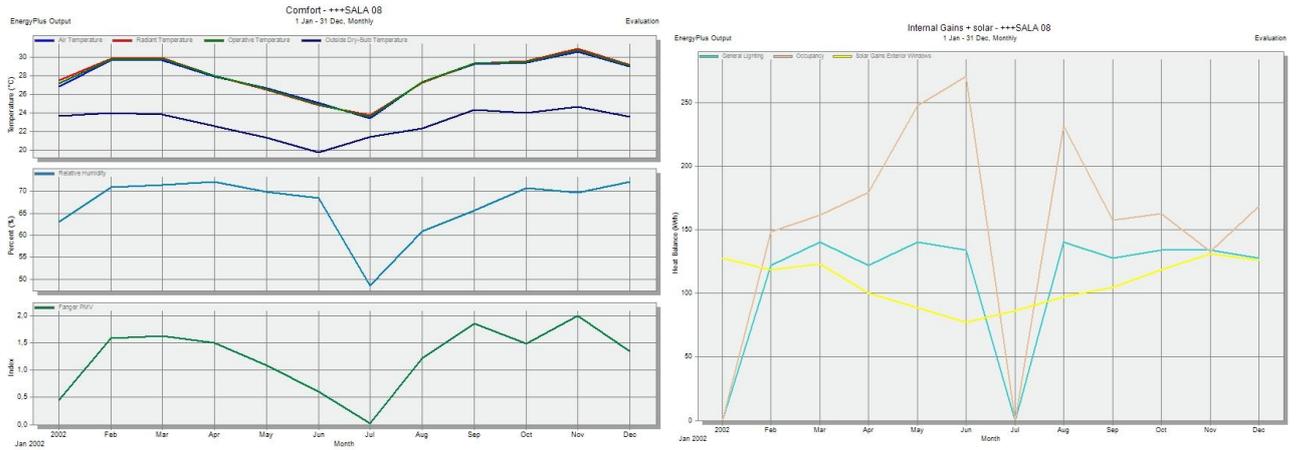


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M12:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

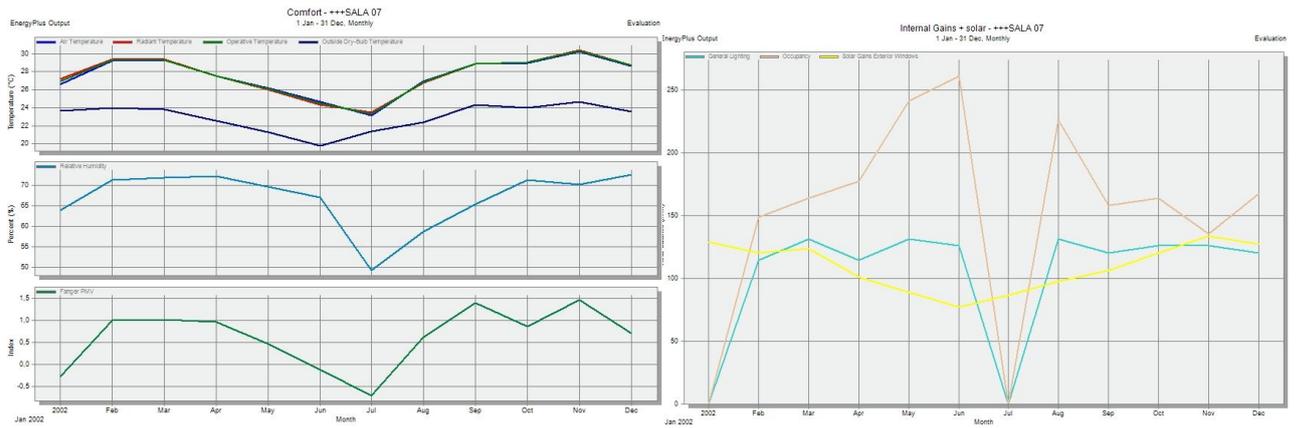
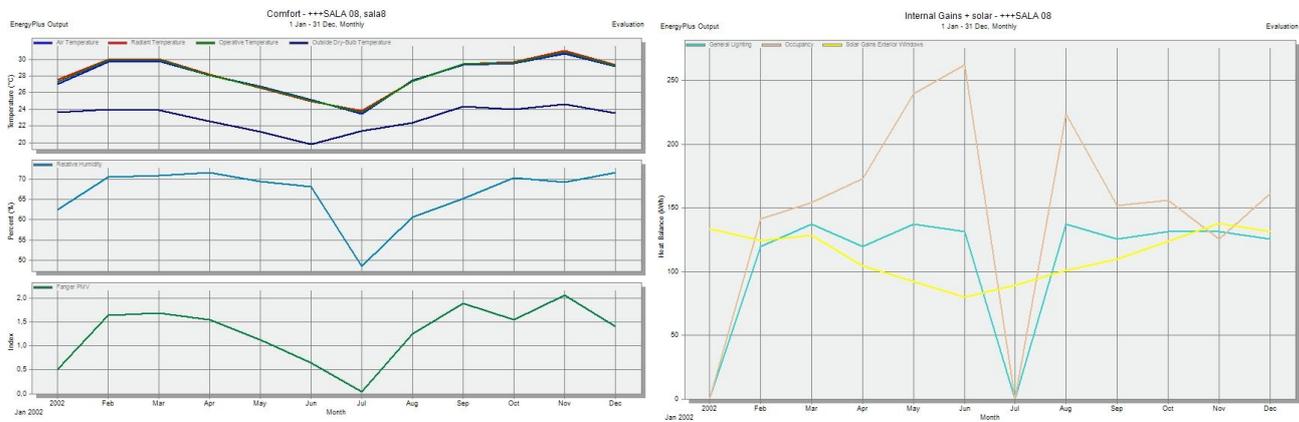


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M13:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

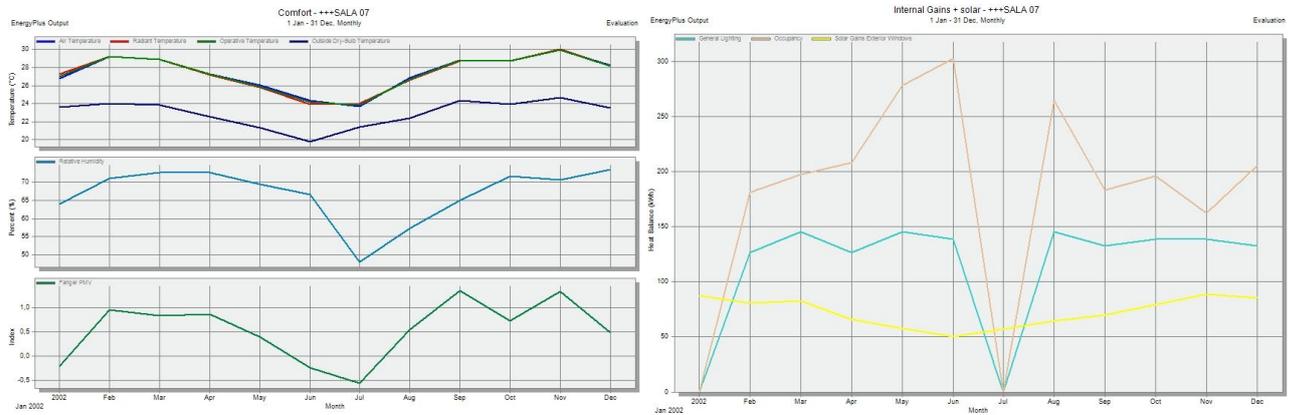
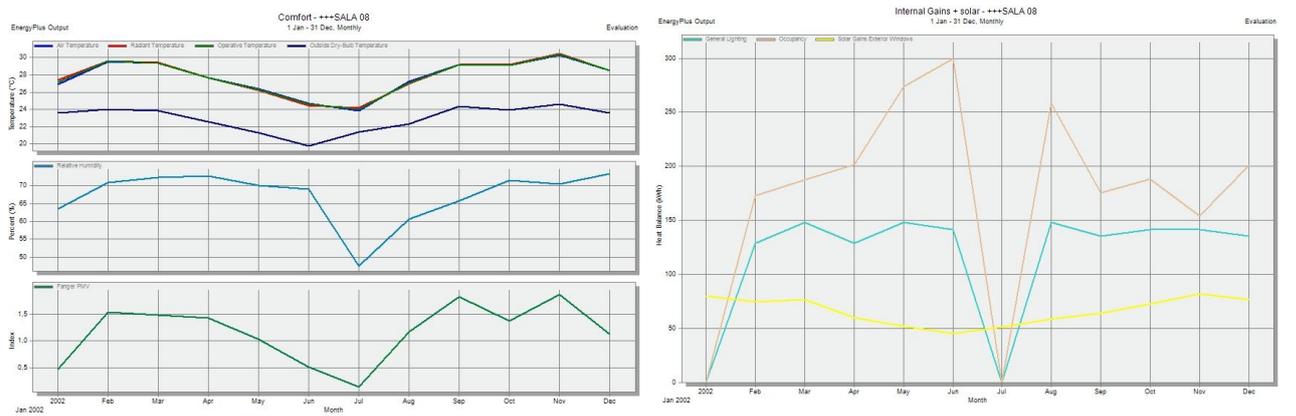


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M14:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

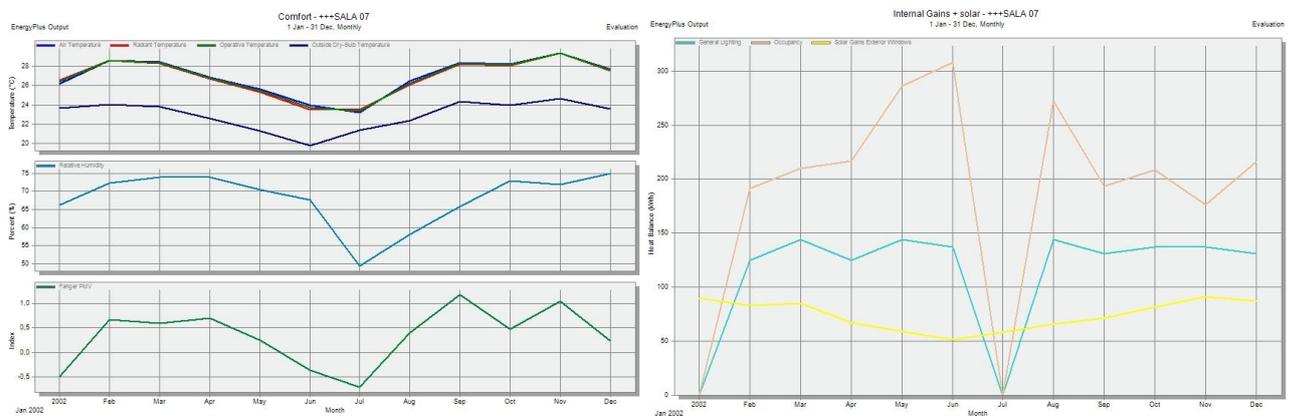
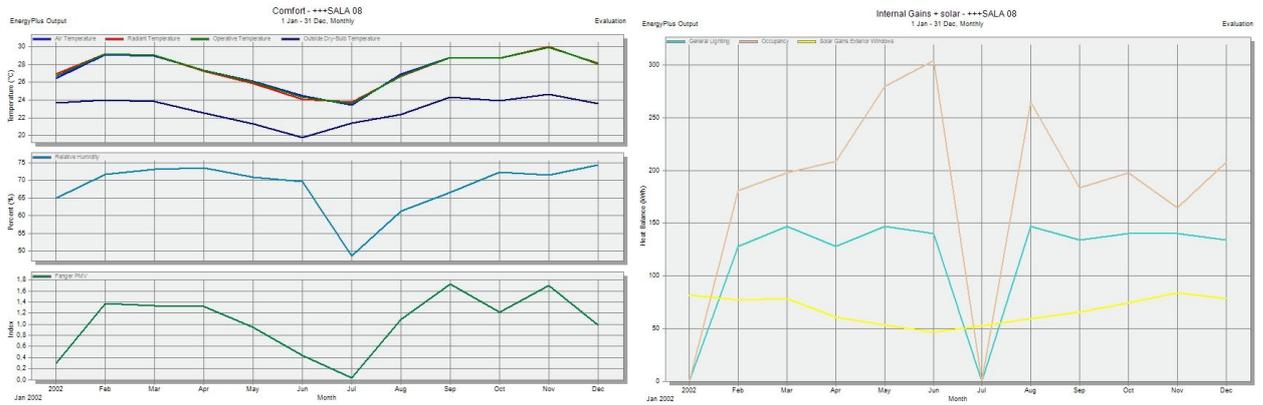


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M15:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

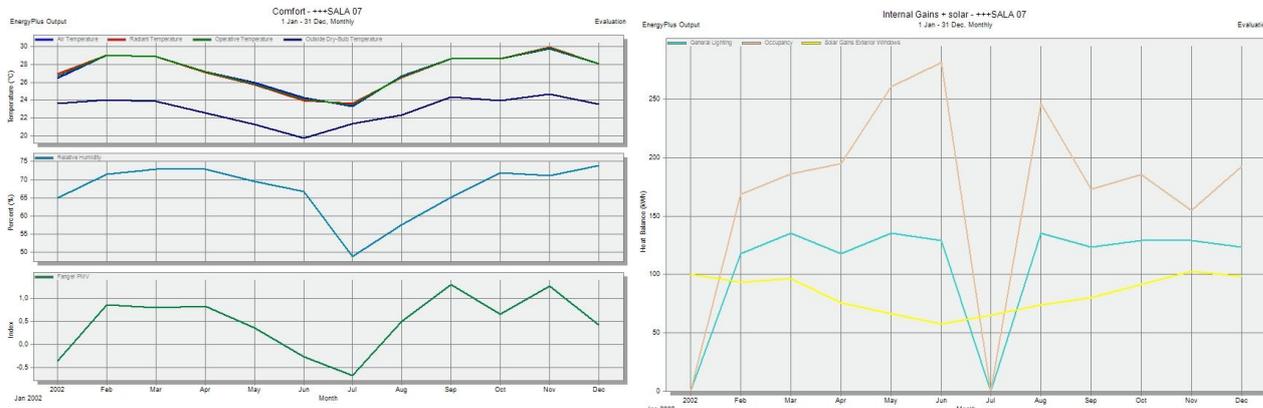
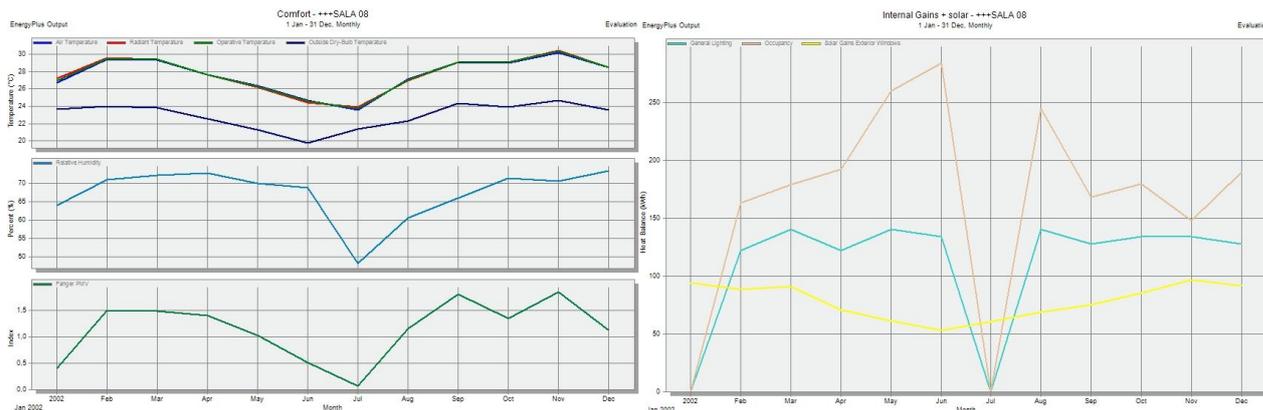


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M16:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

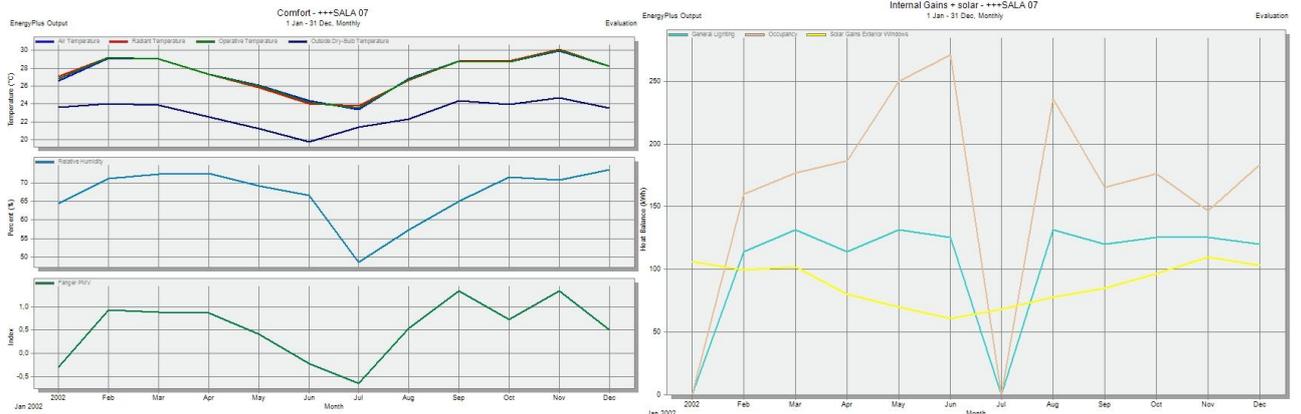
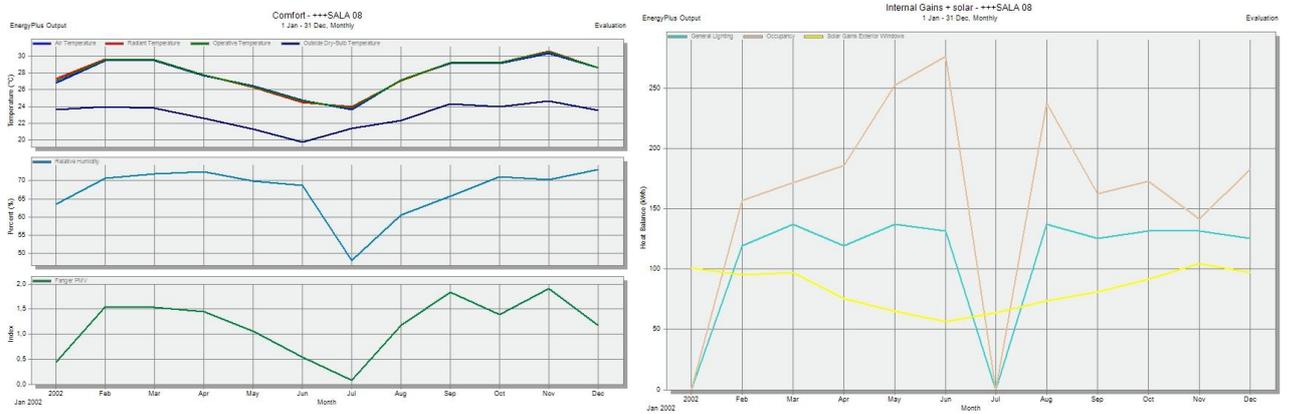


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M17:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

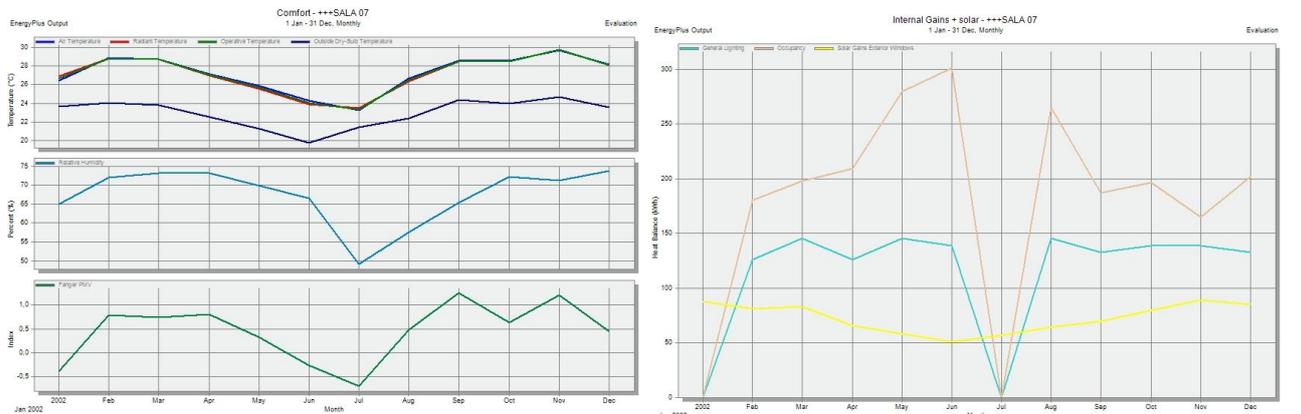
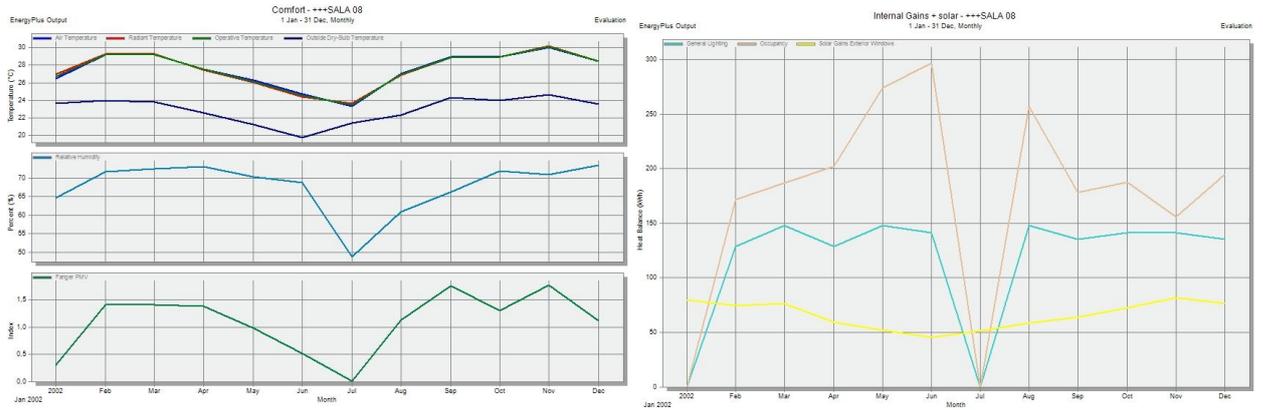


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M18:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

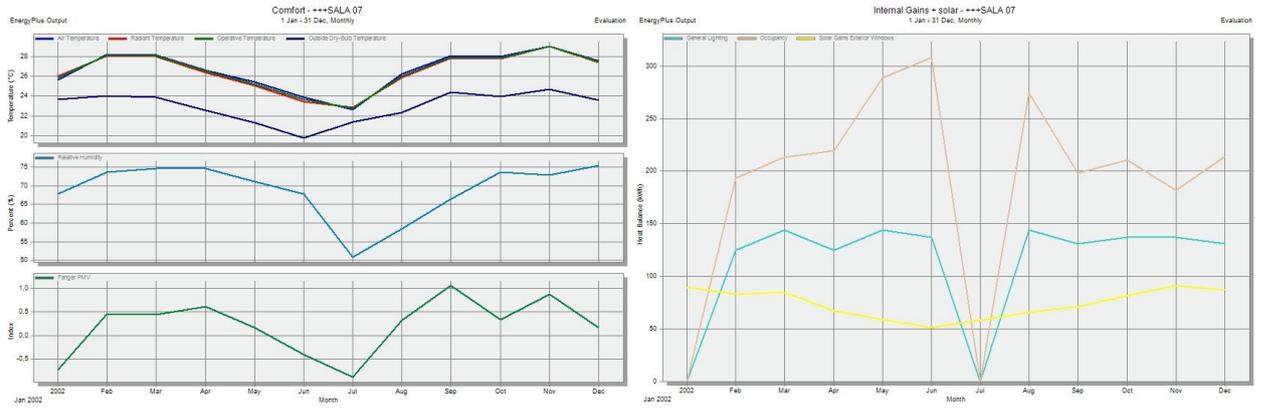
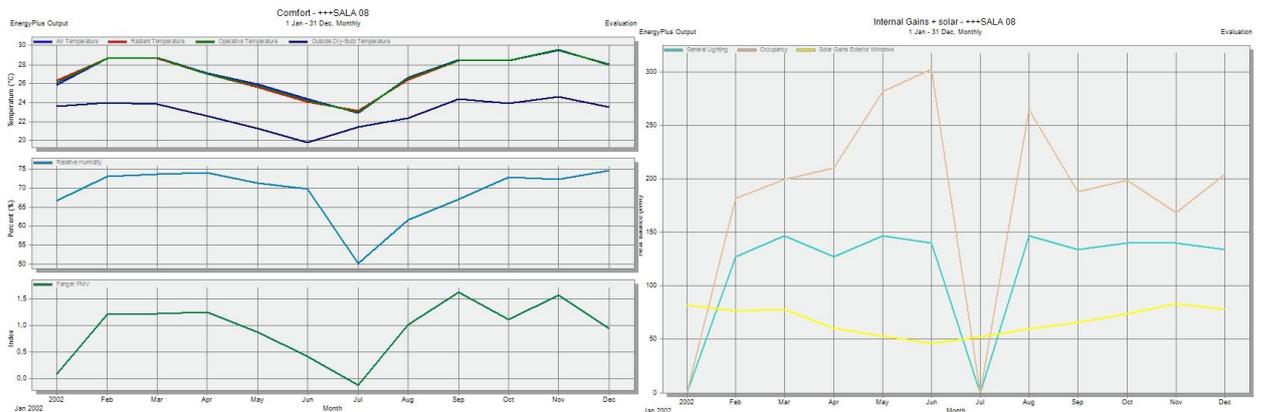


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M19:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

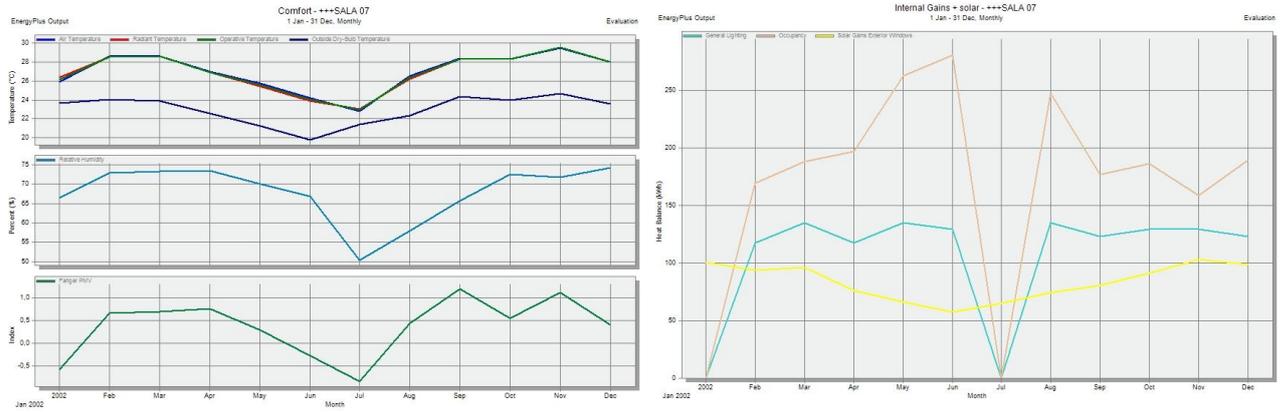
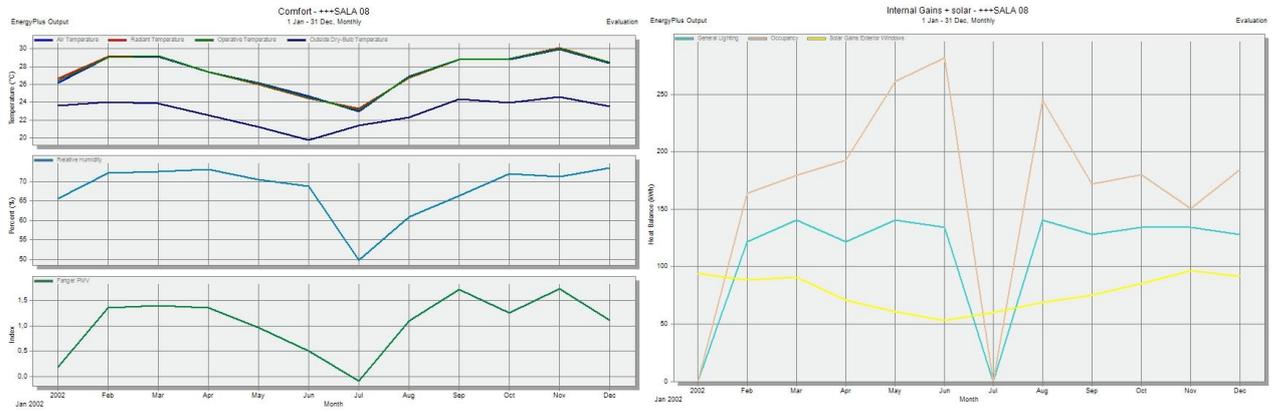


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M20:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

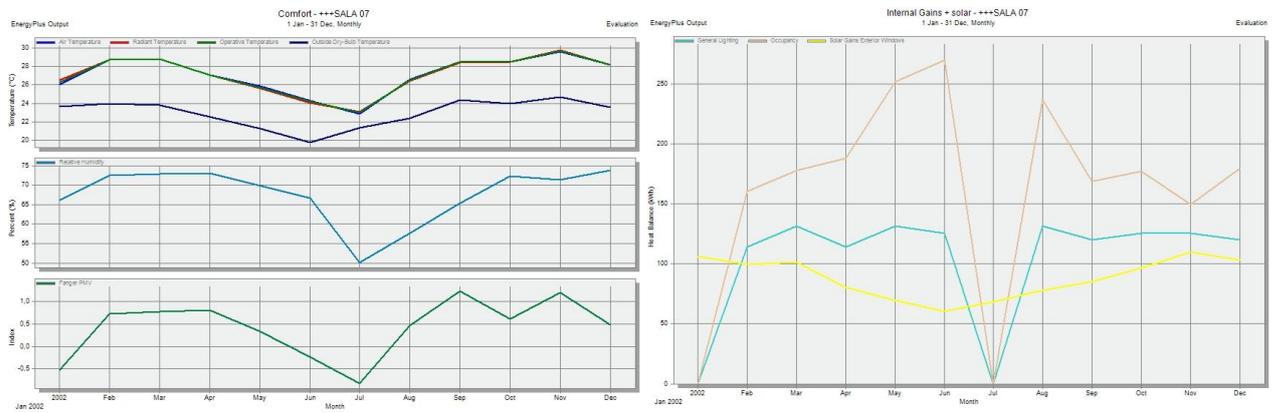
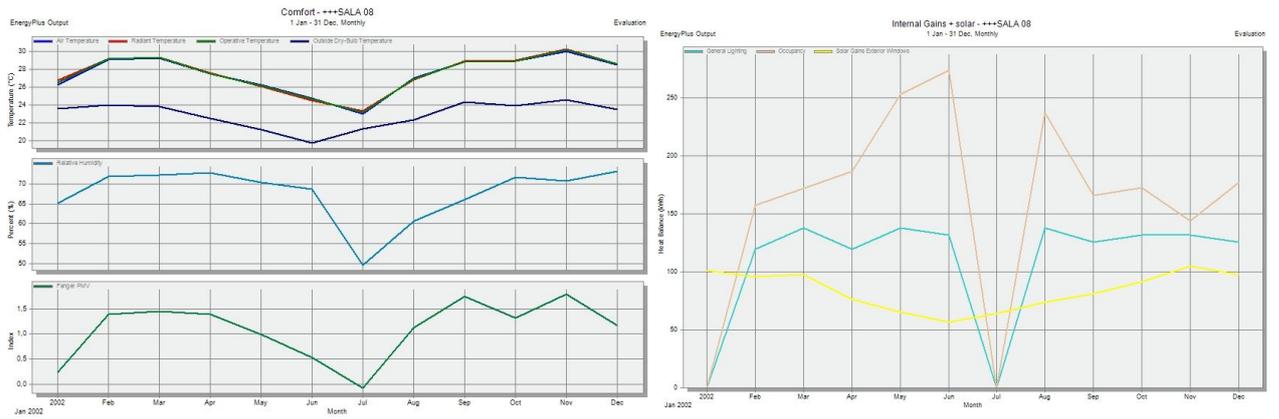


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M21:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

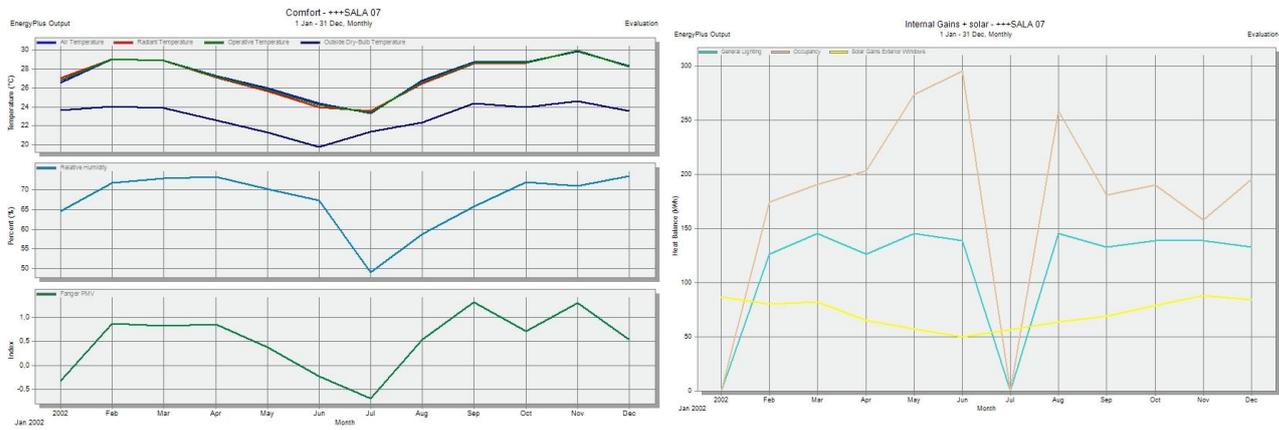
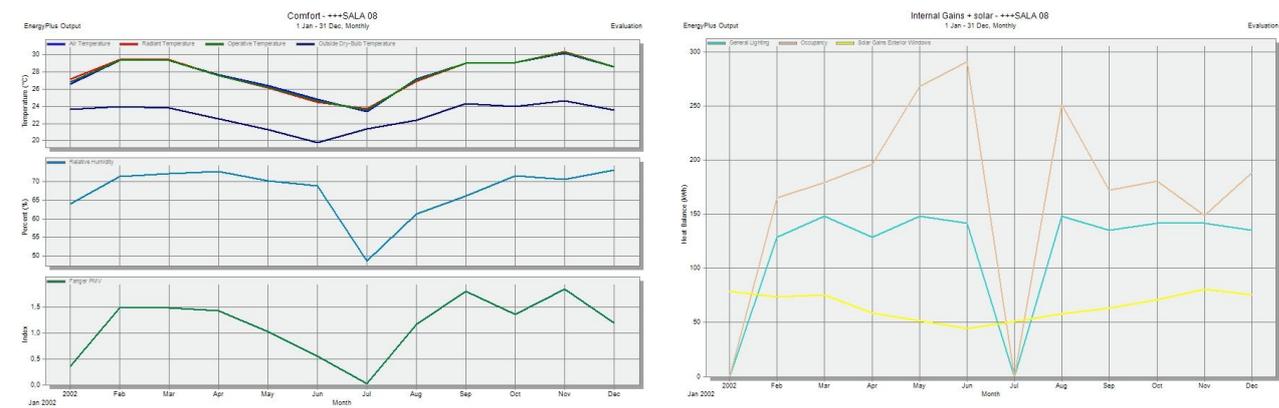


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M22:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

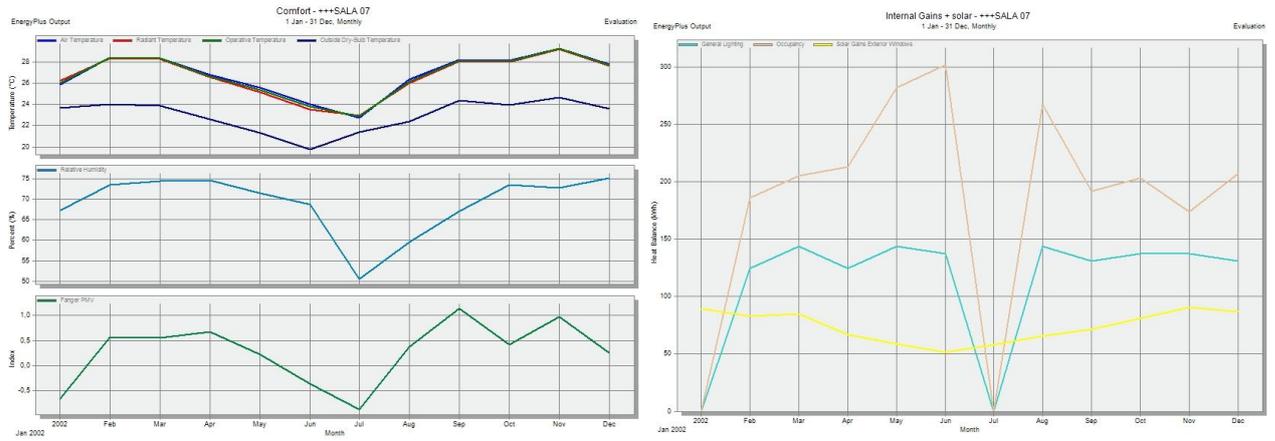
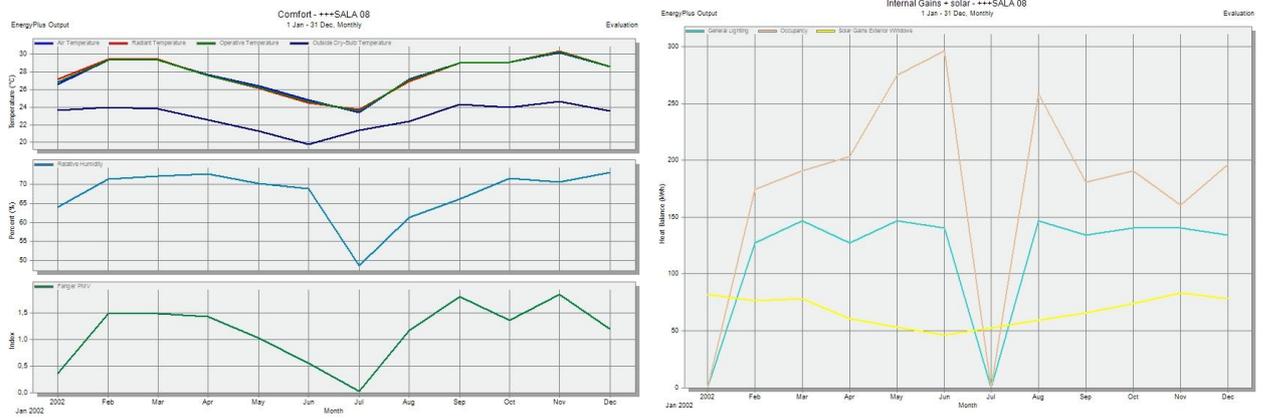


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M23:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

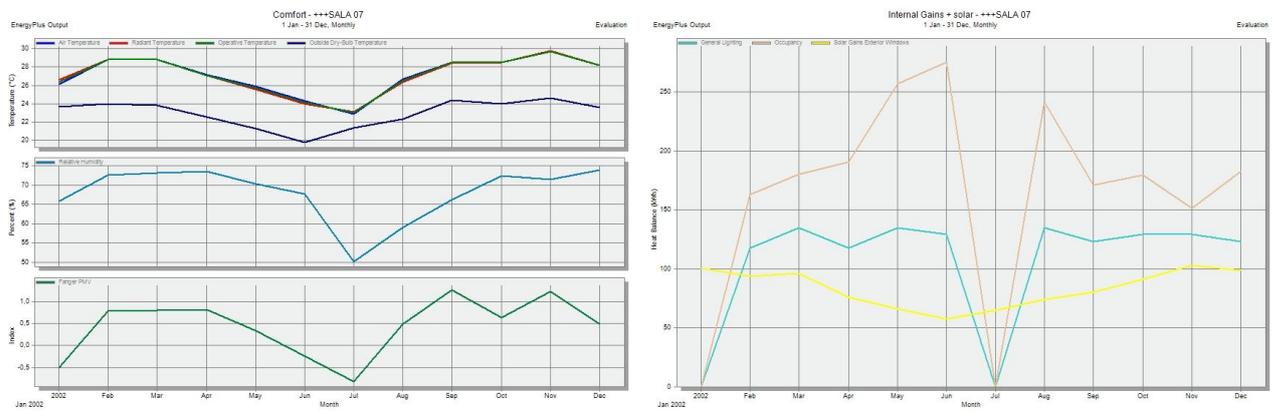
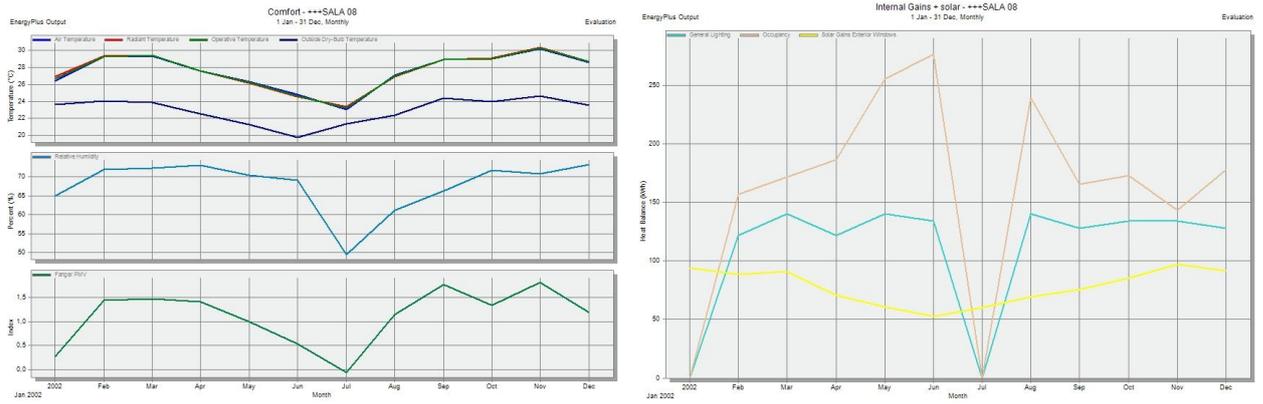


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8



MODELO M24:

Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 7

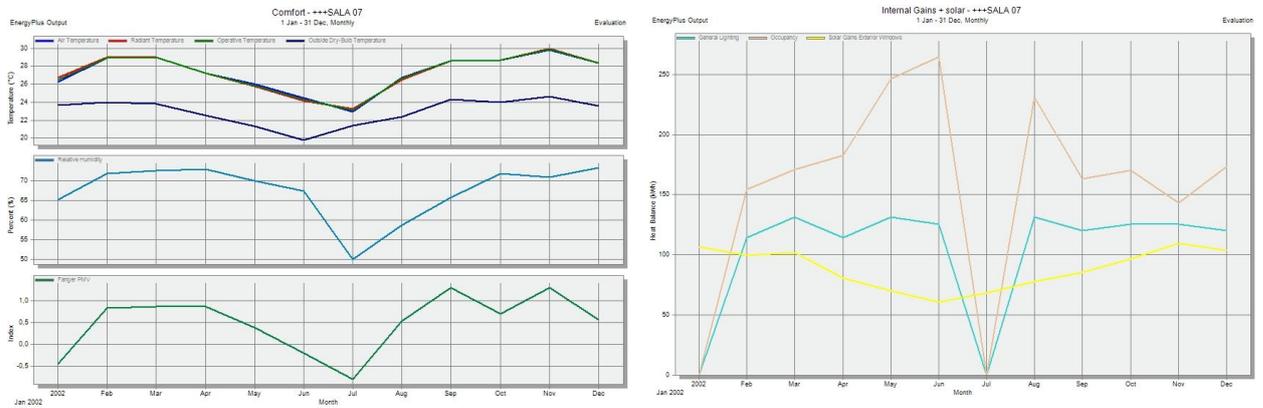


Gráfico de conforto e ganhos térmicos – Sala 8

