

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

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: aplicação do  
RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de  
Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços  
e Públicos - na cidade de Uberlândia-MG**

**LAURA RESENDE TAVARES**

BRASÍLIA

2011

LAURA RESENDE TAVARES

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: aplicação do  
RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de  
Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços  
e Públicos - na cidade de Uberlândia-MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Área de Concentração: Tecnologia, da Universidade de Brasília (UnB), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim.**

BRASÍLIA

2011

# **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - na cidade de Uberlândia-MG**

LAURA RESENDE TAVARES

Esta dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de Trabalho Final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Área de Concentração: Tecnologia, do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de Brasília - UnB

## **Banca examinadora**

---

**Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

---

**Membro: Profa. Dra. Marta Adriana Bustos Romero**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

---

**Membro: Prof. PhD. Aldomar Pedrini**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFRN

Á DEUS,  
Ao meu esposo;  
À minha família;  
Aos meus amigos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela luz no caminho e as pessoas maravilhosas que sempre colocou nele.

A minha amiga Janine, a primeira a aparecer neste caminho dizendo, por experiência própria, que não era necessário mudar de cidade para fazer o mestrado!

Ao meu esposo, que sempre me apoiou incondicionalmente... Incondicionalmente mesmo! Com este apoio e amor foi mais fácil passar por esta fase tão difícil.

Aos meus pais e irmão que se esforçaram muito para entender minhas decisões, mas me deram força sempre!

Aos meus pais e irmãos “postiços” (tios e primos de Brasília): sem eles nada disso teria sido possível... É indescritível o apoio dado.

A toda minha família e amigos que compreenderam minhas ausências, ou fingiram bem.

À minha orientadora que desde o início me apoiou, sem nunca dizer para desistir de nada a que me propus!

Aos amigos da UnB - Débora, Susan, Milena, Caio, Júlia, João e Giselle - com os quais compartilhei conhecimentos, dúvidas e angústias.

À Vivi, que sempre me apoiou, me animou e confiou em mim.

Ao meu amigo Alexandre (*in memoriam*) que “segurou as pontas” no trabalho colaborando muito para que eu tivesse mais tempo para finalizar minha pesquisa.

A todos os pesquisadores e órgãos, que me ajudaram em algum momento da pesquisa, e mesmo na eminência de esquecer alguém, é impossível não citar Themis Martins, Prof. Washington, Prof. Günter, Francine Rossi, Solange Goulart, Joyce Carlo, Prof. João Pimenta, Raoni Lima, Iraci Pereira, Thais Lima, Aldomar Pedrini, INMET, Laboratório de Climatologia da UFU, Diretoria de Obras da Prefeitura de Campus da UFU e a CAPES (pelo incentivo dado ao desenvolvimento desta pesquisa).

Aqui hoje terminam estas viagens nas quais  
me acompanhastes através da noite e do dia  
e do mar e do homem. De tudo quanto vos  
disse vale muito mais a vida.

Pablo Neruda

*Mas será que um dia a viagem termina?...*

*Acho que não...*

## RESUMO

As edificações consomem 45% de toda energia gerada no Brasil, considerando os edifícios residenciais, comerciais, de serviços e públicos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). No entanto, há um expressivo potencial de conservação neste setor, avaliado em 30% para edificações existentes, através de *retrofit* (reforma) podendo chegar a 50% nas novas edificações (ELETROBRÁS-PROCEL, 2010). No Brasil, em 2001, após uma crise energética local, iniciaram-se os estudos que deram origem ao primeiro regulamento brasileiro de eficiência energética de edificações. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a aplicabilidade da metodologia brasileira de avaliação da eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, RTQ-C (INMETRO, 2010), para as condições em que a simulação é indicada e não há arquivo climático horário de simulação disponível para cidade. A avaliação será realizada através de um estudo de caso no Campus Santa Mônica da UFU - Universidade Federal de Uberlândia-MG. O edifício escolhido reflete a preocupação dos novos projetos da UFU, no que se refere às questões de conforto ambiental e eficiência energética, e seu projeto está sendo repetido no mesmo campus e no Campus de Ituiutaba. Os procedimentos metodológicos aplicados foram: seleção, análise e tratamento dos dados climáticos da cidade de Uberlândia para identificação do ano climático de referência (TRY); formatação de um arquivo climático horário para simulação termoenergética e a elaboração da carta bioclimática de Uberlândia; aplicação dos métodos prescritivo e simulação do RTQ-C no edifício estudo de caso e comparação dos resultados obtidos em cada um destes métodos. Os resultados obtidos foram: a identificação do ano de 2006 como ano TRY; o arquivo climático horário em extensão \*epw e um arquivo com dados estatísticos em extensão \*stat, que classificou o clima da cidade de acordo com a classificação de Köppen como "Aw", tropical de savana; a carta bioclimática de Uberlândia, indicando 63,2% das horas na zona de conforto, sendo 36,8% em desconforto, 18,6% por frio e 18,1% por calor; obtenção da etiqueta A para o edifício estudo de caso, pelos métodos prescritivo e simulação. Algumas divergências foram encontradas na comparação entre os métodos, relacionadas diretamente à simulação da ventilação natural para obtenção do POC (percentual de horas ocupadas em conforto), uma vez que as áreas não condicionadas, bem maiores que as áreas condicionadas, a simulação separada para cada ambiente não-condicionado e a exclusão dos cobogós pode ter prejudicado os resultados. Conclui-se que uma base de dados horários organizada para aplicação em simulações termoenergéticas de edifícios, uma metodologia precisa para obtenção do arquivo climático e investigações quanto ao desempenho dos programas de simulação quando se simula edifícios com ambientes condicionados e não-condicionados, permitiria um maior avanço nas pesquisas relacionadas à eficiência energética das edificações e cidades, permitindo que regulamentações como o RTQ-C sejam aplicadas em um número cada vez maior de cidades.

## ABSTRACT

Buildings consume 45% of all energy generated in Brazil, considering the residential, commercial, services and public buildings (Ministry of Mines and Energy, 2009). However, there is a significant potential for conservation in this sector, estimated at 30% for existing buildings through retrofit (renovation) that could reach 50% in new buildings (ELETROBRÁS-PROCEL, 2010). In 2001 in Brazil, after a local energy crisis, the first regulations for energy efficiency of buildings were created based on several researches. In this context, the aim of research is to evaluate the applicability of a Brazilian methodology for evaluating energy efficiency of commerce, services and public buildings, that so called RTQ-C (INMETRO 2010). In this research, this methodology was used in conditions that the simulation was indicated and when the city didn't have previous weather file available. The valuation will be apply through a case study on the campus of Santa Monica UFU - Federal University of Uberlândia-MG. The chosen building reflects the concern of UFU's new projects, with regards to environmental comfort and energy efficiency issues, and its design is repeated on the same campus and the Campus of Ituiutaba. The methodological procedures used were: selection, analysis and processing of weather data from the city of Uberlândia to identify the Test reference year (TRY), formatting of a weather file simulation and the development of bioclimatic chart of Uberlândia; application of two methods of RTQ-C - prescriptive and simulation - the building case study and comparison of results obtained in each of these methods. The results were: the identification of 2006 as -TRY year, the time weather file in \*epw extension and a file with statistical data in \* stat extension, which classified the city's climate according to Köppen's classification as "Aw", tropical savanna; the bioclimatic chart of Uberlândia indicating 63.2% of the hours in the comfort zone, and 36.8% in discomfort, 18.6% by cold and 18.1% by hot, obtaining the label A for the case study building, by the prescriptive and simulation methods. Some differences were found when comparing the methods, directly related to the simulation of natural ventilation to obtain POC (percentage of occupied hours in comfort), since the non-conditioned areas, much larger than the conditioned areas, a separate simulation for each non-conditioned environment and the exclusion of the *cobogós* may have impaired the results. It is concluded that an organized time database for use in thermal energy simulations of buildings, a precise methodology for obtaining weather file and investigations on the performance of simulation programs when simulating buildings with conditioned and non-conditioned environments, would allow a major advance in research related to energy efficiency of buildings and cities, enabling regulations like the RTQ-C to be applied in an increasing number of cities.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta mundial de energia.....	22
Figura 2- Oferta brasileira de energia.....	22
Figura 3 - Consumo de energia por setores.....	23
Figura 4 - Partes do edifício que compõem a envoltória. ....	31
Figura 5 - Proteção solar vertical com AHS de 10º à esquerda. Proteção solar horizontal com AVS de 45º, à direita.....	35
Figura 6 - Mapa de Uberlândia à esquerda. À direita, foto aérea ampliada localizando o centro da cidade, a UFU onde estão localizadas as Estações Climatológicas Convencional e Automática cujos dados foram estudados e o Parque do Sabiá, antiga localização da Estação Climatológica Convencional.....	37
Figura 7 - Dados climáticos de Uberlândia inseridos na carta bioclimática segundo NBR15220 (ABNT, 2005).....	40
Figura 8 - Mapa do Brasil com as zonas bioclimáticas. Destaque para a cidade de Uberlândia, localizada na Z4.....	41
Figura 9 - Principais fluxos de um campus universitário. ....	43
Figura 10 - Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para projeto do edifício, à esquerda, e para edifício construído à direita. ....	46
Figura 11 - Velocidade do ar para aumento do limite da temperatura de conforto....	55
Figura 12 - Efeito cosseno sobre o conceito de radiação extraterrestre .....	62
Figura 13 - Ângulo da posição relativa sol-superfície .....	63
Figura 14 - Plano elíptico da terra em torno do Sol.....	64
Figura 15 – Mapa metodológico da pesquisa.....	77
Figura 16 - Planilha do Programa Excel com os dados de Uberlândia-MG .....	90
Figura 17 - Mapa de Uberlândia localizando o Campus Santa Mônica.....	91
Figura 18 - Localização do Campus Santa Mônica no entorno.....	91
Figura 19 - Bloco 1G – Exemplo de tipologia padrão inicialmente construída nos campi da Universidade Federal de Uberlândia.....	93
Figura 20 - Bloco 1I – Exemplo de tipologia padrão inicialmente construída nos campi da Universidade Federal de Uberlândia.....	93
Figura 21 - Bloco 3M – Bloco dos cursos de Música e Artes cênicas. Exemplo de edifício em que houve uma preocupação com relação à adequação ao clima da cidade de Uberlândia - Campus Santa Mônica. ....	94
Figura 22 - Bloco 3D – Bloco do curso de Direito. Exemplo de edifício em que houve uma preocupação com relação à adequação ao clima da cidade de Uberlândia - Campus Santa Mônica. ....	94
Figura 23 - Vista da maquete eletrônica do Bloco 5S em fase de construção no Campus Santa Mônica. ....	95
Figura 24 - Proposta de <i>retrofit</i> no Bloco 1I, visando uma melhoria na iluminação natural no interior das salas de aula - Campus Santa Mônica. ....	95
Figura 25 - Campus Santa Mônica e localização dos edifícios. Em destaque Bloco de Salas de Aulas 5O à direita e o mesmo projeto sendo repetido à esquerda, Bloco 5R. ....	96
Figura 26 - Planta térrea do Edifício 5O “estudo de caso” destacando o Bloco A analisado.....	97
Figura 27 - Plantas do 1º e 2º Pavimento do Bloco A. ....	98

Figura 28 - Vista posterior do Bloco 5O, destacando-se à direita o Bloco A e à esquerda o Bloco B. Nota-se que os blocos possuem orientação e características externas diferentes. ....	99
Figura 29 - Vista lateral do Bloco 5O, destacando-se à direita o Bloco B e à esquerda o Bloco A. ....	99
Figura 30 - Vistas frontais do Bloco A com destaque para os brises à esquerda e os grandes beirais do pavimento térreo à direita. ....	100
Figura 31 - Vista frontal do Bloco A, destaque para o pátio e a estrutura metálica que receberá o cobogó. ....	100
Figura 32 - Vistas internas (bloco A): à esquerda detalhe do brise horizontal das salas de aula, à direita, detalhe da iluminação zenital (fechamento em forro colméia). ....	100
Figura 33 – Vista externa do Bloco 5R – repetição do projeto do Bloco 5O no Campus Santa Mônica. ....	101
Figura 34 - Inserção de um novo arquivo climático ....	108
Figura 35 - Janela de criação da localidade Uberlândia, aba <i>location</i> . ....	109
Figura 36 - Janela de criação da localidade Uberlândia, aba <i>simulation weather</i> , referente ao arquivo climático horário ....	110
Figura 37 - Barra de variáveis da locação do sítio. ....	111
Figura 38 - Edição das zonas no 2º pavimento. ....	113
Figura 39 - Opção de dados da aba <i>Data</i> para simulação do consumo energético. ....	115
Figura 40 - Opções da aba <i>Data</i> para simulação do POC ....	116
Figura 41 - Rotina estabelecida para o edifício de salas de aula Bloco 5O. ....	118
Figura 42 – Características do vidro verde 8 mm - <i>Sgl Green</i> 8 mm Bloco 5O e transmitância térmica ( <i>U-value</i> ) calculada pelo programa.....	121
Figura 43 – Características gerais dos brises inseridas no programa.....	121
Figura 44 – Características das aletas dos brises inseridas no programa. ....	121
Figura 45 – Características do policarbonato alveolar branco leitoso e transmitância térmica ( <i>U-value</i> ) calculada pelo programa.....	122
Figura 46 – Características da luminária inserida (valores <i>default</i> ).....	122
Figura 47 - Aba <i>openings</i> após mudança do cálculo de ventilação natural para <i>calculated</i> . ....	123
Figura 48 - Modelo real desenvolvido na interface gráfica do <i>DesignBuilder</i> . ....	123
Figura 49 - Modelo de referência desenvolvido na interface gráfica do <i>DesignBuilder</i> . ....	125
Figura 50 - Resultado da simulação prévia para identificação da temperatura do chão ....	126
Figura 51 – Carta bioclimática de Uberlândia.....	133
Figura 52 - Consumo horário de energia elétrica do edifício “Bloco 5O” – Modelo Real.....	157
Figura 53 - Consumo mensal de energia elétrica do edifício “Bloco 5O” – Modelo Real.....	158
Figura 54 - Consumo horário de energia elétrica do edifício “Bloco 5O” – Modelo de Referência.....	159
Figura 55 - Consumo horário de energia elétrica do edifício “Bloco 5O” – Modelo de Referência.....	160
Figura 56 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Térreo.....	161
Figura 57 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 3 Térreo.....	161
Figura 58 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Térreo.....	162

Figura 59 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Pav. 1 Parte 1.....	162
Figura 60 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 3 Pav. 1 Parte 1.....	162
Figura 61 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Pav. 1 Parte 1.....	163
Figura 62 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 5 Pav. 1 Parte 1.....	163
Figura 63 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 6 Pav. 1 Parte 1.....	163
Figura 64 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 7 Pav. 1 Parte 1.....	164
Figura 65 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 8 Pav. 1 Parte 1.....	164
Figura 66 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Pav. 1 Parte 2.....	164
Figura 67 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 2 Pav. 1 Parte 2.....	165
Figura 68 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 3 Pav. 1 Parte 2.....	165
Figura 69 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Pav. 1 Parte 2.....	165
Figura 70 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Pav. 2.....	166
Figura 71 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Pav. 2.....	166
Figura 72 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 5 Pav. 2.....	166
Figura 73 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 6 Pav. 2.....	167
Figura 74 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 7 Pav. 2.....	167
Figura 75 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 8 Pav. 2.....	167
Figura 76 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 9 Pav. 2.....	168
Figura 77 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 10 Pav. 2.....	168
Figura 78 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 13 Pav. 2.....	168
Figura 79 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 14 Pav. 2.....	169
Figura 80 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 16 Pav. 2.....	169
Figura 81 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 17 Pav. 2.....	169
Figura 82 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 18 Pav. 2.....	170
Figura 83 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 19 Pav. 2.....	170

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum) .....	45
Tabela 2 - Classificação geral do nível de eficiência energética .....	46
Tabela 3 – Pré-requisitos para transmitância da cobertura (Ucob) .....	47
Tabela 4 – Pré-requisitos para transmitância das paredes externas (Upar) .....	47
Tabela 5 – Pré-requisitos para cores e absorvância dos materiais de revestimento externo das paredes e das coberturas .....	47
Tabela 6 – Limites de fator solar de vidros e de percentual de abertura zenital para coberturas .....	47
Tabela 7 – Parâmetros do $IC_{máxD}$ .....	49
Tabela 8 – Parâmetros do $IC_{mín}$ .....	49
Tabela 9 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência .....	50
Tabela 10 – Valores do fator A em função da velocidade do ar .....	57
Tabela 11 – Visualização da planilha eletrônica do arquivo de extensão CSV que será posteriormente convertido em EPW no aplicativo <i>Weather Statistics and Conversions</i> do Programa <i>EnergyPlus</i> .....	69
Tabela 12 – Dados climáticos do arquivo climático e padrões para os .....	73
Tabela 13 – Quantidade de dados nulos da Estação Automática da Universidade Federal de Uberlândia .....	79
Tabela 14 – Temperaturas médias mensais para determinação do TRY .....	81
Tabela 15 – Seleção de meses para determinar o TRY .....	82
Tabela 16 – Dados climáticos do arquivo climático e padrões para os .....	89
Tabela 17 – Áreas das fachadas e aberturas e PAF de cada fachada .....	102
Tabela 18 – Descrição das paredes externas (envoltória) do edifício em estudo (Bloco 5O) .....	102
Tabela 19 – Síntese das características do Modelo Real e do Modelo de Referência para etiqueta parcial da envoltória .....	105
Tabela 20 – Nível mínimo de ar externo para ventilação .....	119
Tabela 21 – Níveis mínimos de iluminância e valores de densidades de iluminação para as atividades desenvolvidas no edifício “estudo de caso” .....	119
Tabela 22 – Valores do fator A em função da velocidade do ar .....	129
Tabela 23 – Equivalentes numéricos para ventilação natural .....	129
Tabela 24 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência para o estudo de caso .....	135
Tabela 25 – Transmitância das paredes externas do estudo de caso .....	135
Tabela 26 – Percentual de conforto, EqNumV e classificação de cada área não condicionada .....	138
Tabela 27 – Áreas de mesma classificação e representatividade destas áreas .....	139
Tabela 28 – Determinação da eficiência através da ponderação pela área .....	139
Tabela 29 – Estatísticas mensais de temperatura de bulbo seco .....	175
Tabela 30 – Estatísticas mensais de umidade relativa do ar (UR) .....	175
Tabela 31 – Estatísticas mensais de radiação solar ( $Wh/m^2$ ) .....	175
Tabela 32 – Estatísticas mensais de velocidade do vento .....	175
Tabela 33 – Estatísticas mensais de direção do vento .....	176

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área condicionada
Aenv	Área da envoltória
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento
ANC	Área não condicionada
APT	Área de permanência transitória
AQUA	Alta qualidade ambiental
Apcob	Área de projeção da cobertura
Ape	Área de projeção do edifício
ASHRAE	<i>AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS</i>
AU	Área útil
AVS	Ângulo vertical de sombreamento
B	Pontuação obtida em bonificações
BEN	Balanco Energético Nacional
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
COP	Coeficiente de Performance
DIROB	Diretoria de Obras da UFU
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EqNumCA	Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar
EqNumDPI	Equivalente numérico do sistema de iluminação
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória
EqNumS	Equivalente numérico da simulação
EqNumV	Equivalente numérico dos ambientes não condicionados e /ou ventilados naturalmente
FA	Fator de altura
FF	Fator de forma
GMT	<i>Greenwich Mean Time</i>
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
HVAC	<i>Heating, ventilation, and air conditioning</i>
ICenv	Indicador de Consumo da envoltória
IES	Instituições de Ensino Superior

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PAF	Percentual de abertura na fachada
PAFo	Percentual de abertura na fachada oeste
PAFt	Percentual de abertura na fachada total
PAZ	Percentual de abertura zenital
POC	Percentual de horas ocupadas em conforto
Procel Edifica	Plano de ação para Eficiência Energética em Edificações
PT	Pontuação total alcançada pelo edifício
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>
TRY	<i>Test Reference Year</i>
Ucob	Transmitância térmica da cobertura
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
Upar	Transmitância térmica das paredes
USGBC	<i>US Green Building Council</i>
Vtot	Volume total da edificação
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
1.1. CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS .....	21
1.2. METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS .....	23
1.2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL .....	26
1.2.2. RTQ-C - REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS .....	28
1.3. VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS RELACIONADAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	30
1.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA CIDADE DE UBERLÂNDIA .....	36
1.5. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES E <i>CAMPI</i> UNIVERSITÁRIOS .....	42
<b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL METODOLÓGICO</b> .....	<b>44</b>
2.1. MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C - REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS .....	44
2.2. MÉTODO SIMULAÇÃO DO RTQ-C - REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS .....	51
2.2.1. CONFORTO TÉRMICO – HIPÓTESES DE CONFORTO .....	54
2.3. COMPARAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS PRESCRITIVO E SIMULAÇÃO .....	57
2.4. IDENTIFICAÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA .....	59
2.4.1. ARQUIVO CLIMÁTICO HORÁRIO DE SIMULAÇÃO - CÁLCULOS .....	61
2.4.1.1. CÁLCULO DA RADIAÇÃO GLOBAL EXTRATERRESTRE HORIZONTAL .....	62
2.4.1.2. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL .....	66
2.4.1.3. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIRETA NORMAL .....	67
2.4.2. ARQUIVO CLIMÁTICO HORÁRIO DE SIMULAÇÃO – FORMATAÇÃO .....	68
2.4.2.1. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS EM PLANILHAS DE EXCEL .....	68
2.5. PROGRAMA DESIGNBUILDER .....	74
2.6. METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA .....	75
<b>CAPÍTULO 3 – MÉTODO</b> .....	<b>77</b>
3.1. DADOS CLIMÁTICOS – SELEÇÃO E ANÁLISE .....	78
3.1.1. IDENTIFICAÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA ( <i>TRY - TEST REFERENCE YEAR</i> ) .....	80
3.1.2. PROCEDIMENTO DE TRATAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS HORÁRIOS .....	83
3.1.2.1. INTERPOLAÇÃO DOS DADOS AUSENTES DO ANO <i>TRY</i> .....	84
3.1.2.2. CÁLCULO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR NÃO CONSTANTES NA BASE DE DADOS CLIMÁTICOS HORÁRIOS .....	84
3.1.2.2.1. CÁLCULO DA RADIAÇÃO GLOBAL EXTRATERRESTRE HORIZONTAL .....	85
3.1.2.2.2. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL .....	86
3.1.2.2.3. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIRETA NORMAL .....	87
3.1.3. FORMATAÇÃO DO ARQUIVO CLIMÁTICO .....	88
3.2. EDIFÍCIO ESCOLHIDO PARA ESTUDO DE CASO .....	90
3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLTÓRIA E ESPAÇOS INTERNOS .....	101
3.3. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA – MÉTODO PRESCRITIVO .....	103
3.4. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA – MÉTODO SIMULAÇÃO .....	104
3.4.1. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS VIRTUAIS .....	106
3.4.1.1. CONFIGURAÇÃO DO SÍTIO .....	107
3.4.1.2. CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA DO MODELO REAL .....	111
3.4.1.3. CONFIGURAÇÃO DO MODELO PARA SIMULAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO E DO POC .....	114
3.4.1.4. MODELAGEM DO MODELO REAL .....	117
3.4.1.5. CONTRUÇÃO GEOMÉTRICA DO MODELO DE REFERÊNCIA .....	123

3.4.2. SIMULAÇÃO .....	125
3.4.2.1. SIMULAÇÃO PARA OBTENÇÃO DA ETIQUETA DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO .....	126
3.4.2.2. SIMULAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO POC .....	127
3.4.2.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NOS MÉTODOS PRESCRITIVO E SIMULAÇÃO PARA O ESTUDO DE CASO .....	130
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>132</b>
4.1. ARQUIVO CLIMÁTICO HORÁRIO .....	132
4.2. CARTA BIOCLIMÁTICA DE UBERLÂNDIA .....	133
4.3. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DO EDIFÍCIO (ETIQUETAGEM) .....	134
4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NOS MÉTODOS PRESCRITIVO E SIMULAÇÃO PARA O ESTUDO DE CASO .....	139
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>143</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>155</b>
APÊNDICE A – SIMULAÇÕES .....	156
<b>ANEXOS .....</b>	<b>171</b>
ANEXO A – ELABORAÇÃO DA CARTA BIOCLIMÁTICA .....	172
ANEXO B – TABELAS COM DADOS ESTATÍSTICOS GERADOS NO APLICATIVO <i>WEATHER STATISTICS AND CONVERSIONS</i> .....	174
ANEXO C - PROJETO DO BLOCO 50 .....	177

## INTRODUÇÃO

A crise energética de meados da década de 1970 impulsionou a busca pela redução do consumo energético com consequente investimento em programas de energia renovável (ROAF; CRICHTON; FERGUS, 2009).

Mesmo assim, na média mundial, de acordo com o BEN – Balanço Energético Nacional, fontes renováveis correspondem a apenas 15,6% da geração de eletricidade enquanto no Brasil esse número é de 70%, correspondendo à geração de energia hidráulica (energia renovável) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

De acordo com a Eletrobrás - Procel (2011), calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no Brasil seja consumida não só na operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.

No entanto, há um expressivo potencial de conservação deste setor, avaliado em 30% para edificações existentes através de *retrofit* (reforma), podendo chegar a 50% nas edificações novas que utilizem tecnologia energeticamente eficiente desde a concepção inicial do projeto (ELETROBRÁS-PROCEL, 2010).

Carlo (2008) expõe que o potencial de economia de energia pode ser alcançado por meio de normas e regulamentações, sejam elas leis obrigatórias ou programas de certificação, embora as leis obrigatórias geralmente visem uma eficiência mínima, enquanto a certificação visa promover uma edificação de elevado desempenho ao compará-la com o mínimo obrigatório.

Várias metodologias para avaliação ambiental de edifícios estão sendo desenvolvidas e aplicadas em todo o mundo. A eficiência energética possui papel importante nestas metodologias, uma vez que “o uso contínuo de energia é provavelmente o maior impacto ambiental específico de um edifício, e por isso o projeto energeticamente eficiente deve ser prioridade número um” (AMORIM, 2002).

No Brasil, em 2001, após a crise energética local, intensificou-se uma preocupação com as questões ambientais, relacionadas principalmente com o consumo excessivo de energia elétrica, o que levou à criação de uma lei, Lei

nº10295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia (BRASIL, 2001a).

Como consequência de diversas ações desde a criação da Lei nº10295, foi publicado em 2009 pela Secretaria técnica de edificações (pertencente ao Procel Edifica) em parceria com o INMETRO, o RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, apresentando critérios para a classificação completa do nível de eficiência energética do edifício através das classificações parciais da envoltória e dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar.

Levando-se em conta as considerações anteriores, pretende-se neste trabalho avaliar a aplicabilidade desta metodologia brasileira de eficiência energética em edificações, o RTQ-C, para as condições em que a simulação é indicada e não há arquivo climático horário de simulação disponível, aplicando o item envoltória<sup>1</sup> em um edifício de salas de aula do Campus Santa Mônica da UFU – Universidade Federal de Uberlândia, na cidade de Uberlândia – Minas Gerais, utilizando seus dois métodos: prescritivo e simulação.

A cidade de Uberlândia, maior cidade do Triângulo Mineiro e terceira maior cidade do Estado de Minas Gerais, foi escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa, por estar em crescente desenvolvimento, dispor de dados climáticos, e, além disso, possuir um grande número de profissionais, empresas e cursos universitários relacionados à construção civil, o que possibilita uma maior utilização do trabalho.

Alguns estudos relacionam a temática do estudo do clima, do conforto ambiental e eficiência energética em edificações nesta cidade: Berte (1998), Berte (2000) e Yogoro (2006). Contudo, o RTQ-C ainda não foi aplicado em nenhuma edificação da cidade e, embora existam trabalhos de simulação de desempenho térmico e luminoso, não foram desenvolvidos arquivos climáticos horários de simulação conforme indicado no RTQ-C, sendo que até mesmo a classificação por zona bioclimática da cidade<sup>2</sup> é de difícil definição.

---

<sup>1</sup> É na envoltória da edificação, onde são avaliados aspectos pertinentes ao projeto de arquitetura e a eficiência energética.

<sup>2</sup> A cidade de Uberlândia não consta na lista de cidades utilizadas para definição do zoneamento bioclimático brasileiro e localiza-se no mapa de zoneamento bioclimático brasileiro em um local fronteiro entre três zonas (ZB3, ZB4 e ZB6).

Todo o desenvolvimento do trabalho baseou-se nas diretrizes do RTQ-C: o regulamento, seu manual, dissertações, teses, relatórios e artigos a respeito do desenvolvimento e aplicação da metodologia para obtenção da etiqueta de eficiência energética do RTQ-C. A partir disso, outras referências foram pesquisadas a fim de atender à metodologia do RTQ-C, como as hipóteses de conforto para ambientes naturalmente ventilados, as divergências nos resultados obtidos na aplicação dos métodos prescritivo e simulação, a identificação do ano climático de referência, a formatação do arquivo climático horário de simulação e os cálculos das variáveis de radiação solar necessárias para o mesmo e, por fim, o programa de simulação.

Os principais dados requeridos para execução do trabalho foram as bases de dados climáticos, fornecido pelo Laboratório de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia e pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia e o projeto completo do edifício escolhido para o estudo de caso, fornecido pela Diretoria de Obras da Prefeitura do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia.

Além de permitir que a metodologia do RTQ-C seja aplicada em mais uma cidade do território brasileiro, a pesquisa também contribui para afirmar uma metodologia para a formatação de arquivos climáticos horários de simulação termoenergética, além de colaborar na formação de um banco de dados nacionais de edificações etiquetadas no país.

Como consequência, a incorporação paulatina de parâmetros do RTQ-C nos projetos possibilitará a existência de edificações mais adequadas ao clima e eficientes energeticamente. Espera-se que as universidades, os projetistas, os consultores, as construtoras e os consumidores se apropriem do conceito de eficiência energética e que isso possa agregar valor aos edifícios, além, é claro, de contribuir para um desenvolvimento sustentável de nossas cidades.

Resumem-se abaixo os objetivos desta pesquisa:

## OBJETIVOS DO TRABALHO

Objetivo geral:

- Avaliar a aplicabilidade do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, para as condições

em que a simulação é indicada e não há arquivo climático horário de simulação disponível, aplicando-o na cidade de Uberlândia-MG.

Objetivos específicos:

- Seleção e análise dos dados climáticos da cidade de Uberlândia visando a identificação do ano climático de referência utilizando a metodologia do TRY – *Test Reference Year*;
- Tratamento dos dados climáticos horários do TRY (ano de 2006) para utilização na simulação termoenergética e criação da carta bioclimática de Uberlândia;
- Formatação do arquivo climático horário de Uberlândia para simulação termoenergética;
- Elaboração da carta bioclimática para a cidade de Uberlândia;
- Aplicação da metodologia da envoltória do RTQ-C no edifício escolhido, utilizando o método prescritivo e o método simulação, descritos no regulamento;
- Comparação dos métodos, prescritivo e simulação, relacionando ou comparando as diferenças entre os resultados obtidos com os dois métodos, no estudo de caso.

## CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais tópicos relacionados a este trabalho.

Para contextualizar a eficiência energética nas edificações, primeiramente foram abordados aspectos referentes ao consumo de energia nos edifícios e às metodologias para avaliação ambiental de edifícios. Depois, foi traçado um panorama da eficiência energética no Brasil, bem como do regulamento brasileiro de eficiência energética e as variáveis arquitetônicas relacionadas à eficiência energética.

Em seguida, é feita uma caracterização climática da cidade Uberlândia-MG, visando situar a pesquisa e justificar a escolha desta cidade.

Por fim, aborda-se a eficiência energética em edificações em campi universitários, de modo a contextualizar e justificar a escolha do edifício “estudo de caso” na cidade de Uberlândia.

### 1.1. CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

A crise energética de meados da década de 1970 mostrou que o sonho do século XX de energia infinita e barata e recursos ilimitados era irreal, a ponto de se afirmar que teríamos somente mais 30 anos de petróleo e, mesmo que tenha sido uma previsão imprecisa, as pessoas começaram a contar os barris, a compará-los com as reservas e, compreensivelmente, a investir em programas de energia renovável (ROAF; CRICHTON; FERGUS, 2009).

De acordo com Edwards (2008, p.53) “estima-se que o consumo energético dobrará até 2050, com grande parte desta energia originada da exploração continuada de combustíveis fósseis, embora uma porcentagem cada vez maior seja produzida a partir de fontes renováveis”.

Enquanto na média mundial fontes renováveis correspondem a apenas 15,6% da geração de eletricidade (figura 1), no Brasil, onde o consumo *per capita* de energia também tem subido, a maior parte da energia elétrica gerada é derivada de fontes renováveis, em que, segundo o BEN – Balanço Energético Nacional

(MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009), 70% da oferta corresponde à geração de energia hidráulica (figura 2).

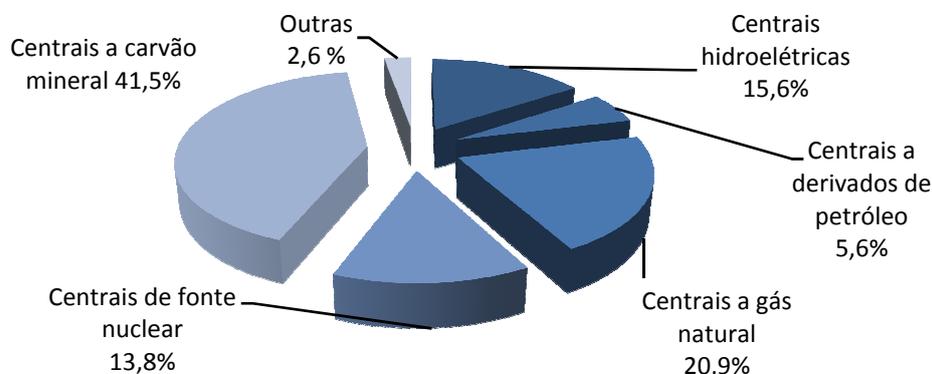


Figura 1- Oferta mundial de energia.  
Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2009, p. 15).

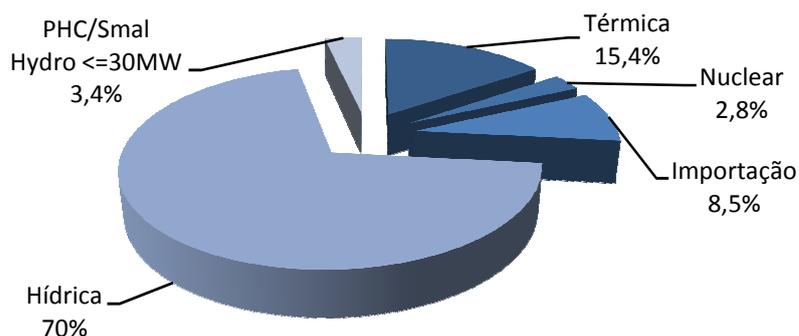


Figura 2- Oferta brasileira de energia.  
Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2009, p. 14).

No entanto, no Brasil, em 2008, a geração pública a partir de combustíveis fósseis elevou-se em 63,2% com relação a 2007, com aumento expressivo na geração a partir do gás natural (116,6%) e da energia nuclear (13,1%) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

Com relação ao consumo de energia elétrica no Brasil, o setor residencial apresentou crescimento de 5,2%, devido principalmente ao aumento da renda e à ligação de domicílios que não eram atendidos por redes elétricas. O setor comercial também apresenta aumento acima da média, 6,8%, também como reflexo do aumento do poder de compra das famílias, enquanto as indústrias apresentaram pequena variação da ordem de 2,4%.

Juntos, os setores residencial, comercial e público representaram em 2008, 45% do consumo de energia elétrica no Brasil (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009) (ver figura 3).

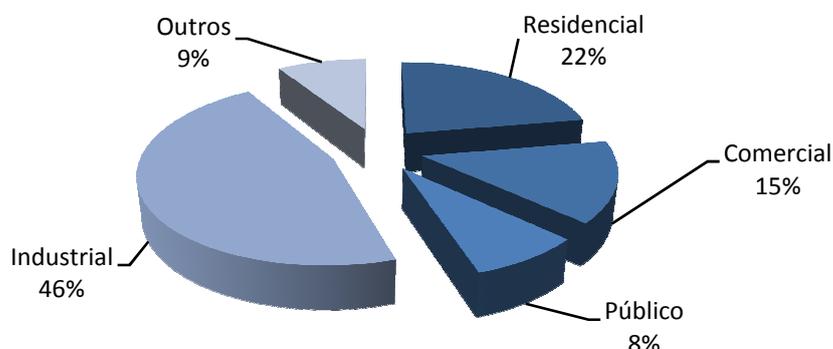


Figura 3 - Consumo de energia por setores.  
Fonte: Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2009)

De acordo com a Eletrobrás - Procel (2011), calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no país seja consumida não só na operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.

Em edifícios comerciais e públicos – com e sem sistemas de condicionamento de ar -, 64% do consumo de energia elétrica deve-se aos usos finais de iluminação e de condicionamento, chegando a 86% em bancos e escritórios (GELLER, 1991, apud CARLO, 2008).

No entanto, há um expressivo potencial de conservação deste setor, avaliado em 30% para edificações existentes através de *retrofit* (reforma), podendo chegar a 50% nas edificações novas que utilizem tecnologia energeticamente eficiente desde a concepção inicial do projeto (ELETROBRÁS-PROCEL, 2010).

## 1.2. METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS

Várias metodologias para avaliação ambiental de edifícios estão sendo desenvolvidas e aplicadas em todo o mundo.

A primeira metodologia de avaliação ambiental de edifícios surgiu ao final da década de 1980, no Reino Unido. Segundo Oliveira (2009), esta metodologia, intitulada BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, trata-se de um sistema de *benchmarks*<sup>3</sup>, para várias tipologias de edifícios, desenvolvido por pesquisadores do BRE - *BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT* e do setor privado, em parceria com a indústria, visando à especificação e mensuração de desempenho dos edifícios. “Fornece orientação sobre as maneiras de minimizar os efeitos adversos dos edifícios nos ambientes local e global e, ao mesmo tempo, promover um ambiente interno saudável e confortável” (OLIVEIRA (2009, p.66).

Das metodologias de avaliação ambiental de edifícios existentes, algumas são utilizadas no Brasil, dentre as quais o LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design* (metodologia criada nos Estados Unidos) e o AQUA – Alta qualidade ambiental (metodologia criada na França, originada no sistema HQE - *Haute Qualité Environnementale*) se destacam.

O LEED, criado pelo *US Green Building Council* (USGBC), nos Estados Unidos,

“consiste em um sistema inspirado no BREEAM, mas com o objetivo próprio de ser um sistema de classificação de desempenho consensual e orientado pelo mercado, visando acelerar o desenvolvimento e a implementação de práticas de projeto e construção ambientalmente responsáveis e agregar valor aos edifícios certificados” (OLIVEIRA, 2009, p.81).

De acordo com Silva (2007, p.19) “o LEED é provavelmente o método disponível mais amigável enquanto ferramenta de projeto, o que facilita sua incorporação à prática profissional”.

O LEED é um programa de certificação internacionalmente aceito como referência para a concepção, construção e operação de alto rendimento para edifícios, tendo uma abordagem de sustentabilidade estruturada pela avaliação do desempenho em cinco campos da saúde humana e ambiental: desenvolvimento local sustentável, economia d’água, eficiência energética e seleção de materiais (OLIVEIRA, 2009).

---

<sup>3</sup> Padrão nivelador para ponderação: marca de nível, marca comparativa, marca de referência. Pertinente ao teste de desempenho de um sistema (OLIVEIRA, 2009, p.65).

Schendler; Udall (2005, apud FOSSATI, 2008) referem-se ao LEED como uma intenção louvável, porém de execução desapontadora. Dentre os problemas descritos, que fazem com que as edificações sustentáveis sejam mais difíceis de serem alcançadas do que deveriam, destacam: o alto custo (financeiro, de tempo e esforço) de certificação; o foco na obtenção de pontos para a certificação e não na responsabilidade ambiental; a complexidade da simulação de desempenho energético da edificação requerida; a burocracia engessada e o desencaminhamento dos benefícios das edificações sustentáveis por permitir que apenas os requisitos desejáveis sejam atendidos (além dos pré-requisitos, obviamente) sem que o resultado final seja afetado. O método que já vem sendo amplamente utilizado no Brasil traz aspectos que vão além da eficiência energética, mas ainda precisa de muitos ajustes, dentre eles há um esforço da GBC Brasil (*Green Building Council*) em inserir créditos regionais, e mesmo estes não seriam inicialmente diferenciados para cada região do país, salvo o crédito de materiais regionais (NASCIMENTO, 2010).

O sistema AQUA, baseado no método francês HQE, é composto por duas partes: o Sistema de Gestão do Empreendimento e a Qualidade Ambiental do edifício. A primeira pode ser considerada universal, válida para o Brasil, por exemplo, praticamente tal como publicado, enquanto a segunda é adaptada às construções e às legislações francesas (CARDOSO, 2003 apud FOSSATI, 2008).

As categorias de avaliação do AQUA são: (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2011):

- Eco-construção: relação do edifício com o seu entorno; escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos; canteiro de obras com baixo impacto ambiental;
- Gestão: gestão da energia, gestão da água, gestão dos resíduos de uso e operação do edifício e manutenção (permanência do desempenho ambiental);
- Conforto: conforto acústico, visual e olfativo.
- Saúde: qualidade sanitária dos ambientes, do ar e da água.

Um ponto considerado negativo por Fossati (2008) é o fato de não haver escala de atribuição de certificado: o empreendimento é ou não é ambientalmente correto. Acredita-se que para o Brasil seja importante haver um esquema de diferentes classificações como forma de estimular o mercado na busca por edifícios

cada vez mais sustentáveis, mas sem deixar de valorizar empreendimentos que se diferenciam do mercado.

De acordo com Fosssati (2008), 13,37% da pontuação do BREEAM refere-se à questão energética; no LEED esta parcela é ainda maior, 25%<sup>4</sup>. No AQUA, no entanto, não existe peso, todas as categorias possuem o mesmo nível de importância.

Em todas as metodologias citadas, a eficiência energética durante a vida útil da edificação possui um papel importante, uma vez que “o uso contínuo de energia é provavelmente o maior impacto ambiental específico de um edifício, e por isso o projeto energeticamente eficiente<sup>5</sup> deve ser a prioridade número um” (AMORIM, 2002).

### **1.2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL**

No Brasil, em 2001, após a crise energética local, intensificou-se uma preocupação com as questões ambientais, relacionadas principalmente com o consumo excessivo de energia elétrica.

Ainda no período da crise, a Lei nº10295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia (BRASIL, 2001a) foi criada. Na sequência, o Decreto Lei nº4059 (BRASIL, 2001b) regulamentou a Lei nº10295 e estabeleceu “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como as edificações construídas”. Indicou a necessidade de concepção de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para níveis de eficiência energética. Este mesmo decreto criou o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País – GT Edificações para elaborar e regulamentar os procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações.

Em 2003, foi criado pela Eletrobrás, o Procel Edifica: Plano de ação para Eficiência Energética em Edificações, visando construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil (LABEEE, 2009).

---

<sup>4</sup> Neste caso a maior parte da pontuação refere-se ao item da eficiência energética.

<sup>5</sup> Diversos aspectos estão relacionados à edifícios energeticamente eficientes, dentre eles: a utilização de fontes energéticas renováveis, a minimização das cargas de aquecimento e refrigeração, a otimização da luz natural, etc (AMORIM, 2002).

Em 2005, o GT Edificações instituiu a Secretaria Técnica de Edificações – ST-Edificações para discutir indicadores da eficiência energética, este por sua vez foi coordenado pelo Procel Edifica.

A ST - Edificações em parceria com o INMETRO desenvolveu e publicou em 2009 o RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e seus documentos complementares. Em 2010, o RTQ-R- Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais.

O RTQ-C apresenta critérios para a classificação completa do nível de eficiência energética do edifício através das classificações parciais da envoltória e dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Uma equação pondera estes sistemas através de pesos e ainda permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas com uso de energia renovável, cogeração e racionalização do consumo de água. Tais iniciativas poderão receber até um ponto na classificação geral.

No RTQ-R, a classificação do nível de eficiência energética do edifício é realizada através de classificações parciais da envoltória (que inclui a iluminação natural e ventilação natural), e o sistema de aquecimento de água. A classificação é realizada nas escalas: unidade habitacional (edificação unifamiliar e edificações multifamiliares) e áreas comuns de edificações multifamiliares. Uma equação pondera estes sistemas através de pesos estabelecidos no regulamento e permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas através de uso da iluminação natural, ventilação natural, uso racional da água, uso de equipamentos certificados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem, entre outros.

O estudo realizado sobre normalização em eficiência energética em países em desenvolvimento (DUFFIE, 1996 apud CARLO, 2008) mostrou que no Brasil, normas e códigos de eficiência energética em todos os setores consumidores, incluindo transporte e agroindústria, poderiam acarretar economias de cerca de 1310 TWh em 20 anos (2000 a 2020) (CARLO,2008, p.4).

O mercado da construção civil ainda terá de se adaptar ao conceito de eficiência energética de um edifício: os arquitetos, com os parâmetros de projeto; os profissionais envolvidos com construção civil, com o registro de informações e documentos ao longo da obra; os fornecedores de materiais, com a uniformização

da linguagem e parâmetros de especificação técnica de seus produtos; as agências financiadoras da construção, com os próprios conceitos de eficiência; e o público em geral, com a etiqueta de eficiência e seu significado (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE) (CARLO, 2010).

Por enquanto, vinte e seis edifícios comerciais, de serviços e públicos e nove edifícios residenciais receberam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) entre 2009 e 2011 (LABEEE, 2011).

É necessário, portanto, que o RTQ-C seja aplicado em várias regiões visando avaliar a aplicabilidade desta metodologia.

### **1.2.2. RTQ-C - REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS**

O RTQ-C pode ser aplicado em qualquer edificação comercial, de serviço ou pública, condicionada, parcialmente condicionada ou não-condicionada, com área total útil mínima de 500m<sup>2</sup> e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual à 2,3 kV. Dois são os métodos que poderão ser utilizados: o prescritivo e a simulação.

O método prescritivo pode ser aplicado em qualquer cidade do país a partir da definição da zona bioclimática<sup>6</sup> a qual pertence. O método simulação necessita de um programa com características específicas de simulação termoenergética, definidas pela regulamentação, e da disponibilidade de um arquivo climático horário da cidade ou de uma região próxima em que se pretende aplicar o RTQ-C, constando de 8760 horas (total de horas de um ano) de dados como: temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento e radiação solar.

Ambos os métodos devem atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e à eficiência de condicionamento do ar (INMETRO, 2010) individualmente, sendo que a classificação da envoltória é obrigatória mesmo se a intenção é classificar apenas um dos outros sistemas.

---

<sup>6</sup> Na NBR15220-3 (ABNT, 2005) propôs-se a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, intituladas de zonas bioclimáticas formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Para determinação da eficiência da envoltória pelo RTQ-C é necessário que a classificação seja realizada para a edificação inteira. Nos casos do sistema de iluminação e ar-condicionado, o nível de eficiência pode ser estabelecido para um pavimento ou conjunto de salas.

O RTQ-C também apresenta critérios para a classificação completa do nível de eficiência energética do edifício através das classificações parciais da envoltória e dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Uma equação pondera estes sistemas através de pesos e ainda permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas com uso de energias renováveis, cogeração e racionalização do consumo de água. Tais iniciativas poderão receber até um ponto na classificação geral.

O método prescritivo pode ser aplicado em qualquer cidade desde que definida sua zona bioclimática, mas de acordo com Carlo; Lamberts (2010) o método prescritivo foi estabelecido como um conjunto de regras gerais para identificar a eficiência do edifício e aplica-se à uma grande maioria de tipologias construídas no país. No entanto, ele não abrange todas as soluções possíveis de existir em um edifício e muitos casos só poderão ser avaliados pela simulação.

A pesquisa de Carlo (2008) deu origem ao método prescritivo do item ENVOLTÓRIA do RTQ-C e para definição das equações foi realizado inicialmente um levantamento das características tipológicas de edifícios comerciais, de serviços e públicos em cinco capitais brasileiras: Florianópolis, São Paulo, Salvador, Recife, Belo Horizonte. Com isso, determinou-se os modelos representativos desta tipologia e criou-se protótipos para simulação do desempenho termoenergético que, por sua vez, deram origem às equações. As equações do método prescritivo se diferenciam segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e a área de projeção do edifício.

No RTQ-C, a simulação é o método mais completo para qualquer análise do desempenho térmico e/ou energético do edifício, proporcionando flexibilidade nas opções que visam à racionalização do consumo de energia (CARLO; LAMBERTS, 2010). Este método faz exigências quanto ao programa a ser utilizado, bem como o arquivo climático da cidade.

A incorporação paulatina de parâmetros do RTQ-C no projeto possibilitará a existência de edificações mais adequadas ao clima e eficientes energeticamente. Espera-se que as universidades, os projetistas, os consultores, as construtoras e os consumidores se apropriem do conceito de eficiência energética e que isso possa

agregar valor aos edifícios, além de contribuir para um desenvolvimento sustentável das cidades.

Nesta pesquisa o enfoque será dado aos requisitos relativos à envoltória da edificação, onde são avaliados aspectos pertinentes ao projeto de arquitetura, tais como a implantação, a forma e a altura da edificação, o percentual de aberturas na fachada, o uso de elementos de proteção solar, os tipos de fechamentos transparentes e translúcidos (vidros, policarbonatos, etc) e os tipos de fechamentos opacos (paredes e coberturas).

### **1.3. VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS RELACIONADAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

O consumo energético nas edificações é função de diversos usos finais tais como: sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar e os equipamentos - computadores, impressoras, máquinas, etc. Estes dependem de variáveis arquitetônicas, tais como a forma (geometria) da edificação, a envoltória e seus materiais e a função do edifício (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1994).

“Do arquiteto dependem a adequação da forma arquitetônica à sua função (e vice-versa) e a correta especificação dos fechamentos e sistemas de condicionamento utilizados no projeto” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 51).

#### **a) FORMA DA EDIFICAÇÃO**

A forma interfere diretamente nas trocas térmicas entre os ambientes internos e externos. É, portanto, de grande influência no conforto ambiental e no consumo de energia.

Segundo Olgay (1998, p. 87), “a forma ótima é aquela que ganha o mínimo de calor no verão e perde o mínimo de calor no inverno”.

No RTQ-C a forma é levada em consideração na equação da determinação da eficiência da envoltória com as variáveis: fator de altura (FA) e fator de forma (FF).

Segundo o INMETRO (2010), o fator de altura (FA) é a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação, enquanto o fator de forma (FF) é a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação.

## b) ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO

A envoltória é, segundo o RTQ-C (INMETRO, 2010), “os planos que separam o ambiente interno do externo” (figura 4).

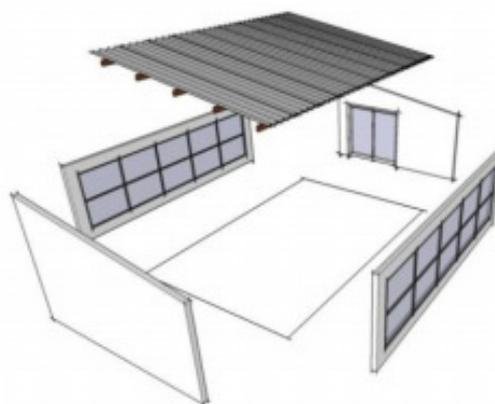


Figura 4 - Partes do edifício que compõem a envoltória.  
Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (LABEEE et al, 2010)

A envoltória da edificação tem um papel importante, pois é mediadora entre o edifício e o ambiente externo, de modo a criar internamente condições mais confortáveis. “É uma função que desenvolveu por séculos, de maneira tal, para se diferenciar em relação às condições climáticas” (BUTERA, 2009, p. 172).

A envoltória é composta de fechamentos opacos e transparentes. As características da envoltória, comum em todas as análises sobre eficiência energética de edificações, podem aumentar ou minimizar os ganhos de calor. São elas: cor da edificação, propriedades térmicas de seus materiais e componentes como vidros, paredes e coberturas, e a exposição destes fechamentos ao ambiente externo.

“Além da orientação e da forma do volume, os materiais dos fechamentos externos são importantes para definir a estrutura térmica e a qualidade da iluminação natural na habitação” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 54).

A radiação solar incidente sobre um edifício sempre resultará em certo ganho de calor, que será função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos fechamentos opacos, transparentes e/ou translúcidos do edifício.

#### b.1) FECHAMENTOS OPACOS

Os fechamentos opacos são os responsáveis pela proteção do ambiente interno de uma edificação, ou seja, impedindo a transmissão direta de radiação solar para este ambiente. Nestes, haverá transmissão de calor quando se estabelecer um diferencial de temperatura entre o ambiente externo e o ambiente interno.

Segundo Lamberts; Dutra; Pereira (1997) as trocas térmicas pelos fechamentos opacos acontecem na seguinte sequência:

1. A superfície externa irá se aquecer por meio da convecção e da radiação. A radiação incidente terá uma parcela absorvida e outra refletida, dependendo da absorvância e da refletância do material. Conseqüentemente, a temperatura desta superfície irá se elevar, dependendo também de sua resistência superficial externa.
2. Haverá um diferencial da temperatura interna e externa das superfícies, o que favorecerá a troca de calor entre as duas, desta vez através da condução. A intensidade deste fluxo de calor dependerá da condutividade térmica do material e da espessura do fechamento, o que nos dá a resistência térmica deste componente, propriedade do material de resistir à passagem de calor.
3. Com a chegada de calor na superfície interna as trocas voltam a acontecer por convecção e radiação. As trocas por convecção dependerão da resistência superficial interna do fechamento e as perdas por radiação da emissividade do material.

No RTQ-C – ENVOLTÓRIA há pré-requisitos para a transmitância térmica ( $U$  em  $W/m^2K$ ) das paredes e coberturas, bem como para as absorvâncias ( $\alpha$ ) das superfícies.

A transmitância térmica ( $U$ ) ( $W/m^2K$ ) de um componente, seja ele parede ou cobertura, corresponde à combinação das camadas, ou seja, cada um dos materiais dos fechamentos tem uma resistência térmica distinta, sendo que o inverso da resistência total (soma da resistência de cada material do componente construtivo, mais suas resistências superficial interna e externa) do componente construtivo é

igual a sua transmitância térmica. A transmitância térmica pode ser calculada por método explicado na NBR15220 – 2 (ABNT, 2005).

A absorptância térmica ( $\alpha$ ), segundo a NBR15220 – 1 (ABNT, 2005) é “o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”. Os materiais de construção são seletivos à radiação de onda curta, sendo que a principal determinante desta característica é a cor da superfície. Portanto, se um material possui 0,8 de absorptância, isso significa dizer que ele irá absorver 80% desta radiação solar incidente e refletir 20% (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

## b.2) FECHAMENTOS TRANSPARENTES OU TRANSLÚCIDOS

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem nos fechamentos transparente e translúcidos, compreendendo a entrada de radiação direta ou indireta pelas janelas, aberturas zenitais, panos de vidro, etc.

Nestes fechamentos as trocas térmicas acontecem de forma semelhante ao que acontece nos fechamentos opacos, embora, neste caso, uma parcela direta da radiação entra na edificação pela transparência do material. Esta parcela transmitida diretamente para o interior depende da transmissividade do vidro, que é de acordo com a NBR15220 – 1 (ABNT, 2005) “o quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento”.

A orientação da fachada e o tamanho da abertura influenciam na quantidade de calor solar e iluminação a que uma abertura estará exposta. A trajetória do sol é diferente para cada latitude, conseqüentemente, a quantidade de radiação solar incidente nos fechamentos também será diferente.

Segundo Lamberts et al (2007), uma vez no interior do edifício, a radiação solar encontrará dificuldades para voltar para o ambiente externo e as possibilidades desta radiação voltar para o ambiente são:

- Por convecção: mas nos locais fechados esta forma de transmissão é muito lenta, pois primeiro o ar deve ser aquecido, depois atingir o vidro mediante movimentos convectivos e, por último, transmitir parte de sua energia ao exterior.

- Por radiação: mas os corpos à temperatura normal ambiente emitem energia radiante de onda longa para cujo comprimento de onda em torno de  $9\mu\text{m}$  o vidro é opaco, bloqueando a radiação de onda longa, caracterizando, portanto, o efeito estufa.

É o fator solar que indica o quanto de radiação entrará na edificação pelos fechamentos transparentes ou translúcidos e também é uma das variáveis da equação para determinar a eficiência da envoltória. Representa o “quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo” (ABNT, 2005).

Para uma janela de vidro comum, com fator solar de 0,87, significa que 87% da radiação incidente penetrará no interior do edifício (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

No RTQ-C, as variáveis que dizem respeito ao quanto de fechamentos transparentes ou translúcidos haverá em todas as fachadas ou apenas na fachada oeste são, respectivamente, o PAFt – Percentual de Abertura na Fachada total e o PAFo – Percentual de Abertura na Fachada oeste. Uma destas variáveis será utilizada na equação para o cálculo de desempenho da envoltória. O PAFt “é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e área total de fachada da edificação”(INMETRO, 2010). Para obter o PAFo faz-se o mesmo cálculo mas apenas para a fachada oeste, considerada no RTQ-C a pior orientação para uma edificação.

Também o fator solar é uma das variáveis do cálculo da eficiência da envoltória no RTQ-C. Além disso, há pré-requisitos que relacionam o fator solar e o percentual de abertura zenital para coberturas. Por exemplo, se o fator solar for 0,87, o percentual de abertura poderá ser de no máximo 2%.

Por fim, a existência ou não de proteção solar nos fechamentos transparentes e translúcidos também irá interferir na entrada de calor no interior do edifício. Estas proteções podem ser internas ou externas.

“A proteção externa normalmente tende a ser mais eficiente, posto que barra a radiação solar antes de sua penetração por transmissividade através do material”

(FROTA. SCHIFFER, 2001, p.46). Estas devem ser projetadas segundo especificidade de cada edifício, de acordo com a localização, função e orientação.

No RTQ-C, a existência de proteção externa também é considerada na equação para determinação da eficiência da envoltória, na condição de ângulos de sombreamento: “ângulos que determinam a obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas” (INMETRO, 2010). São usados dois tipos: AVS – ângulo vertical de sombreamento, referente a proteções horizontais e o AHS – ângulo horizontal de sombreamento referente a proteções verticais (figura 5).

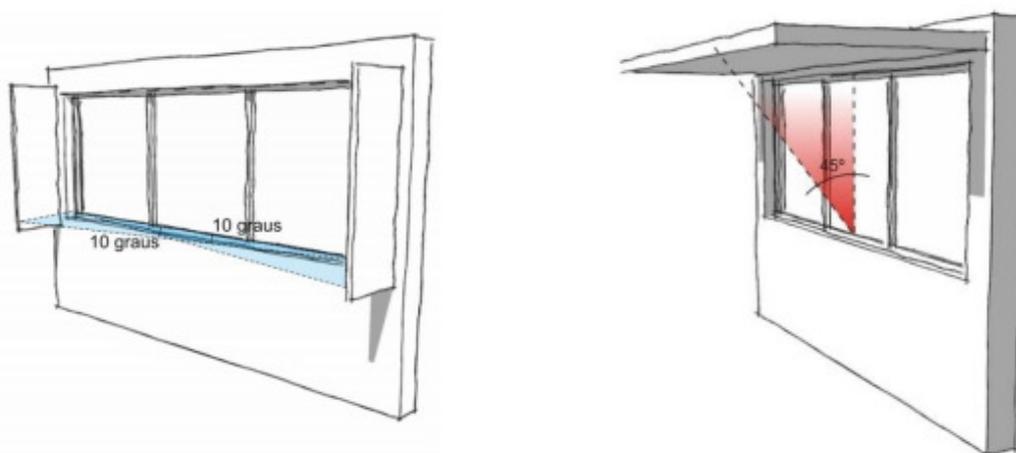


Figura 5 - Proteção solar vertical com AHS de 10° à esquerda. Proteção solar horizontal com AVS de 45°, à direita.

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (LABEEE et al, 2010)

Uma pesquisa realizada por Santana; Ghisi (2009) para a cidade de Florianópolis mostrou a partir de simulações termoenergéticas em protótipos representativos da tipologia de escritórios que, ao alterar características da envoltória da edificação, tais como: percentual de abertura na fachada, fator solar dos vidros, absorvância das paredes, a presença de proteções solares nas janelas, o consumo energético da edificação sofreu alterações significativas. Por exemplo: a cada variação de 10% do percentual de área de janela na fachada, o consumo de energia aumentou em 2,9%; para a absorvância das paredes externas, cada variação de 10% implicou no aumento de 1,9% do consumo de energia e, ao se aumentar a transmitância térmica da cobertura em 10%, implicou-se no aumento da carga de resfriamento em 8%; para a absorvância da cobertura, a cada acréscimo de 10%, a carga de resfriamento aumentou em 14%.

### b.3) FUNÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Uma mesma edificação poderá ter comportamento energético diferente se destinada a usos diferenciados como, por exemplo, uma residência e um escritório. Além das atividades exercidas serem distintas, os horários de ocupação também são, expondo os usuários a condições climáticas também diferentes.

“O estudo da função arquitetônica é primordial na escolha de determinado critério ou estratégia bioclimática a ser adotada. As funções residencial, comercial e pública são distintas do ponto de vista da dependência do clima e, conseqüentemente, do consumo de energia” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 55).

## 1.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA CIDADE DE UBERLÂNDIA

O município de Uberlândia localiza-se na região sudeste do Estado de Minas Gerais, mais especificamente no Triângulo Mineiro, com latitude 18°55'S e longitude 48°15'WGR.

É um bom exemplo de cidade de porte médio que, por razões históricas, econômicas e naturais tornou-se um polo de crescimento que reproduz bem o modelo econômico do país, sendo atualmente uma das mais dinâmicas cidades do interior do Estado (BERTE, 2000, p. 101).

A população do município, segundo senso de 2010, é de 604.013 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 146,78 hab/km<sup>2</sup>.

A cidade foi escolhida para esta pesquisa por estar em crescente desenvolvimento, dispor de dados climáticos e, além disso, possuir um grande número de profissionais, empresas e cursos universitários relacionados à construção civil, o que possibilita uma maior utilização da pesquisa.

Uberlândia possui duas estações climatológicas: a do Aeroporto Tenente-Coronel Aviador César Bombonato e a Estação Climatológica da Universidade Federal de Uberlândia - UFU.

Esta última integra a rede mundial meteorológica da OMM - Organização Meteorológica Mundial e conta com duas estações: a Estação Convencional e a Estação Automática.

A Estação Convencional, inicialmente instalada no Parque do Sabiá em 1980, foi transferida para a UFU em 1996. A Estação Automática foi instalada na UFU em 2003 e possui dados registrados desde março do mesmo ano (ver localização das estações na figura 6).

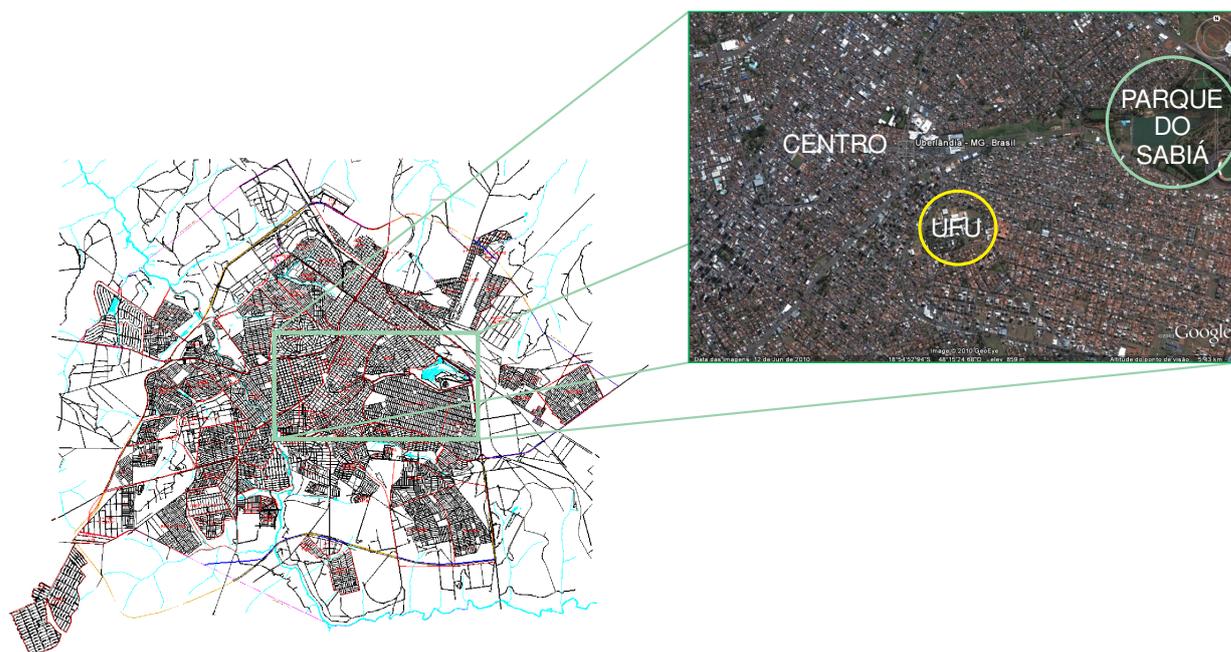


Figura 6 - Mapa de Uberlândia à esquerda. À direita, foto aérea ampliada localizando o centro da cidade, a UFU onde estão localizadas as Estações Climatológicas Convencional e Automática cujos dados foram estudados e o Parque do Sabiá, antiga localização da Estação Climatológica Convencional.

Fonte: Mapa - Secretaria de Planejamento Urbano de Uberlândia. Foto aérea: Google Earth.

Os dados coletados pela estação automática são enviados para o INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, enquanto que os dados da estação convencional foram enviados ao INMET até o ano de 2006 apenas, mas continuam sendo coletados.

Na estação convencional (manual), o instrumental e a coleta de dados seguem recomendações da OMM e do INMET, e são efetuadas três leituras diárias, às 12h, 18h e 24h (GMT – Greenwich Mean Time) dos seguintes dados: temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, temperaturas extremas, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, evaporação (evaporímetro de piché); evaporação do Tanque Classe A, temperatura da água do Tanque Classe A, horas

de brilho solar, precipitação (total e do comportamento das chuvas: intensidade e duração); temperatura do solo em 5 níveis de profundidade, direção e velocidade do vento, cobertura do céu (nebulosidade), tipologia das nuvens, visibilidade e registro de fenômenos atmosféricos tais como: granizo, geada, halo solar ou lunar, queda de raios ou ocorrência de trovoadas, nevoeiros, etc.

Na estação automática, as leituras são efetuadas de hora em hora por meio de sensores e os dados coletados são: temperatura do ar (instantânea, máxima e mínima), temperatura do ponto de orvalho (instantânea, máxima e mínima), umidade relativa do ar (instantânea, máxima e mínima da hora), pressão atmosférica (instantânea, máxima e mínima da hora), direção, velocidade e registro das rajadas mais fortes do vento, precipitação e radiação solar global.

As estações automáticas, que registram os dados climáticos horários, estão localizadas mais frequentemente em aeroportos e em estações climáticas que, assim como os aeroportos, geralmente se localizam fora da zona urbana. “A localização destas estações implica em uma imprecisão por não registrar os efeitos da cidade no microclima e, portanto no desempenho térmico de uma edificação” (LABEEE, 2005, p.1).

No caso de Uberlândia, portanto, as estações da UFU registram além das condições climáticas regionais, as mudanças provocadas pelas trocas de calor entre a cidade e o meio ambiente, por estar inserida na zona urbana da cidade.

Com relação à utilização de dados climáticos para caracterização climática da cidade de Uberlândia, encontraram-se alguns estudos: Berte (1998), Berte (2000) e Yogoro (2006).

Berte (1998) teve como objetivo analisar dados climáticos locais e determinar uma caracterização climática da cidade. Para isso, foram utilizadas as metodologias de Mahoney e Alucci, a primeira para caracterizar a solicitação térmica e a segunda para obter a variação da temperatura horária de um dia de inverno e de verão (ALUCCI (1992), NAÇÕES UNIDAS (1973) apud BERTE, 1998). Partiu-se de dados climáticos disponíveis no 5º Distrito Meteorológico do Ministério da Agricultura, localizado no Parque do Sabiá, utilizando-se uma série histórica de 15 anos, de 1981 a 1995, com registros de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, direção e velocidade do vento, nebulosidade média, número de horas de sol e precipitação. Identificou-se, a partir da determinação dos meses de verão e de inverno e dos limites de conforto, que a cidade de Uberlândia apresenta oito meses

do ano classificados como quentes durante o dia e confortáveis a noite (janeiro a abril e setembro a dezembro), e quatro meses confortáveis durante o dia e frios a noite (maio a agosto). Consideraram-se os extremos para o estudo do comportamento térmico das edificações; portanto, definiu-se o mês de outubro como mês representativo de verão, pois apresenta as temperaturas mais elevadas do ano e o mês de julho como representativo de inverno, apresentando as temperaturas mais baixas do ano.

Berte (2000), em sua dissertação intitulada “Acondicionamento térmico natural: análise de caso na cidade de Uberlândia-MG”, teve como objetivo coletar dados para o estudo do comportamento térmico de dois ambientes, frente às variáveis do clima local. O clima local foi determinado por meio dos dados coletados no 5º Distrito Meteorológico do Ministério da Agricultura, localizado no Parque do Sabiá, os mesmos dados utilizados em Berte (1998), ou seja, de 1981 a 1995. O microclima do Campus foi definido por outras duas estações: a estação do Laboratório de Climatologia (Estação do Parque do Sabiá transferida em 1996 para a UFU – localizada em um gramado em frente ao prédio onde se localiza o Laboratório), com dados registrados de março a dezembro de 1996 e a estação do Laboratório de Geoprocessamento (localizada na cobertura do mesmo prédio), com dados coletados de janeiro a dezembro de 1995.

Com a análise dos dados, Berte (2000) observou que os meses mais frios correspondem a junho e julho, com temperatura média inferior a 18°C e que nos meses mais quentes as temperaturas médias são superiores a 22°C, raramente atingindo 24°C, aproximando-se de acordo com a classificação de Köppen, do clima tropical de altitude ou Cwa.

Yogoro (2006), em sua pesquisa de iniciação científica, objetivou estabelecer diretrizes arquitetônicas apropriadas para a cidade de Uberlândia, visando contribuir para elaboração de um novo código de obras a partir de estudos bioclimáticos. Para isso, foi necessário definir a zona bioclimática da cidade de Uberlândia, uma vez que no mapa de zoneamento bioclimático brasileiro presente na NBR15220 (ABNT, 2005) a localização de Uberlândia não ficava clara, tampouco estava presente na lista das 330 cidades utilizadas para elaboração da norma. O estado de Minas Gerais possui 6 zonas bioclimáticas e a cidade de Uberlândia está em um local fronteiro entre três zonas (ZB3, ZB4 e ZB6).

Sendo assim, para determinar a zona bioclimática do município de Uberlândia, Yogoro (2006) utilizou a metodologia citada na NBR15220-3 (ABNT, 2005). Nesta metodologia, os dados climáticos da cidade são inseridos na carta bioclimática na forma de normais climatológicas, ou seja, médias mensais de temperatura e umidades relativa do ar são projetadas sobre a carta em forma de linhas para cada mês que ocupam diferentes regiões. A presença ou ausência de linhas em determinadas regiões determinam a classificação da cidade quanto ao zoneamento bioclimático (ver figura 7).

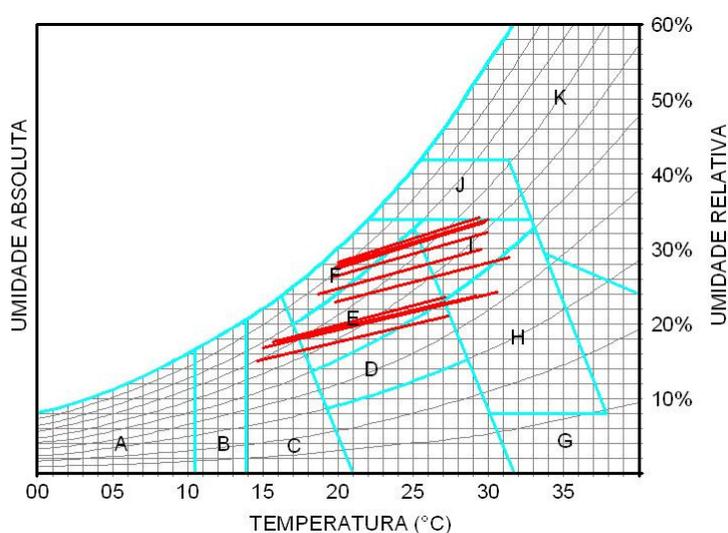


Figura 7 - Dados climáticos de Uberlândia inseridos na carta bioclimática segundo NBR15220 (ABNT, 2005).

Fonte: Yogoro (2006, p.11)

Foram utilizados oito anos de dados coletados pela Estação Climatológica Convencional do Laboratório de Climatologia da UFU, na forma de normais climatológicas. Constatou-se que o município de Uberlândia está localizado na Zona Bioclimática 6, mesma zona bioclimática de Goiânia, Pirenópolis e Catalão (cidades goianas).

Contudo, de acordo com o programa ZBBR 1.1 que faz a classificação bioclimática das sedes de todos os municípios brasileiros, conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a Zona Bioclimática da cidade de Uberlândia é Z4 (figura 8).

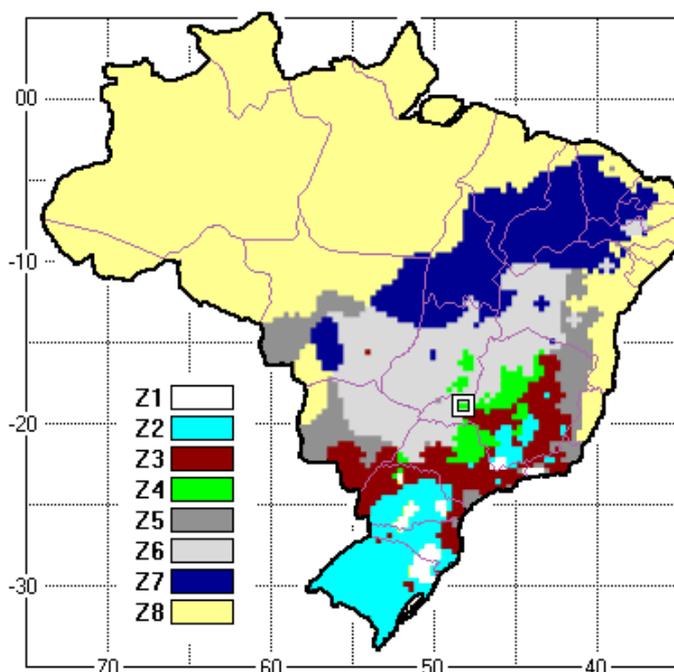


Figura 8 - Mapa do Brasil com as zonas bioclimáticas. Destaque para a cidade de Uberlândia, localizada na Z4.

Fonte: Programa ZBBR 1.1 – NBR15220 (ABNT, 2005)

A partir desta análise percebe-se que é necessário um estudo mais aprofundado dos dados climáticos da cidade de forma a determinar as características climáticas da mesma, sua zona bioclimática e permitir a avaliação detalhada de desempenho térmico e energético de um edifício.

Como no RTQ-C a classificação do nível de eficiência energética pode ser realizada por meio de dois métodos - prescritivo e simulação - será considerada, para fins de aplicação do método prescritivo a zona bioclimática 4, definida no programa ZBBR 1.1. Para aplicação do método simulação será identificado o ano climático de referência para a cidade de Uberlândia, a partir de dados coletados na Estação Convencional da UFU inserida na zona urbana da cidade e próxima ao edifício utilizado como estudo de caso nesta pesquisa. A partir disso, um arquivo climático horário será formatado para simulação termoenergética de edifícios segundo o RTQ-C.

## 1.5. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES E *CAMPI* UNIVERSITÁRIOS

Se, para projetar qualquer edifício, deve haver a preocupação com o conforto ambiental e eficiência energética, no caso da edificação universitária este fator é ainda mais importante, pois são elas que devem servir de exemplo ao colocar em prática o que é ensinado nas salas de aula.

As Instituições de Ensino Superior (IES) têm importante papel na promoção e estímulo às questões ambientais e energéticas. Tauchen; Brandli (2006, p. 504) destacam algumas ações:

- Questão educacional: “prática fundamental para que as IES, pela formação, possam contribuir na qualificação de seus egressos, futuros tomadores de decisão, para que incluam em suas práticas profissionais a preocupação com as questões ambientais”;
- Campi universitários: destaca a postura da IES na implantação de seus campi universitários, que devem servir “como modelos e exemplos práticos de gestão sustentável para a sociedade”.

Fouto (2002, apud TAUCHEN; BRANDLI, 2006, p.504) aponta alguns níveis de intervenção para as IES, dentre eles destacam-se:

- Investigação de soluções, paradigmas e valores que sirvam uma sociedade sustentável;
- Operação dos campi universitários como modelos e exemplos práticos de sustentabilidade à escala local.

Taichen; Brandli (2006) compara as faculdades e universidades a pequenos núcleos urbanos, ao envolver diversas atividades de ensino, pesquisa, extensão, bares, restaurantes, alojamentos, centros de convivência, etc, e necessitar de infraestrutura básica, redes de abastecimento de água e energia, redes de saneamento e coleta de águas pluviais e vias de acesso (ver figura 9). Sendo assim, estas devem e podem servir de exemplo em todos estes aspectos.

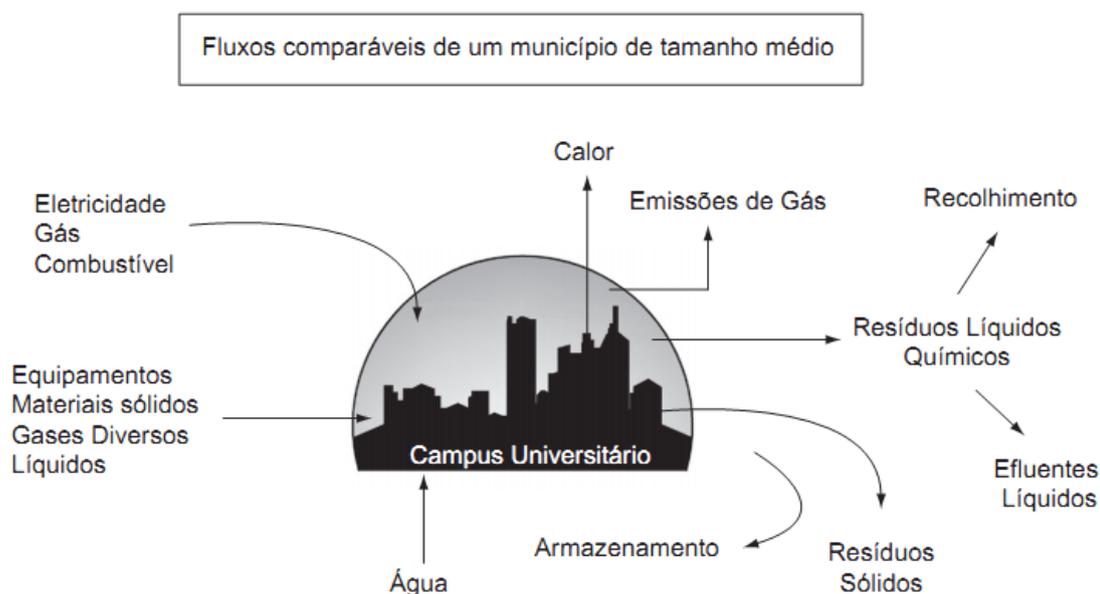


Figura 9 - Principais fluxos de um campus universitário.  
 Fonte: Careto e Vendeirinho (2003, apud Taichen; Brandli, 2006)

Amorim (2011, p. 203) destaca que no caso de um campus universitário, uma maneira interessante de se identificar o grau de sustentabilidade energética pode ser através da Etiquetagem de suas edificações, de forma a se obter indicadores da situação atual e ainda que “a aplicação da metodologia pode ser um instrumento valioso para balizar as propostas de novos projetos”.

Esta metodologia vem sendo aplicada no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, servindo de análise e diagnóstico, objetivando a elaboração de diretrizes e recomendações para a melhoria da eficiência energética nos edifícios existentes, bem como nos projetos para novos edifícios (AMORIM, 2011).

Além de todas estas questões citadas, é comum nas pesquisas sobre conforto ambiental, relacionar-se um ambiente confortável do ponto de vista térmico, acústico e luminoso, a uma melhor produtividade, seja nas tipologias comerciais ou industriais. Aqui também se pode associar diretamente o conforto ambiental com a produtividade no aprendizado, tornando esta preocupação ainda mais pertinente.

Sendo assim, neste trabalho procurou-se selecionar uma edificação em um dos campi universitários de Uberlândia, o Campus Santa Mônica, buscando demonstrar a preocupação desta universidade na produção de edifícios mais adequados às questões climáticas locais, conseqüentemente, à eficiência energética.

## **CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL METODOLÓGICO**

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica do referencial metodológico dos assuntos relacionados a este trabalho.

Primeiramente, aborda-se o RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e os seus métodos para determinação da eficiência energética dos edifícios: método prescritivo e simulação. Neste último, também são abordados os índices de conforto para comprovação do POC – Percentual de horas Ocupadas em Conforto quando se tratam de edifícios ventilados naturalmente.

Após isso, comparações recentes sobre os métodos - prescritivo e simulação - são expostas, visando contextualizar a problemática de resultados divergentes na aplicação dos mesmos.

Na sequência, a metodologia para a identificação de um ano climático de referência, justificada e apresentada. São apresentados os cálculos para encontrar as principais variáveis de radiação solar, que geralmente não constam nas bases de dados climáticos horários, e o modo de formatação destes dados visando a criação de arquivo climático horário de simulação.

Após esta abordagem é definido o programa de simulação a ser utilizado e, por fim, é descrita a metodologia para identificação de uma edificação representativa para análises de eficiência energética de edificações.

### **2.1. MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C - REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS**

O método prescritivo do RTQ-C (INMETRO, 2010) consiste em uma série de parâmetros que indicam a eficiência do sistema, especifica a classificação do nível de eficiência energética de edificações, dividida em três sistemas individuais: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. A avaliação de cada sistema individual utiliza equivalentes numéricos, um número de pontos correspondente a determinada eficiência, que varia de A (mais eficiente) à E (menos eficiente) (Tabela 1).

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

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: INMETRO, 2010, p. 15.

“No caso de edifícios que possuem áreas não condicionadas, para áreas de permanência prolongada, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas” (INMETRO, 2010, p.15).

A classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da equação 1:

$$PT = 0.30 \cdot \left\{ \left( EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0.30 \cdot (EqNumDPI) + qNumDPI + 0.40 \left\{ \left( EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

EqNumV: equivalente numérico dos ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT: área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não-condicionados;

ANC: área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação;

AC: área útil dos ambientes condicionados;

AU: área útil;

B: pontuação obtida em bonificações, que varia de zero a 1.

Sendo que o EqNumV só é obtido por meio da simulação.

A ventilação natural é um parâmetro de correção do nível de eficiência energética para edifícios que oferecem condições adequadas de conforto

sem precisar de condicionamento artificial. Ela está presente nas parcelas de condicionamento de ar e da envoltória sob a forma de um equivalente numérico (EqNumV). A complexidade da ventilação não permitiu o desenvolvimento de regras gerais para caracterizar os níveis de conforto e exigiu, assim, que a simulação se tornasse parte de uma equação do método prescritivo para esse caso específico. (CARLO;LAMBERTS, 2010, p.12)

O número de pontos obtidos na equação acima irá definir a classificação geral da edificação, de acordo com a tabela seguinte (tabela 2).

Tabela 2 - Classificação geral do nível de eficiência energética

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

Fonte: INMETRO, 2010, p. 17.

As classificações final e parciais são apresentadas na ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (figura 10).

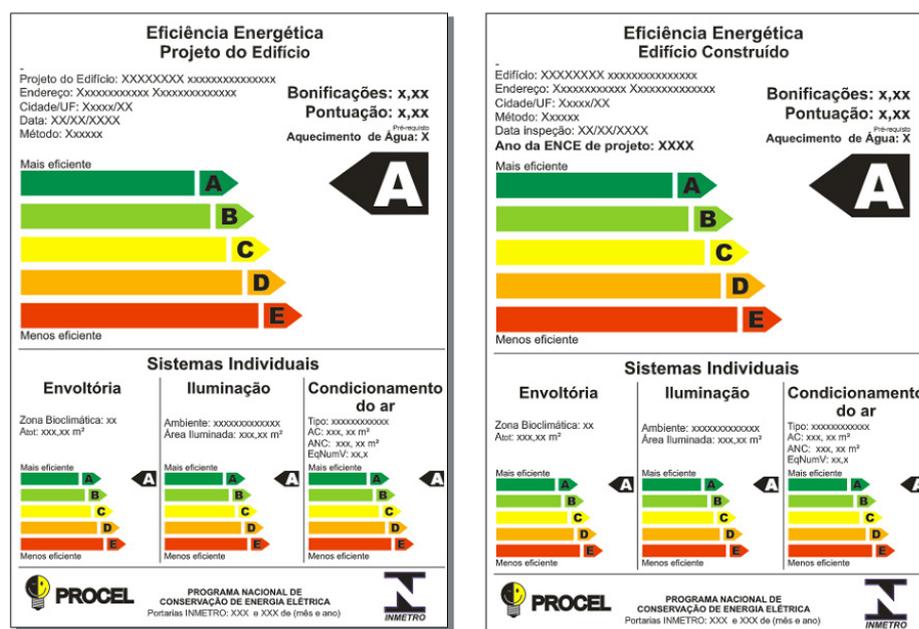


Figura 10 - Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para projeto do edifício, à esquerda, e para edifício construído à direita.

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (LABEEE et al, 2010).

Para envoltória, objeto específico de estudo desta pesquisa, o RTQ-C (INMETRO, 2010) define alguns pré-requisitos relacionados aos fechamentos opacos e às aberturas zenitais compilados nas tabelas a seguir.

Quanto à transmitância térmica da cobertura (Ucob) (tabela 3):

Tabela 3 – Pré-requisitos para transmitância da cobertura (Ucob)

Ucob máxima para ambientes condicionados artificialmente (W/m <sup>2</sup> K)		
NÍVEL	ZB1 e ZB2	ZB3 a ZB8
A	0,50	1,00
B	1,00	1,50
C e D	2,00	2,00
Ucob máxima para ambientes não condicionados (W/m <sup>2</sup> K)		
A	1,00	2,00
B	1,50	2,00
C e D	2,00	2,00

Fonte: INMETRO, 2010.

Quanto à transmitância térmica das paredes (Upar) (tabela 4):

Tabela 4 – Pré-requisitos para transmitância das paredes externas (Upar)

Upar máxima (W/m <sup>2</sup> K)			
NÍVEL	ZB1 e ZB2	ZB3 a ZB6	ZB7 e ZB8
A	1,00	3,70	2,5 (paredes com C <sub>máx</sub> =80Kj/m <sup>2</sup> K) 3,7 (paredes com C superior a 80Kj/m <sup>2</sup> K)
B	2,00	3,70	2,5 (paredes com C <sub>máx</sub> =80Kj/m <sup>2</sup> K) 3,7 (paredes com C superior a 80Kj/m <sup>2</sup> K)
C e D	3,70	3,70	2,5 (paredes com C <sub>máx</sub> =80Kj/m <sup>2</sup> K) 3,7 (paredes com C superior a 80Kj/m <sup>2</sup> K)

Fonte: INMETRO, 2010.

Quanto às cores e absorvância de superfícies (tabela 5):

Tabela 5 – Pré-requisitos para cores e absorvância dos materiais de revestimento externo das paredes e das coberturas

Cores e absorvância ( $\alpha$ ) de superfícies		
NÍVEL	ZB2 a ZB8 (paredes)	ZB2 a ZB8 (coberturas)
A	$\alpha < 0,5$	$\alpha < 0,5$ , telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água
B	_____	$\alpha < 0,5$ , telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água
C e D	_____	_____

Fonte: INMETRO, 2010.

Quanto ao percentual de abertura zenital, há pré-requisito apenas para os níveis A e B e são iguais (tabela 6):

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

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

Fonte: INMETRO, 2010.

Para determinação da etiqueta da envoltória faz-se os cálculos e análises das variáveis:

- Análise da transmitância térmica das paredes e coberturas;
- Análise da absorvância de superfícies;
- Cálculo do fator de altura (FA) e do fator de forma (FF);
- Cálculo do Percentual de abertura na fachada total (PAFt);
- Cálculo do Percentual de abertura na fachada oeste (PAFo) – caso seja maior que o  $PAFt + 0,20 \cdot PAFt$ , deve-se adotar PAFo na equação 2 ou 3 em todos os campos onde se lê PAFt;
- Cálculo das áreas de abertura;
- Verificação e ponderação dos Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) – ângulo máximo para inserção na equação de  $45^\circ$ , sendo que para ZB6 e ZB8 o ângulo máximo é de  $25^\circ$ ;
- Verificação e ponderação dos Ângulos Horizontais de Sombreamento (AHS) – ângulo máximo para inserção na equação de  $45^\circ$ .

Após o cálculo das variáveis procede-se à determinação da eficiência, de acordo com INMETRO (2010):

- Há duas equações por Zona Bioclimática: uma para edifícios com área de projeção ( $A_{pe}$ ) menor que  $500m^2$  e outra para edifícios com área de projeção maior que  $500m^2$ . O zoneamento bioclimático brasileiro é estabelecido na NBR15220 - Parte 3. No desenvolvimento das equações do indicador de consumo, algumas zonas bioclimáticas foram agrupadas, sendo representadas pela mesma equação. São elas ZB2 e ZB3; ZB4 e ZB5; ZB6 e ZB8;
- As equações para  $A_{pe} > 500m^2$  são válidas para um Fator de Forma mínimo permitido ( $A_{env}/V_{tot}$ ). As equações para  $A_{pe} < 500m^2$  são válidas para um Fator de Forma máximo permitido ( $A_{env}/V_{tot}$ ). Acima ou abaixo desses, deve-se utilizar os valores limites;
- O Indicador de Consumo da envoltória do edifício proposto ( $IC_{env}$ ) deve ser calculado a partir da equação definida no RTQ-C para cada zona bioclimática.

No caso da cidade de Uberlândia-MG, inserida na Zona Bioclimática 4, as equações para  $IC_{env}$  serão (Equação 2 e 3):

Para  $Ape \leq 500m^2$

Limite: Fator de forma máximo  $(Aenv/Vtot) = 0,75$

$$ICenv = 105,39 \cdot FA - 207,12 \cdot FF + 4,61 \cdot PAft + 8,08 \cdot FS - 0,31 \cdot AVS - 0,07 \cdot AHS - 82,34 \cdot FA \cdot FF + 3,45 \cdot PAft \cdot FS - 0,005 \cdot PAft \cdot FS \cdot AVS \cdot AHS + 171,27 \quad \text{Equação 2}$$

Para  $Ape > 500m^2$

Limite: Fator de forma máximo  $(Aenv/Vtot) = \text{livre}$

$$ICenv = 511,12 \cdot FA + 0,92 \cdot FF - 95,71 \cdot PAft - 99,79 \cdot FS - 0,52 \cdot AVS - 0,29 \cdot AHS - 380,83 \cdot FA \cdot FF + \frac{4,27}{FF} + 729,20 \cdot PAft \cdot FS + 77,15 \quad \text{Equação 3}$$

Para classificação do edifício, de acordo com o INMETRO (2010):

- Calcula-se o indicador de consumo por meio da equação ICenv com os dados de projeto de edifício;
- Calcula-se o limite máximo do indicador de consumo (ICmáxD) para volumetria dada, por meio da mesma equação, mas com parâmetros de entrada fornecidos pela tabela 7. O ICmáxD representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste valor a edificação passa a ser classificada como nível E;

Tabela 7 – Parâmetros do ICmáxD

PAFT	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Fonte: INMETRO, 2010.

- Calcula-se o limite mínimos (ICmín) por meio da equação do índice de consumo, com os parâmetros de entrada da tabela 8. O ICmín representa o indicador mínimo de consumo para aquela volumetria;

Tabela 8 – Parâmetros do ICmín

PAFT	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: INMETRO, 2010.

- Os limites ICmáxD e ICmín representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i),

cada parte se refere a um nível de classificação numa escala e desempenho que varia de A a E. A subdivisão  $i$  do intervalo é calculada na equação 4:

$$i = \frac{IC_{máxD} - IC_{mín}}{4} \quad \text{Equação 4}$$

- Com o valor de  $i$  calculado, preenche-se a tabela 9:

Tabela 9 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	————	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	————

Fonte: INMETRO, 2010.

- Após este procedimento, basta comparar o  $IC_{env}$  obtido para o projeto em questão com os limites da tabela 9 e identificar o nível de eficiência do projeto em questão.

Segundo Carlo; Lamberts (2010) o método prescritivo foi estabelecido como um conjunto de regras gerais para identificar a eficiência do edifício e aplica-se à grande maioria de tipologias construídas atualmente no país, mas não abrange todas as soluções possíveis de projeto, e muitos casos só poderão ser avaliados pela simulação que, por sua vez, pode avaliar soluções que promovam a eficiência energética que não incluídas no método prescritivo.

O limite do nível máximo D do RTQ-C foi baseado na prática construtiva brasileira, o que significa que os parâmetros do método prescritivo deverão ser atualizados constantemente para que os níveis estejam em concordância com as inovações tecnológicas de seu tempo. A partir no nível máximo D, e de um edifício considerado eficiente, os demais limites foram determinados proporcionalmente ao intervalo obtido (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Carlo; Lamberts (2010) relatam ainda que há simplificações e generalizações na primeira versão do regulamento, e há necessidade que seja assim para que o mercado, os profissionais e os usuários se adaptem e familiarizem com os parâmetros gradativamente. As alterações no método de aplicação e nas restrições serão gradativas e reservadas para as próximas versões, o que não significa que o RTQ-C é brando, mas que não abrange todos os temas que participam da eficiência energética de um edifício (CARLO; LAMBERTS, 2010).

## **2.2. MÉTODO SIMULAÇÃO DO RTQ-C - REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS**

O método prescritivo apresenta limitações e, principalmente nos casos de um projeto mais elaborado, a simulação é o método mais indicado, devido principalmente à possibilidade de avaliação global e dos recursos da modelagem.

Segundo, Carlo; Lamberts (2010) o método da simulação é indicado quando o método prescritivo não descreve apropriadamente as características do edifício que participam da eficiência energética, como por exemplo: uso da ventilação natural, proteções solares para algum caso específico, grandes áreas envidraçadas com vidros de elevado desempenho térmico e luminoso, sistemas de condicionamento não previstos, como pisos radiantes, e especificidades, como opções de automação de condicionamento de ar e resfriamento evaporativo.

Mesmo assim, é importante salientar que as equações do método prescritivo originaram-se em simulações.

Segundo Carlo; Lamberts (2010, p.28):

O uso da simulação em normas, regulamentos e programas de eficiência energética para edifícios é adotado em diversos países. Neste caso, o modelo é uma descrição numérica de uma edificação, porém reduzida às características intervenientes em seu desempenho térmico e energético. Essas características reúnem uma série de outros modelos numéricos envolvidos no processo, desde fenômenos físicos até a geometria do edifício e seu uso.

O RTQ-C (INMETRO, 2010) estabelece pré-requisitos para o programa computacional de simulação termoenergética e para o arquivo climático de simulação.

O programa computacional de simulação termoenergética deve possuir, no mínimo, as seguintes características (INMETRO, 2010, p.72):

- Ser um programa para análise de consumo de energia em edifícios;
- Ser validado pela ASHRAE Standard 140;
- Modelar 8760 horas por ano;
- Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos e sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;

- Modelar efeitos de inércia térmica;
- Permitir modelagem de multizonas térmicas;
- Para o item “Pontuação total de edifícios totalmente simulados”, deve-se ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- Caso o edifício possua sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da ASHRAE 90.1;
- Determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de ar;
- Produzir relatórios horários do uso final de energia;

E o arquivo climático deve possuir as seguintes características (INMETRO, 2010, p.72):

- Fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar.
- Os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto proposto será locado e, caso o local do projeto não possuir arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes;
- Devem ser utilizados arquivos climáticos e formatos publicados no [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov) (TRY, TMY, SWEC, CTZ2...). Caso contrário, o arquivo climático deve ser aprovado pelo laboratório de referência.

O método de simulação compara o desempenho do edifício proposto (real) com um edifício similar (de referência), cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido. “Portanto, dois modelos devem ser construídos: o modelo representativo do edifício real (de acordo com o projeto proposto) e o modelo de referência (de acordo com o nível de eficiência pretendido)” (INMETRO, 2010, p.73).

“Os dois modelos devem possuir as mesmas características (fator de forma e fator de altura) que são os parâmetros de maior impacto, viabilizando assim a comparação energética entre dois ou mais modelos, a fim de verificar qual é o mais eficiente” (CARLO; LAMBERTS, 2010, p.28), bem como utilizar o mesmo programa de simulação e arquivo climático.

Para o modelo real deverão ser utilizadas, de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2010) todas as características da edificação de acordo com o projeto proposto (transmitância de parede e coberturas; tipo de vidro, PAFt, absorptância de paredes e coberturas, AVS, AHS e, ainda, considerar os dispositivos de sombreamento quando os mesmos estiverem acoplados no edifício proposto). No caso de simulação somente da envoltória, o sistema de condicionamento de ar e de iluminação deverão ser determinados conforme modelo de referência.

Para definição do modelo de referência são utilizados os valores de FF e FA do edifício em questão (modelo real), e é adotado o valor de ICenv do limite máximo do intervalo do nível de classificação almejado, na fórmula referente à zona bioclimática da localização do edifício. Será utilizado ainda o fator solar máximo para vidros incolores (0,87), valores máximos de transmitância térmica e absorptância solar e ângulos de sombreamento (AHS e AVS) iguais a zero. Com isso, descobre-se o PAFt máximo para o modelo de referência, sendo que as aberturas deverão ser distribuídas na modelagem proporcionalmente à distribuição do modelo real.

Com relação à iluminação zenital, se existir e possuir PAZ maior que 5% no modelo real, os modelos de referência para os níveis A e B devem possuir PAZ de 2% com vidro claro e fator solar de 0,87 (INMETRO, 2010).

O modelo de referência deve possuir ainda diversas características, que devem ser idênticas às do modelo do edifício real, como forma do edifício, número de zonas térmicas, padrões de uso, ocupação e cargas internas de equipamentos. O consumo anual de eletricidade simulado dos dois modelos é comparado, devendo o consumo do modelo do edifício real ser menor que o do modelo de referência para o nível de eficiência pretendido. Dessa forma, obtém-se o nível de eficiência do edifício.

Quando se trata de edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas não condicionadas de permanência prolongada, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno destas áreas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas. A seguir, serão descritas as hipóteses de conforto indicadas pelo RTQ-C.

## 2.2.1. CONFORTO TÉRMICO – HIPÓTESES DE CONFORTO

Para especificar a hipótese de conforto adotada, o RTQ-C orienta utilizar a ASHRAE 55/2004 ou ISO 7730/2005.

A norma 7730 se aplica a edificações que utilizam o condicionamento ativo, com condições de conforto estáticas, em que o índice PMV/PPD (*Predicted Mean Vote/ Predicted Percentage Dissatisfied*), proposto por Fanger, é utilizado para estimar a sensação de conforto térmico. Para De Dear; Brager (2002, apud, NEGREIROS, 2010, p. 20) “o índice PMV é apropriado para ambiente com condicionamento artificial de ar, porém os ocupantes de edificações naturalmente ventiladas se adaptam a uma maior gama de condições que geralmente refletem os padrões da temperatura”.

A ASHRAE 55 (2004) também tem seu índice de conforto baseado no índice PMV-PPD, definindo a zona de conforto como uma combinação de temperatura do ar e temperatura radiante. No entanto, ressalta que em casos de velocidade do ar acima de 0,20m/s o limite da temperatura operativa<sup>7</sup> para zona de conforto poderá ser acrescido, se os usuários são capazes de controlar a velocidade do ar.

A ASHRAE 55 também estabelece um limite de acréscimo desta temperatura em função da velocidade do ar, limitando-a em 3°C, bem como um limite para a velocidade do ar que não poderá ultrapassar 0,8m/s.

Negreiros (2010) identificou limitações dos recursos gráficos dos métodos citados e propôs uma nova saída gráfica visando uma melhor interpretação dos dados.

Negreiros (2010, p. 25) utiliza o princípio dos modelos adaptativos que “são baseados em experiências realizadas em campo e expressam a tendência natural de adaptação humana às mudanças climáticas no ambiente”. São modelos que associam em suas equações a temperatura de conforto com a temperatura externa mensal.

A última revisão da norma ASHRAE 55 incorporou o princípio de adaptabilidade proposto por De Dear; Brager (2002, apud, NEGREIROS, 2010, p. 26).

---

<sup>7</sup> De acordo com a NBR15220 – 1 (ABNT, 2005) a temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente negro imaginário no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme

Estes propuseram uma faixa de conforto térmico que relaciona a temperatura média do ar externo com um intervalo de temperatura operativa interna. Esta faixa de conforto é recomendada para uso sob as seguintes circunstâncias: espaços condicionados naturalmente onde as condições térmicas são controladas principalmente pelos usuários através da abertura e fechamento de janelas; espaços que podem ter aquecimento artificial mas o método não se aplica quando em funcionamento; espaços onde não haja sistemas mecânicos de resfriamento; espaços onde haja sistemas de ventilação mecânica, porém sem condicionamento de ar; os ocupantes devem estar em atividade sedentária (1-1,4 met) e aptos à livre adaptação de vestimenta e condições térmicas entre o interior e exterior (NEGREIROS, 2010, p. 27).

O gráfico da figura 11 apresenta a relação da velocidade do ar e do aumento da temperatura de conforto.

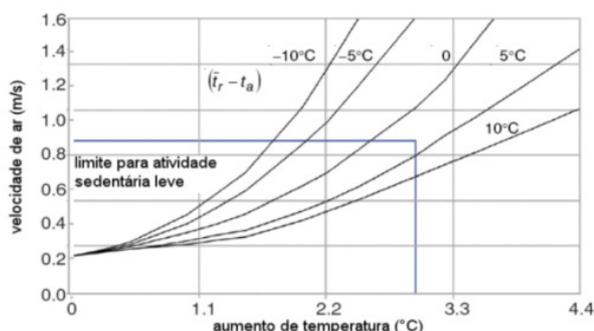


Figura 11 - Velocidade do ar para aumento do limite da temperatura de conforto.  
Fonte: Adaptado por Negreiros (apud ASHRAE 55-2004)

Neste modelo, para clima tropical e subtropical, utiliza-se a equação 5 para determinar o limite de conforto, sendo que o seu limite de acréscimo de temperatura, considerando 90% das pessoas satisfeitas, é de  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  na temperatura de conforto e, de  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$  para 80% de pessoas satisfeitas.

$$T_c = 0,31T_e + 17,8 \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:

$T_c$  – temperatura de conforto, em  $^{\circ}\text{C}$

$T_e$  – temperatura média mensal externa, em  $^{\circ}\text{C}$

Para análise dos limites de conforto, segundo metodologia organizada por Negreiros (2010) devem-se seguir as seguintes etapas:

- Cálculo da temperatura neutra ou temperatura de conforto por meio da equação 5. A temperatura média mensal externa é calculada para cada dia do

ano como uma média da temperatura dos 30 dias anteriores a ele, sendo esta considerada a temperatura mais representativa para aclimação do usuário do ambiente;

- Definição dos limites das zonas térmicas: de acordo com De Dear; Brager (2002, apud NEGREIROS, 2010) foi definida a variação de conforto de  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  para a zona de conforto, sendo que abaixo desta variação haverá desconforto por frio, e acima desse valor, indica-se conforto por uso de ventilação ou desconforto ao calor;
- Estabelecimento do limite da zona de conforto com uso da ventilação e desconforto ao calor. Por meio do gráfico (figura 11) e do programa DataFit, Negreiros (2010) chegou à equação de correlação entre velocidade do ar e diferença de temperatura radiante e do ar a seguir (equação 6):

$$dT = a + b*x_1 + c*x_2 + d*x_1^2 + e*x_2^2 + f*x_1*x_2 + g*x_1^3 + h*x_2^3 + i*x_1*x_2^2 + j*x_1^2*x_2 \quad \text{Equação 6}$$

Sendo que:

$dT$  é o aumento de temperatura por uso da velocidade do ar, em  $^{\circ}\text{C}$

$x_1$  representa a diferença entre a temperatura radiante e do ar, em  $^{\circ}\text{C}$

$x_2$  representa a velocidade do ar, em m/s

e as constantes são:

$a = -8,95\text{E-}03$  /  $b = 9,03\text{E-}03$  /  $c = 1,67$  /  $d = -2,18\text{E-}04$  /  $e = 4,86$  /  $f = 0,14$  /  $g = -1,33\text{E-}04$  /  $h = -3,58$  /  $i = -1,61\text{E-}02$  /  $j = 2,48\text{E-}03$

- Neste caso a velocidade do ar será o máximo permitido pela ASHRAE - 0,8m/s - o que se consegue, por exemplo, com acionamento de ventiladores;
- O valor encontrado em  $dT$  deve ser somado ao limite de conforto e assim estabelecido o limite da zona de conforto com o uso da ventilação;
- Calcula-se a temperatura operativa de acordo com a ISO 7730 (equação 7).

$$t_o = A t_a + (1 - A) t_r \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

$t_o$  – temperatura operativa, em  $^{\circ}\text{C}$

$t_a$  – temperatura do ar, em  $^{\circ}\text{C}$

$t_r$  – temperatura radiante, em  $^{\circ}\text{C}$

$A$  – fator que depende da velocidade do vento

Tabela 10 – Valores do fator A em função da velocidade do ar

Velocidade de ar (m/s)	A
$v < 0,2$	0,5
$0,2 < v < 0,6$	0,6
$0,6 < v < 0,7$	0,7

Fonte: ISO 7730 (apud NEGREIROS, 2010)

- Compara-se a temperatura operativa encontrada com os limites preestabelecidos.

Nesta pesquisa, será utilizada, para análise de Percentual de horas Ocupadas em Conforto (POC), a metodologia organizada por Negreiros (2010), que tem como base a ASHRAE 55-2004, por entender que esta é mais adequada para ambientes naturalmente ventilados.

### 2.3. COMPARAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS PRESCRITIVO E SIMULAÇÃO

Artigos recentes apresentados no Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto do Ambiente Construído fazem uma avaliação comparativa entre os métodos prescritivo e simulação para análise da envoltória.

Em Castro; Westphal (2011) o objetivo é comparar o Índice de Consumo obtido no método prescritivo, com os resultados de simulação, a fim de analisar a influência da área de abertura e da orientação das fachadas no desempenho da envoltória, considerando o PAF, a orientação do edifício e os ângulos de sombreamento. Foram desenvolvidos dois modelos-base iniciais, para a cidade de Florianópolis-SC, com 5 zonas condicionadas. A partir destes, mais 14 modelos foram desenvolvidos.

A classificação dos 16 casos foi nível E de eficiência pelo método prescritivo. Isso se deve ao fato da transmitância térmica da cobertura do edifício não atender ao pré-requisito. Porém, o método de simulação leva em consideração a baixa transmitância das paredes e o vidro de alto desempenho no cálculo do seu balanço térmico. Como a área das fachadas do edifício é praticamente 80% maior que a área da cobertura, as paredes externas e os vidros exercem maior influência do que a

cobertura, possibilitando até a classificação máxima em nível A para alguns modelos (CASTRO; WESTPHAL, 2011, p. 6).

Esta constatação confirma Carlo; Lamberts (2010, p.24) que citam entre as mais relevantes simplificações do método prescritivo “a pequena precisão de vidros de elevado desempenho em grandes aberturas envidraçadas”.

Ainda no mesmo artigo, Castro; Westphal (2011) faz a comparação de dois casos idênticos de edifícios (mesma geometria e características construtivas) diferenciando apenas a orientação e demonstrou que “diferentemente do prescritivo, que considera os dois edifícios com o mesmo IC, a simulação mostra o desempenho diferente entre eles” (CASTRO; WESTPHAL, 2011, p.6), inclusive com classificações diferentes.

Outra constatação foi que a tendência de variação do IC é superestimada em relação à variação do consumo de energia em função do percentual de abertura da fachada oeste (CASTRO; WESTPHAL, 2011).

Já Cóstola et al (2011) avalia a precisão do modelo prescritivo para avaliação da envoltória do RTQ-C. Os autores explicam que “este modelo foi desenvolvido através da utilização do método estatístico de regressão linear múltipla, baseando-se em resultados de consumo final de diferentes edificações comerciais gerados através do uso de simulação computacional” (CÓSTOLA et al, 2011, p.3).

Também esclarecem (CÓSTOLA et al, 2011, p.3) que nas definições do método prescritivo, “as orientações apresentaram pouco impacto no envoltório” e ainda que “os valores de transmitância térmica das paredes e coberturas foram excluídos do modelo simplificado por não apresentarem uma relação linear com o consumo de energia”. Outra limitação se refere à volumetria das edificações em que não foi possível considerar, na mesma equação, todas as variações de volumetria analisadas. “Como consequência, estabeleceu-se duas equações baseadas na área de projeção das edificações: menores ou iguais a 500m<sup>2</sup> e maiores que 500m<sup>2</sup>” (CÓSTOLA et al, 2011, p.4).

Cóstola et al (2011, p.4) também afirmam que, “caso o modelo simplificado indique adequadamente o nível de eficiência do edifício, o nível calculado usando cada um dos métodos deve, na maior parte dos casos, ser o mesmo”.

No entanto, no artigo de Cóstola et al (2011), não se obteve o mesmo nível de eficiência para nenhuma tipologia analisada, ressaltando o fato de que foram analisadas tipologias estudadas no desenvolvimento do método prescritivo. A

utilização do método prescritivo conduziu a um menor nível de eficiência energética quando comparado ao resultado obtido no método simulação e, em duas tipologias, obteve-se até dois níveis de diferença.

Diante destas questões discutidas desde o lançamento do RTQ-C, buscar-se-á também nesta pesquisa, comparar e relacionar os resultados dos dois métodos empregados no estudo de caso em questão.

## **2.4. IDENTIFICAÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA**

Existe hoje uma ampla discussão no cenário nacional e mundial das questões climáticas e energéticas, e do impacto disto nos projetos de arquitetura. Ainda assim, não é comum o uso de dados climáticos pelos arquitetos nos projetos e, na maioria dos casos, não há dados disponíveis. Segundo Roriz et al (1999 apud ASSIS, 2009, p. 801), menos de 4% dos mais de 5500 municípios brasileiros possuem dados climáticos publicados. Neste contexto, vê-se a importância de se coletar e tratar dados climáticos para fins de planejamento urbano e projeto de edificações.

Os dados meteorológicos, quando disponíveis, não são direcionados para a solução dos problemas de projeto de edificações, fazendo com que os profissionais da área os ignorem. Além disso, nos países em desenvolvimento, a climatologia tem se desenvolvido mais em função da aviação e da agricultura. Isto explica a localização das estações meteorológicas e a natureza dos parâmetros medidos (GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998, p. 1).

Para Rossi; Dumke; Krüger (2009, p. 199) “a consideração de dados climáticos realistas e atualizados tem um efeito direto no dimensionamento de sistemas de climatização de edificações e na definição de estratégias de projeto bioclimático”.

Neste trabalho, a metodologia utilizada para tratamento de dados climáticos será a do ano climático de referência. Existem dois tipos de ano climático desenvolvido para cálculos de energia utilizados nos Estados Unidos: o Test Reference Year (TRY), que foi preparado pelo National Climatic Center e o Typical Meteorological Year (TMY) que foi preparado pelo Sandia Laboratories na cidade de Albuquerque (GOULART et al, 1998, p.7).

O TRY é um arquivo de dados de um ano completo (um ano real) em que são ignorados os dados extremos de temperatura, o TMY é uma compilação de meses também sem extremos de temperatura, mas neste caso provenientes de diferentes anos, gerando um ano climático que nunca existiu, mas que apresenta temperaturas sem extremos para cada mês (NREL, 1995 apud LABEEE, 2005).

Em Uberlândia, a grande quantidade de dados nulos em alguns anos da base de dados horários fornecida pelo INMET (ver tabela 13 na página 80), impossibilitou o uso da metodologia do TMY – Test Meteorological Year, uma vez que esta utiliza dados de vários anos. Também não havia a possibilidade de extração de dados a partir da digitalização de gráficos, como fez PEREIRA (2004) uma vez que a estação automática de Uberlândia é uma estação auxiliar e não possui estes gráficos.

Stamper (1977, apud GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998) descreve o procedimento utilizado para determinar o chamado Test Reference Year (TRY) para um local específico, baseado na eliminação de anos de dados, os quais contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano, somente.

Segundo Carvalho et al (2002, apud ROSSI; DUMKE; KRÜGER, 2009), o TRY “consiste de um ano típico representativo de um determinado lugar geográfico considerando-se um período mínimo de 10 anos consecutivos de séries de dados climáticos” e segundo Goulart (2010) “é importante dar preferência para uma série de anos mais atuais”.

Os meses são classificados em ordem de importância para cálculo de energia, analisando-se os valores médios mensais de temperatura do ar, anotando-se o mês mais quente e o mês mais frio, o segundo mês mais quente e o segundo mês mais frio e assim por diante, conforme aparecem as maiores e as menores temperaturas médias mensais, respectivamente.

Após fecharem os doze meses, repete-se a sequência dos meses, porém invertendo-se o sentido de análise, ou seja, onde é quente passa a ser frio e vice-versa.

Os anos que apresentarem temperaturas médias mensais extremas (mais altas ou mais baixas) deverão ser eliminados de acordo com o procedimento. As temperaturas médias mensais, para cada ano do período de registros disponível, são calculadas e examinadas de acordo com a sequência listada. O ano com o mês mais quente é anotado.

Depois, o ano que contém o mês mais frio. O processo continua, anotando-se os anos nos quais ocorrem os extremos. Estes anos são, então, eliminados e o procedimento é repetido até restar somente um. Este ano, que pode ser um ano que não apareceu ou o último a aparecer nas exclusões, é designado como Ano Climático de Referência – *Test Reference Year* - TRY.

O TRY determinado por este processo consiste em dados climáticos horários apresentados em um formato padronizado, conforme necessário para simulação de desempenho térmico de edificações e contém informações climáticas para 8760 horas do ano (GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1997)

Foi então utilizada a metodologia do TRY – *Test Reference Year* para identificar o ano climático de Uberlândia e, a partir disso, formatar o arquivo climático horário para simulação e criar a carta bioclimática da cidade de Uberlândia.

#### **2.4.1. ARQUIVO CLIMÁTICO HORÁRIO DE SIMULAÇÃO - CÁLCULOS**

O desempenho térmico e energético de uma edificação está diretamente relacionado às condições climáticas externas, como temperatura do ar, umidade e radiação, além de outras variáveis. A representação do fenômeno em modelos matemáticos exige o registro destes dados do clima, razão pela qual os programas computacionais que simulam o desempenho térmico de edificações necessitam dos dados climáticos (LABEEE, 2005). Estes dados devem ser horários, configurando um ano inteiro (8760 horas).

Dados horários registrando condições climáticas para a criação de arquivos climáticos com o objetivo de simular o desempenho térmico de edificações costumam ser escassos e de baixa qualidade (LABEEE, 2005). Há poucas estações automáticas no território brasileiro que fornecem dados horários de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido ou umidade relativa, direção do vento, velocidade do vento, nebulosidade e pressão e há menos ainda estações que medem a radiação solar, dado necessário para completar a série de dados mínimos utilizados para compilar um arquivo climático (LABEEE, 2005). Quando existem, geralmente se localizam fora da zona urbana, em aeroportos ou nas zonas rurais.

Partindo-se do ano identificado como TRY, caso existam dados nulos em sua base de dados horários, estes devem, primeiramente, ser interpolados, para somente depois serem utilizados nos cálculos de formatação do arquivo climático horário de simulação. Caso existam no máximo seis horas nulas consecutivas pode-se interpolar os dados utilizando médias simples. Intervalos de mais de seis horas com dados ausentes exigem uma análise mais detalhada, trabalhados estatisticamente com curvas de tendência (LABEE, 2005).

Também antes de se iniciarem os cálculos deve-se fazer a adequação das horas da fonte de dados ao fuso horário da localidade, uma vez que os dados fornecidos pelo INMET estão no padrão GMT (Greenwich Mean Time ou Tempo Médio de Greenwich).

A seguir serão descritos os conceitos e os procedimentos de cálculos das principais variáveis de radiação solar, constante em um arquivo climático horário de simulação.

#### 2.4.1.1. CÁLCULO DA RADIAÇÃO GLOBAL EXTRATERRESTRE HORIZONTAL

A radiação global extraterrestre horizontal é entendida como a radiação que chega a uma superfície horizontal situada no topo da atmosfera (ALVES, 2008).

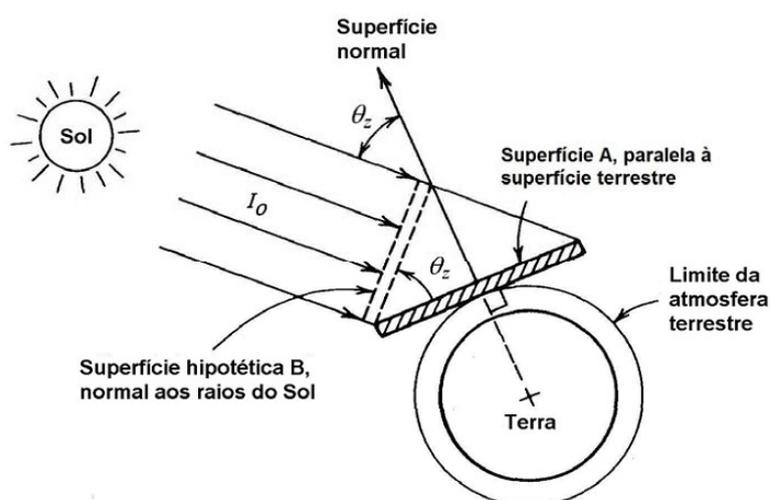


Figura 12 - Efeito cosseno sobre o conceito de radiação extraterrestre  
Fonte: Stine e Geyer (2001 *apud* ALVES, 2008, p. 16).

A figura 12 demonstra de acordo com Alves (2008, p.17) que se a superfície não estiver normal ao Sol, a insolação que “cai” sobre a mesma será reduzida pelo cosseno do ângulo entre a superfície normal e um raio central que parte do Sol. A potência solar instantânea que atinge as superfícies será a mesma, mas a quantidade de energia solar por unidade de área que atinge a superfície A é menor que na superfície B.

A figura 13 representa vários ângulos da posição do sol em relação à superfície, utilizados nas equações a seguir.

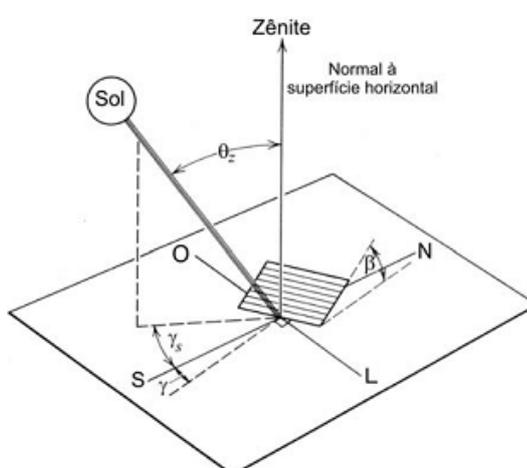


Figura 13 - Ângulo da posição relativa sol-superfície  
Fonte: Duffie; Beckman (2006, p. 13)

Sendo que:

$\Phi$  é a latitude em graus. Hemisfério Norte positivo e Hemisfério Sul negativo.

$\delta$  é a declinação solar.

$\beta$  é o ângulo de inclinação solar da superfície em questão e a horizontal.

$\gamma$  é o ângulo azimute da superfície, que é a variação da projeção da normal no plano horizontal e o meridiano local.

$\omega$  é o ângulo horário do sol, que é o deslocamento angular do sol a leste ou oeste do meridiano local, que se deve à rotação da terra no seu eixo a  $15^\circ$  por hora (manhã, negativo; tarde, positivo).

$\theta$  é o ângulo de incidência, que é o ângulo entre a radiação direta na superfície e a normal a ela.

$\theta_z$  é o ângulo zenital, ângulo entre a vertical e a linha do sol, que é, o ângulo de incidência da radiação direta na superfície horizontal.

A radiação solar extraterrestre horizontal horária ( $I_o$ ) é calculada a partir da equação 8, descrita em Duffie; Beckman(2006):

$$I_o = \frac{12 \times 3600 G_{sc}}{\pi} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \quad \text{Equação 8}$$

$$1 \times [\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \pi(\omega_2 - \omega_1)/180 \times \sin \phi \sin \delta]$$

Sendo:

$I_o$  – radiação extraterrestre horizontal horária

$G_{sc}$  – constante solar =  $1367 \text{ W/m}^2$  (DUFFIE; BECKMAN, 2006)

$n$  – dia do ano (por exemplo, 2 de fevereiro é o dia 33)

$\Phi$  – latitude da localidade em graus (no hemisfério sul, negativa; hemisfério norte, positiva)

$\delta$  – declinação solar

$\omega_1$  e  $\omega_2$  – definem o intervalo de hora calculado, sendo que  $\omega_2$  é o maior valor e o  $\omega_1$  é o menor valor do ângulo horário do sol (manhã, negativo e tarde, positivo)

A declinação solar é a posição angular do sol, no meio-dia solar (DUFFIE; BECKMAN, 2006, p.13), conforme ilustra a figura 14.

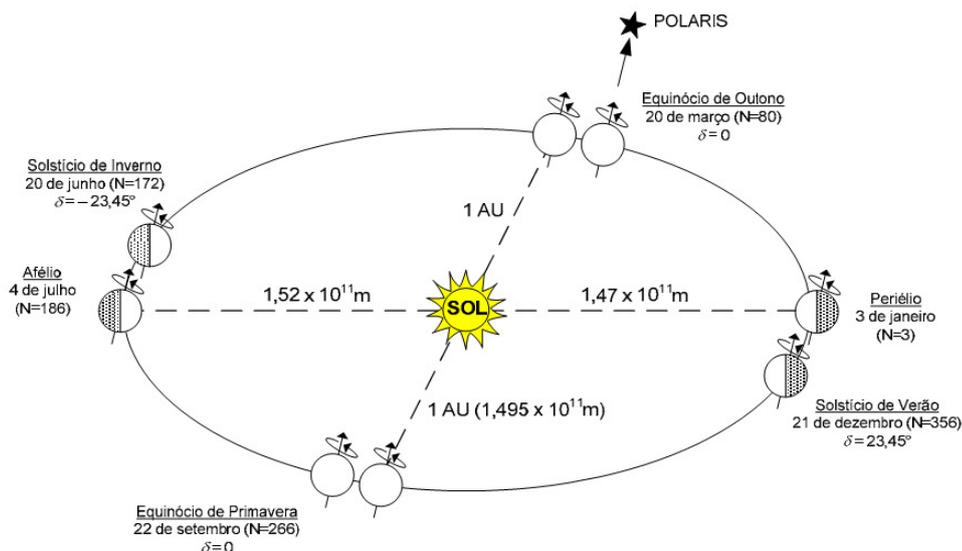


Figura 14 - Plano elíptico da terra em torno do Sol  
Fonte: Adaptado de Iqbal (1983 *apud* ALVES, 2008, p. 22)

É calculada para cada dia do ano e é dada pela equação de Cooper (1969 *apud* DUFFIE; BECKMAN, 2006, p.14) (equação 9):

$$\delta = 23,45 \text{sen} (360(284 + n/365)) \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:

n – dia do ano

A hora solar é a hora baseada no movimento angular aparente do sol através do céu. Na hora solar do meio-dia o sol atravessa o meridiano do observador. A hora solar é a hora especificada em todas as relações angulares do sol e não é coincidente com a hora local. É necessário converter o horário padrão para hora solar aplicando duas correções (DUFFIE; BECKMAN, 2006):

- Primeiro, existe uma constante de correção para a diferença de longitude existente entre a localização do meridiano do observador e o meridiano em que o horário local padrão é baseado (equação 10). O sol gasta 4 minutos para atravessar 1° de longitude:

$$HORA\ SOLAR = HORA\ PADRÃO + 4(Lst - Lloc) + E \quad \text{Equação 10}$$

Sendo:

Lst – longitude do meridiano que afeta a zona de fuso horário local

Lloc – longitude precisa do local de observação

E – Equação do tempo

- A segunda correção é a da equação do tempo (equação 11), em que devem ser levadas em conta as perturbações do padrão de rotação da terra, a qual afeta a hora em que o sol atravessa o meridiano do observador:

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868\cos B - 0.032077\text{sen} B - 0.014615\cos 2B - 0.04089\text{sen} 2B) \quad \text{Equação 11}$$

Sendo:

$$B = (n - 1)360 / 365 \quad \text{Equação 12}$$

n - dia do ano

A diferença entre a hora solar média e a hora solar real para uma determinada data pode atingir +/- 17 minutos, medidos dentro de um ciclo anual (ALVES, 2008).

A quantidade de radiação solar recebida sobre uma superfície horizontal fora da atmosfera (radiação extraterrestre horizontal) determina um limite superior para a quantidade de radiação solar que chegará a uma superfície horizontal abaixo da atmosfera terrestre (radiação global horizontal) (ALVES, 2008, p.17).

### 2.4.1.2. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL

A radiação difusa ( $I_d$ ) é a radiação recebida do sol, depois que a sua direção tenha sido dispersada pela atmosfera (DUFFIE; BECKMAN, 2006, p. 10).

Para encontrar a fração da radiação difusa presente no plano horizontal ( $I_d$ ), é utilizado o algoritmo de Erbs (DUFFIE & BECKMAN, 2006, p. 76), conforme equação 13:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09kt & \text{Se } kt \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604kt + 4.388kt^2 - 16.638kt^3 + 12.336kt^4 & \text{Se } 0.22 < kt < 0.80 \\ 0.165 & \text{Se } kt > 0,80 \end{cases} \quad \text{Equação 13}$$

$I_d$  – Radiação difusa horária

$I$  – Radiação global horizontal horária

$K_t = I/I_0$ , índice de nebulosidade horária

A radiação difusa horizontal ( $I_d$ ) será, portanto, igual ao resultado encontrado na equação anterior multiplicado pela radiação global horizontal, dado existente na base de dados horários disponibilizado pelo INMET.

De acordo com a ASHRAE (2001a) a radiação global ( $I$ ) é a radiação total que atinge a superfície da terra em qualquer orientação e inclinação com um ângulo de incidência  $\theta$ , é a soma da componente direta ( $I_{bn} \times \cos \theta$ ) mais a componente difusa ( $I_d$ ) vinda do céu mais qualquer quantidade de radiação de onda curta refletida ( $I_r$ ) que pode atingir a superfície a partir do sol ou a partir das superfícies adjacentes.

Este dado não precisará ser calculado, pois foi disponibilizado na base de dados horários da estação automática pelo INMET.

Encontrando a radiação difusa horizontal, a radiação direta horizontal ( $I_b$ ) é a diferença da radiação global pela radiação difusa.

### 2.4.1.3. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIRETA NORMAL

Da mesma forma que no caso da radiação solar global horizontal, são raras as estações que mantêm medições de radiação direta de forma constante, restando normalmente a utilização de modelos analíticos para sua estimativa (LABEEE, 2005).

A radiação direta normal ( $I_{bn}$ ) incide sobre uma superfície receptora que se encontra alinhada em ângulo reto com a direção de incidência, formando um ângulo de incidência de  $0^\circ$  com a normal da superfície. É estimada a partir de dados de radiação solar direta horizontal que, por sua vez, é estimada a partir da radiação global horizontal (dado existente, medido pela Estação Automática).

Como:

$$I_t = I_{bn} \times \cos\theta + I_d + I_r \quad \text{Equação 14}$$

e a radiação refletida não será considerada neste caso devido à pouca ou nenhuma influência das superfícies do entorno da estação meteorológica que forneceu os dados, a radiação direta normal será então:

$$I_{bn} = \frac{I - I_d}{\cos\theta} \quad \text{Equação 15}$$

Onde, de acordo com Duffie; Beckman (2006):

$$\cos\theta = (1 - \cos^2\delta \cdot \sin^2\omega)^{1/2} \quad \text{Equação 16}$$

Sendo:

$\delta$  – declinação solar

$\omega$  – ângulo horário

Esta fórmula de  $\cos\theta$  é utilizada para um plano rotacionado ao redor do eixo leste-oeste com um contínuo ajuste para minimizar o ângulo de incidência.

## **2.4.2. ARQUIVO CLIMÁTICO HORÁRIO DE SIMULAÇÃO – FORMATAÇÃO**

Os dados do arquivo climático horário devem ser formatados em um programa de planilhas, como o Excel e, para isso, devem ser realizados os seguintes procedimentos:

- Conversão de todos os dados para as unidades do Sistema Internacional;
- Conferência dos dados de radiação solar: a quantidade de radiação solar recebida sobre uma superfície horizontal fora da atmosfera determina um limite superior para a quantidade de radiação solar que chegará a uma superfície horizontal abaixo da atmosfera terrestre (ALVES, 2008). Cada um dos dados deverão ser conferidos para fazer esta verificação, e todos os dados de radiação global horizontal, maiores que os valores de radiação extraterrestre horizontal, deverão ser igualados a esta.
- Por fim, deverá ser feita a organização do arquivo climático, segundo a metodologia descrita em *EnergyPlus Auxiliary Programs* (ENERGYPLUS, 2010), utilizando-se o programa Excel.

### **2.4.2.1. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS EM PLANILHAS DE EXCEL**

Todos os cálculos deverão ser desenvolvidos em planilhas eletrônicas de modo a facilitar sua manipulação, bem como a organização dos dados para posterior conversão no programa *EnergyPlus*.

De acordo com o *EnergyPlus Auxiliary Programs* (ENERGYPLUS, 2010) a organização de um arquivo climático dentro do Excel ou em qualquer programa de planilhas eletrônicas deve seguir o exemplo a seguir (Tabela 11):

Tabela 11 – Visualização da planilha eletrônica do arquivo de extensão CSV que será posteriormente convertido em EPW no aplicativo *Weather Statistics and Conversions* do Programa *EnergyPlus*

Location Title	Latitude {N+/S-}	Longitude {E+/W-}	Time Zone {+/- GMT}	Elevation {m}					
LOCATION_Ambler_AK_USA_TMY3_701718	67.1	-157.85	-9	88					
Number of design Conditions	Title of Design Condition		Design Stat	Coldest Month	DB996	DB990	DP996	HR_DP996	DB_DP996
			Units	{}	{C°}	{C°}	{C°}	{}	{C°}
1	Climate Design Data 2009 ASHRAE Handbook		Heating	1	-42.2	-39	-34.1	0.2	-27.8
Number Of Typical/Extreme Periods	Period Name	Period Type	Period Start Day	Period End Day	<repeat to # periods>				
6	Summer – Week Nearest Max Temperature For period	Extreme	6-jul	12-jul	Summer – Week Nearest Average Temperature For period	Typical	22-jun	28-Jun	Winter-Week Nearest Min Temperature for Period
Number of Ground	Ground	Soil	Soil	Soil			M		

Temperature Depths	Temperature Depth {m}	Conductivity {W/m-K}	Density {kg/m <sup>3</sup> }	Specific Heat {J/kg-K}	Jan {C <sup>o</sup> }	Feb {C <sup>o</sup> }	Mar {C <sup>o</sup> }	Apr {C <sup>o</sup> }	May {C <sup>o</sup> }
3	0.5				-17.81	-19.25	-16.7	-12.7	-2.25
Leap year Observed?	Daylight Saving Start Date	Daylight Saving End Date	Number of Holidays	Holiday Name	Holiday Date	<repeat for # Holidays>			
No	0	0	0						
Comment Line #1									
Custom/User Format – WMO#701718;NREL TMY3 Data Set (2008); Period of Record 1973-2005 (Generally)									
Comment Line #2									
--Ground temps produced with a standard soil diffusivity of 2.3225760E-03{m**2/day}									
Number of Data Periods [DP]	Number of Intervals per Hour	DP Name/Description	DP Start Day	DP End Day	<repeat to # Data Periods>				
1	1	Data	Sunday	1/1	31-Dec				
Date	HH:MM	Datasource	DryBulb {C <sup>o</sup> }	DewPoint {C <sup>o</sup> }	RelHum{%	Atmos Pressure {Pa}	ExtHorzRad {Wh/m2}	ExtDirRad {Wh/m2}	HorzIRSky {Wh/m2}
Date	HH:MM	Datasource	DryBulb Temperature {C <sup>o</sup> }	DewPoint Temperature {C <sup>o</sup> }	RelativeHumidity{%	Atmospheric Pressure {Pa}	ExtraterrestrialHorizontalRadiation {Wh/m2}	Extraterrestrial Direct Normal Radiation {Wh/m2}	Horizontal Infrared Radiation Intensity from Sky {Wh/m2}

Data	Hora:mi n	Fonte de dados	Tempratura de Bulbo Seco	Temperatura de ponto de orvalho	Umidade Relativa	Pressão atmosf érica	Radiação global extraterrestre horizontal	Radiação direta normal extraterre stre	Intensida de da radiação infraver melha horizont al vinda do céu
1/1/1991	1:00	?9?9?9?9E	-31.2	-34.7	69	100300	0	0	132
1/1/1991	2:00	?9?9?9?9E	-31.2	-34.7	69	100300	0	0	132
1/1/1991	3:00	?9?9?9?9E	-31.3	-35.3	65	100300	0	0	132

Fonte: EnergyPlus (2010)

Todos os dados devem ser escritos em idioma inglês e inclusive o computador do usuário deve estar configurado em “Inglês (Estados Unidos)” no item “opções regionais” (painel de controle), para que o programa EnergyPlus consiga converter o arquivo para a extensão \*.epw.

As cores indicadas na tabela 11 representam:

- A linha rosa indica as condições de projeto, caso não exista, o item “*Number of design Conditions*” será preenchido com o número zero, o item “*Title of Design Condition*” não será preenchido e os demais itens da linha não serão escritos, tampouco preenchidos;
- As linhas azuis não são preenchidas e no momento da conversão o aplicativo *Weather Statistics and Conversions* do programa *EnergyPlus* calcula e preenche as células;
- Nas linhas marrons pode-se escrever qualquer informação referente ao arquivo que será convertido, são linhas para comentários e não influenciam no funcionamento do aplicativo;
- Na linha cinza a tradução de algumas das variáveis constantes do arquivo climático.

É possível ver as demais variáveis na tabela 12.

No item *datasource* poderá ser utilizado o padrão definido na tabela 11.

Na tabela 12, constam os dados que deverão ser preenchidos na 18ª e 19ª linha da tabela 11. Se estes dados não tiverem sido medidos ou calculados, haverá um padrão a ser inserido nas linhas subsequentes.

Tabela 12 – Dados climáticos do arquivo climático e padrões para os dados não medidos ou inexistentes

Dados climáticos a serem inseridos e unidades	Padrões de dados não medidos ou inexistentes
<i>Dry Bulb Temperature</i> {C} – Temperatura de bulbo seco	99.9
<i>Dew Point Temperature</i> {C} – Temperatura de ponto de orvalho	99.9
<i>Relative Humidity</i> {%} – Umidade relativa	999
<i>Atmospheric Pressure</i> {Pa} – Pressão atmosférica	999999
<i>Extraterrestrial Horizontal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação global extraterrestre horizontal	9999
<i>Extraterrestrial Direct Normal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação direta normal extraterrestre	9999
<i>Horizontal Infrared Radiation Intensity from Sky</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Intensidade da radiação infravermelha horizontal vinda do céu	9999
<i>Global Horizontal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação global horizontal	9999
<i>Direct Normal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação direta normal	9999
<i>Diffuse Horizontal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação difusa horizontal	9999
<i>Global Horizontal Illuminance</i> {lux} – Iluminância global horizontal	999999
<i>Direct Normal Illuminance</i> {lux} – Iluminância direta normal	999999
<i>Diffuse Horizontal Illuminance</i> {lux} – Iluminância difusa horizontal	999999
<i>Zenith Luminance</i> {Cd/m <sup>2</sup> } – Luminância do zênite	9999
<i>Wind Direction</i> {deg} – Direção do vento	999
<i>Wind Speed</i> {m/s} – Velocidade do vento	999
<i>Total Sky Cover</i> {.1} – Cobertura total de nuvens	99
<i>Opaque Sky Cover</i> {.1} - Cobertura opaca de nuvens	99
<i>Visibility</i> {km} - Visibilidade	9999
<i>Ceiling Height</i> {m} – Altura da abóboda	99999
<i>Present Weather Observation</i> – Tempo presente	0 ( <i>Weather observation made</i> ) ou 9 ( <i>Weather observation not made, or missing</i> ).
<i>Present Weather Codes</i> – Código de tempo presente	999999999
<i>Precipitable Water</i> {mm} - Precipitação	999
<i>Aerosol Optical Depth</i> {.001} – Profundidade óptica dos aerossóis	999
<i>Snow Depth</i> {cm} – Quantidade de neve	999
<i>Days Since Last Snow</i> – Dias sem nevar	99
<i>Albedo</i> {.01} - Albedo	999
<i>Liquid Precipitation Depth</i> {mm} – Profundidade da precipitação líquida	999
<i>Liquid Precipitation Quantity</i> {hr} – Quantidade da precipitação líquida	99

Fonte: EnergyPlus (2010).

Após a inserção de todos os dados na planilha, o arquivo da planilha eletrônica deverá ser salvo na extensão \*csv (separado por vírgulas), pois somente assim poderá servir como arquivo de entrada no *Weather Statistics and Conversions* do programa *EnergyPlus*.

Com a inserção do arquivo \*csv (separado por vírgulas), o *Weather Statistics and Conversions* do programa *EnergyPlus* gera automaticamente um relatório estatístico dos dados processados do arquivo climático, além de um arquivo em extensão \*epw que será utilizado na simulação.

## 2.5. PROGRAMA DESIGNBUILDER

O *DesignBuilder* é um programa desenvolvido no Reino Unido pela *Designbuilder Software Ltda* para simulações de desempenho termoenergético de edificações e utiliza para isso os algoritmos do *EnergyPlus*, “corrigindo suas limitações gráficas no processo de modelagem” (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009, p.5) devido à sua interface gráfica.

Segundo Venâncio; Pedrini (2009) o uso da ferramenta permite respaldar decisões projetuais de novas edificações, bem como pode oferecer suporte a propostas de *retrofit* permitindo cálculo do consumo de energia.

Os principais usos da ferramenta são:

- Cálculo do consumo de energia;
- Cálculo do desempenho térmico;
- Cálculo de ventilação;
- Predição de temperatura do ar e temperatura radiante média.

Optou-se neste trabalho pela utilização do programa *DesignBuilder* devido à confiabilidade de seu algoritmo baseado no *Energyplus* e à sua versatilidade de modelagem devido à interface gráfica.

No entanto, Lima (2007) descreve algumas limitações do programa com relação à modelagem e análise dos dados:

- A saída de dados de consumo de iluminação e equipamentos é única. O software não permite a separação por uso final dessas categorias;
- As análises energéticas são disponíveis somente para o conjunto de zonas que compõe o modelo, sendo impossibilitada a análise por consumo por zona;
- A temperatura de controle (*setpoint*), definida pelo usuário, é fixa durante o ano todo;
- A caracterização do COP (Coeficiente de Performance) do ar-condicionado é direta, sem acesso às curvas de desempenho do equipamento.

Mesmo com estas limitações relacionadas ao sistema de ar-condicionado, optou-se pelo uso do *DesignBuilder* uma vez que se pretende simular apenas a envoltória, entendendo que neste caso estas limitações não influenciam nos resultados. O *DesignBuilder* é um dos programas indicados pela Eletrobrás:

O *DesignBuilder* é um software para modelagem de edifícios e simulações de desempenho ambiental, desde as fases iniciais de desenvolvimento do projeto. Ele é integrado a ferramenta *EnergyPlus*, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e permite analisar sistemas de aquecimento e resfriamento, iluminação, e ventilação, de forma a quantificar o seu consumo de energia. Com interface simples, ele fornece informações detalhadas, imagens e animações do projeto, além do acesso aos resultados com facilidade (ELETROBRÁS-PROCEL, 2010).

Nesta pesquisa será utilizada a versão *DesignBuilder* 2.4.2.018, que por sua vez, utiliza a versão *EnergyPlus* 6.0.

## **2.6. METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA**

Carlo;Tocolini;Lamberts (2005), Carlo (2008), Lima; Amorim (2007) indicam metodologias de levantamento de características tipológicas de edifícios visando identificar o comportamento termoenergético de uma população de edifícios.

Para a elaboração do RTQ-C e geração das equações, Carlo (2008) realizou diversas simulações de consumo energético em protótipos, ou seja, em modelos computacionais que representam a população de edifícios comerciais, de serviços e públicos no Brasil e os fatores (características construtivas externas e equipamentos consumidores de energia nestas edificações) que entreveem no consumo de energia destas edificações.

LIMA; AMORIM (2007) levantaram por meio de fotografias e visitas *in loco*, as características construtivas externas de tipologias de escritórios para a cidade de Brasília: a forma da edificação, orientação da fachada principal, cor dos fechamentos transparentes, uso e tipo de elementos de proteção solar e o número de pavimentos. Como resultado, criou-se uma base de dados das características mais comumente aplicadas em edificações de escritórios em Brasília para posterior avaliação das consequências para a qualidade ambiental e elaboração de diretrizes mais adequadas para o desenvolvimento de novos projetos para essa tipologia. A amostragem, neste caso, foi definida como: todos os edifícios de escritórios públicos e privados da escala monumental e gregária da cidade de Brasília.

Foram analisadas por Carlo;Tocolini;Lamberts (2005) e Carlo (2008), as seguintes características para cinco cidades brasileiras e diversas tipologias<sup>8</sup>:

- Da envoltória: percentual de área de janelas nas fachadas, o tipo de vidro, com a espessura, a cor e a existência de películas, o tipo de parede incluindo sua espessura e identificação de suas camadas, as camadas da cobertura e a existência e dimensões das proteções solares;
- Do edifício: a forma, o número de pavimentos e orientação do edifício;
- Dos sistemas: as cargas internas, o padrão de uso e ocupação e dos sistemas de iluminação, equipamentos e condicionamento de ar e as características do sistema de condicionamento de ar.

A amostragem para o levantamento foi definida a partir da investigação do universo de edificações comerciais na região metropolitana de Florianópolis. Para definição deste universo foi utilizada a lista telefônica, visto que associações comerciais e até mesmo prefeituras não possuem dados que atendam aos critérios estabelecidos. Nas demais cidades não foi possível utilizar a lista telefônica para reunir estas informações.

CARLO (2008) considerou que para um erro de 10% de uma população infinita de edifícios, a amostra deve ser de, no mínimo, 100 edifícios em cada cidade.

Nesta pesquisa, um dos objetivos era identificar a tipologia mais construída dentre as tipologias de edifícios comerciais, de serviços e públicos e as características externas destas edificações na intenção de identificar um edifício representativo para aplicar as metodologias descritas. Contudo, não foi possível a definição de uma amostragem devido à inexistência das informações relativa à quantidade destas tipologias.

Desta maneira, no presente trabalho optou-se por analisar como estudo de caso uma edificação de um campus universitário da cidade de Uberlândia, devido à sua relevância, conforme descrito no Estudo de Caso.

---

<sup>8</sup> As tipologias analisadas nestes estudos foram: escritórios e bancos, lojas de venda de mercadorias não alimentícias, restaurantes e lanchonetes, hotéis e pousadas, supermercados, hospitais e grandes clínicas.

## CAPÍTULO 3 – MÉTODO

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa, partindo do mapa metodológico (figura 15).

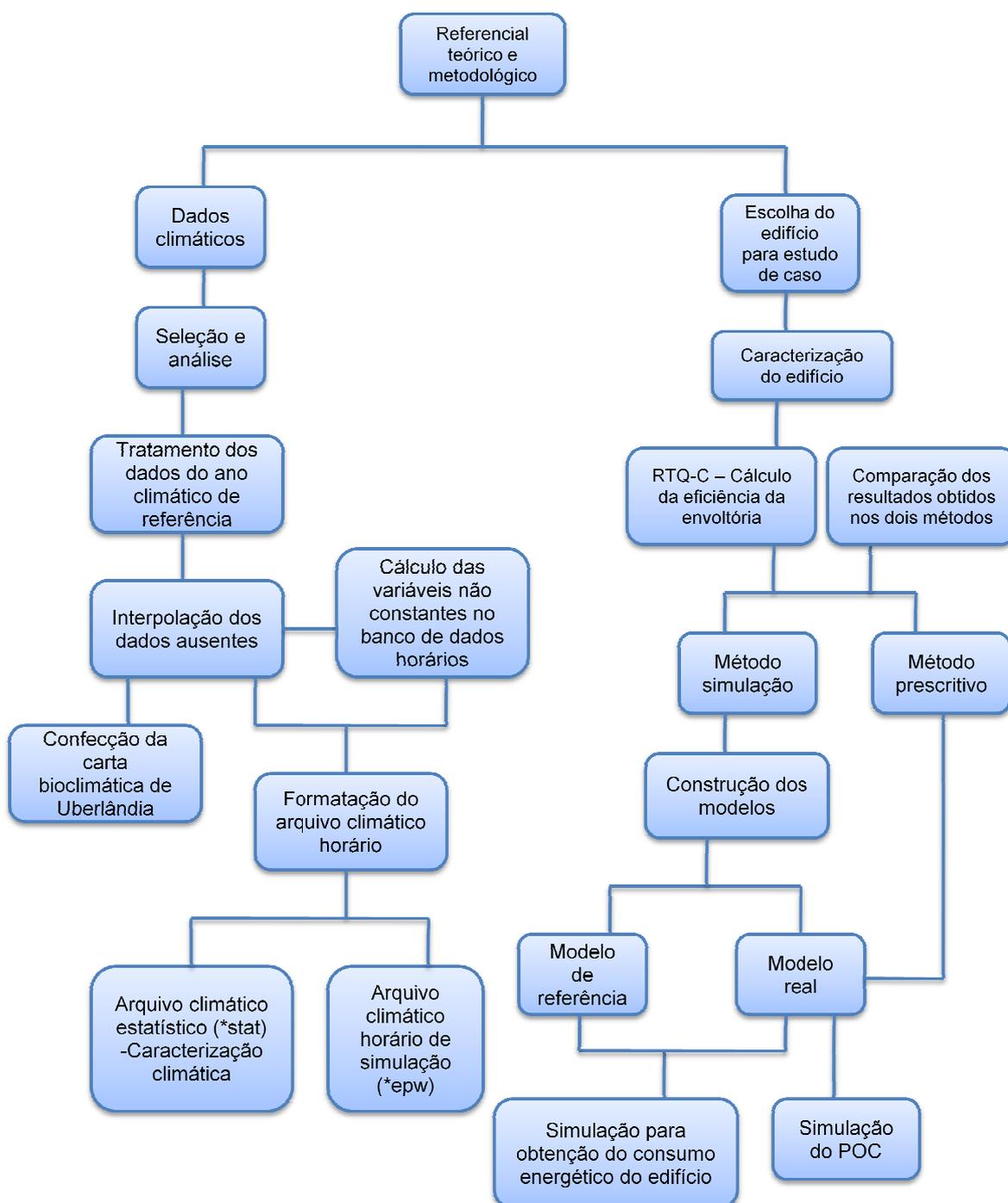


Figura 15 – Mapa metodológico da pesquisa.

A partir do referencial teórico e metodológico, os dados climáticos disponíveis foram selecionados e analisados obtendo-se o ano climático de referência com a metodologia do TRY – *Test Reference Year*. O tratamento destes dados constou da interpolação dos dados ausentes do ano TRY e do cálculo das variáveis não constantes na base de dados horários e necessários para a formatação do arquivo climático. Com a interpolação dos dados ausentes foi possível a confecção da carta bioclimática, e os cálculos tornaram possível a formatação do arquivo climático horário que, ao ser convertido no programa *Weather Statistics and Conversions* do programa *EnergyPlus* versão 6.0, gerou o arquivo climático estatístico com a caracterização climática da cidade de Uberlândia bem como o arquivo climático horário de simulação em extensão \*.epw.

A outra etapa da metodologia refere-se à escolha do edifício para estudo de caso com posterior caracterização de sua envoltória e espaços internos. A partir desta caracterização foi possível aplicar o RTQ-C utilizando-se os dois métodos, simulação e prescritivo. Para o método da simulação, os modelos real e de referência foram construídos e utilizados para a simulação de obtenção do consumo energético do edifício, enquanto que para a simulação do POC (necessário para o método prescritivo e simulação) apenas o modelo real foi utilizado.

Após a aplicação dos dois métodos comparou-se os resultados obtidos em ambos.

### **3.1. DADOS CLIMÁTICOS – SELEÇÃO E ANÁLISE**

Inicialmente os únicos dados climáticos disponibilizados para a identificação do ano climático de referência, foram os dados da Estação Convencional da UFU pelo Laboratório de Climatologia da Faculdade de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, uma vez que o INMET demorou cinco meses para fornecer os dados da Estação Convencional e os dados horários da Estação Automática.

Pelo Laboratório de Climatologia foram disponibilizadas planilhas de Excel dos anos de 1996 a 2009, com os seguintes dados: temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, temperatura externa máxima e mínima, amplitude média diária, precipitação, cobertura do céu, tipo de nuvens, visibilidade, ventos (direção e velocidade) e pressão atmosférica. Também foi disponibilizada uma

planilha resumo das médias de todos estes dados, ou seja, das normais climatológicas, calculadas conforme indicação do INMET (1992).

Um procedimento recomendado por Goulart (2010) seria utilizar os dados horários para identificação do TRY, uma vez que são teoricamente mais completos por ser horários; fazer as médias e encontrar o ano climático de referência a partir deles, mesmo sendo apenas seis anos de dados. Contudo, os arquivos horários continham muitos dados nulos, o que inviabilizaria a definição das médias mensais.

Na tabela 13 foram quantificados os dados nulos<sup>9</sup> por ano e variáveis climáticas que serão utilizadas no arquivo climático horário de simulação. Os dados foram quantificados a partir de 2004, pois no ano de 2003 têm-se dados apenas a partir de março.

Tabela 13 – Quantidade de dados nulos da Estação Automática da Universidade Federal de Uberlândia

ANO	DADOS NULOS ESTAÇÃO AUTOMÁTICA – UFU			
	TEMPERATURA DO AR	TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO	UMIDADE RELATIVA DO AR	RADIAÇÃO GLOBAL
2004	7046 (80,43%)	7046 (80,43%)	7046 (80,43%)	7046 (80,43%)
2005	2339 (26,70%)	2339 (26,70%)	2339 (26,70%)	2339 (26,70%)
2006	454 (5,18%)	454 (5,18%)	455 (5,19%)	501 (5,72%)
2007	88 (1%)	88 (1%)	88 (1%)	92 (1,05%)
2008	1746 (19,93%)	1746 (19,93%)	1731 (19,76%)	1794 (20,48%)
2009	24 (0,27%)	24 (0,27%)	24 (0,27%)	24 (0,27%)

ANO	DADOS NULOS ESTAÇÃO AUTOMÁTICA - UFU			
	PRESSÃO ATMOSFÉRICA	VENTO VELOCIDADE	VENTO DIREÇÃO	PRECIPITAÇÃO
2004	7052 (80,50%)	7052 (80,50%)	7052 (80,50%)	7046 (80,43%)
2005	2339 (26,70%)	2340 (26,71%)	2340 (26,71%)	2339 (26,70%)
2006	454 (5,18%)	494 (5,64%)	494 (5,64%)	494 (5,64%)
2007	88 (1%)	88 (1%)	88 (1%)	88 (1%)
2008	1730 (19,75%)	1748 (19,95%)	1748 (19,95%)	1730 (19,75%)
2009	24 (0,27%)	24 (0,27%)	24 (0,27%)	24 (0,27%)

O arquivo com os dados diários da estação convencional, disponibilizados pelo INMET, também continha falhas com muitos dados nulos e só possuía

<sup>9</sup> Os dados nulos podem ter ocorrido por falhas nos sensores de medição, por falha na transmissão dos dados ao satélite, tanto que o sistema de transmissão de dados foi trocado duas vezes desde a instalação da estação automática, e até mesmo uma interferência como um pássaro que pousa no instrumental de medição pode influenciar a medição.

informações até novembro de 2006 quando a Estação Climatológica Convencional parou de fornecer os dados ao INMET. Estas falhas não aconteceram nos dados do Laboratório de Climatologia, foi um problema isolado do INMET.

A última possibilidade cogitada, visando obter dados horários de uma única fonte<sup>10</sup>, neste caso, da estação convencional, foi a da extração de dados horários a partir de gráficos desta, evitando possíveis distorções dos dados encontrados em duas estações diferentes, convencional e automática. Assim, poder-se-ia extrair dados horários a partir da digitalização de gráficos, como fez Pereira (2004). Mas esta possibilidade foi descartada quando nos foi informado pelo INMET que possivelmente por ser uma estação auxiliar, a Estação Convencional da UFU não possuía estes gráficos.

Optou-se, portanto, por utilizar na identificação do ano climático de referência a metodologia do TRY – *Test Reference Year* usando-se somente os 10 anos mais recentes de dados da estação convencional.

A metodologia do TRY (STAMPER, 1977, apud GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998) foi então aplicada, utilizando-se dados de temperatura média compensada de 2000 a 2009. Estas médias, normais climatológicas, foram calculadas conforme INMET (1992) (equação 17) e disponibilizadas pelo Laboratório de Climatologia da UFU. Sendo que as horas das observações são referentes ao horário GMT (*Greenwich mean time* ou Tempo médio de Greenwich).

$$T = \frac{T_{12} + 2T_{00} + T_{MAX} + T_{MIN}}{5} \quad \text{Equação 17}$$

### **3.1.1. IDENTIFICAÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA (TRY - TEST REFERENCE YEAR)**

Para identificação do TRY - *Test Reference Year* foi utilizada a metodologia desenvolvida pela ASHRAE, descrita por Stamper (1977, apud GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998).

O TRY é identificado a partir de um procedimento que utiliza somente as temperaturas médias mensais de uma série de anos proposta, no caso de 2000 a

---

<sup>10</sup> Seria mais adequado utilizar dados de uma mesma fonte (estação climatológica) para primeiramente identificar o ano climático e posteriormente formatar o arquivo climático horário de simulação.

2009. Portanto, o TRY da cidade de Uberlândia foi identificado a partir dos dados de temperaturas médias das normais climatológicas da Estação Convencional fornecidas pelo Laboratório de Climatologia da UFU, e utilizando-se, posteriormente, dos dados horários da Estação Automática fornecidos pelo INMET é que foi possível a formatação do arquivo climático horário.

O procedimento utilizado para selecionar o ano climático para um local específico é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano somente (GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998, p.7).

A obtenção do TRY deu-se da seguinte forma:

- Organizou-se uma tabela a partir dos dados de temperatura média fornecidos pela Estação Climatológica da Universidade Federal de Uberlândia, dos anos de 2000 a 2009 (tabela 14).

Tabela 14 – Temperaturas médias mensais para determinação do TRY

MÊS	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
JAN	23,7	24,2	24,2	23,4	23,9	23,7	24,5	23,5	23,4	23,6
FEV	22,8	25,1	23,3	25,1	23,2	24,7	24,2	23,9	23,2	24,2
MAR	23,2	24,1	24,6	23,6	23,5	24,1	23,6	25	23	24
ABR	22,6	24,6	24,7	23,3	22,9	24,8	23,1	24	22,9	21,8
MAI	20,8	20,8	22,4	19,6	20,9	21,4	20	21,3	20,5	21,8
JUN	19,8	20,2	21,5	21,1	19,4	19,3	21,3	20,7	20,9	19,9
JUL	18,3	21,3	21	20,5	19,3	19,9	20,4	20,5	20,2	22
AGO	21,9	21,3	23	21,2	21,6	22,1	22,9	21,8	23,3	22,1
SET	22,4	23,2	22,6	23,9	25,3	23,9	22,6	24,6	23,4	24
OUT	25,5	23,7	27	24,1	24,3	26,1	23	25,3	24,6	24,2
NOV	23,4	24,1	24,5	23,8	24	23,1	23,2	23,8	23,7	24,9
DEZ	23,8	23,5	23,7	24,8	23,7	22,6	23,5	23,8	23,3	23,6

- Selecionou-se o mês mais quente, ou seja, de temperatura média mais alta, de todos os anos e meses disponíveis e o mês mais frio (temperatura média mais baixa). Obteve-se como mês mais quente, outubro de 2002, e como mais frio, julho de 2000, sendo estes meses eliminados da análise. Restando 10 meses, realizou-se o mesmo procedimento, restando apenas 8 meses e assim por diante. O resultado desta etapa pode ser visto nas duas primeiras colunas da tabela 15.

Tabela 15 – Seleção de meses para determinar o TRY

CONDIÇÃO	ANO	CONDIÇÃO	ANO
outubro mais quente	2002	outubro mais frio	2006
julho mais frio	2000	julho mais quente	2009
setembro mais quente	2004	setembro mais frio	2000
junho mais frio	2005	junho mais quente	2002
fevereiro mais quente	2001	fevereiro mais frio	2000
maio mais frio	2003	maio mais quente	2002
março mais quente	2007	março mais frio	2008
agosto mais frio	2003	agosto mais quente	2008
novembro mais quente	2009	novembro mais frio	2005
abril mais frio	2009	abril mais quente	2005
dezembro mais quente	2003	dezembro mais frio	2005
janeiro mais frio	2008	janeiro mais quente	2006

- Repetiu-se então os meses da primeira coluna (tabela 15) com as condições alteradas, ou seja, onde era frio passou a ser quente e vice-versa. Por exemplo, outubro que era o mês mais quente, passou a ser o mais frio na terceira coluna, e então se verificou em qual ano outubro apresentava a temperatura mais baixa e este ano foi anotado na quarta coluna.
- Utilizando a sequência dos 12 pares de meses, a partir do momento em que o ano aparecia, ele era eliminado. Por exemplo, o ano de 2002 teve outubro como mês mais quente, sendo assim desconsiderado como o TRY. A seguir, o ano de 2000 teve julho como mês mais frio, sendo assim eliminado. O mesmo procedimento foi realizado assim por diante, até que restasse apenas um ano, que foi então determinado como o TRY.

Durante o procedimento, assim como em Rossi; Dunke; Krüger (2009), ao se selecionar o mês mais quente ou o mês mais frio, houve algumas vezes a coincidência de temperaturas entre dois meses. Adotou-se, então, como critério de desempate, o mês de mais baixa temperatura mínima mensal, no caso de mês mais frio, e de mais alta temperatura máxima mensal quando se referia ao mês mais quente.

Também durante o procedimento, ao se selecionar o mês mais quente, por exemplo, sua temperatura coincidia em dois anos diferentes. Por exemplo, fevereiro apresentou-se como mês mais quente com a mesma temperatura no ano de 2001 e de 2003. Foi então escolhido o mesmo critério de desempate: o ano que

apresentava a média anual mais alta foi considerado. O mesmo procedimento foi realizado para as baixas temperaturas coincidentes.

Após a realização de todas as etapas, o ano de 2006 foi o último a aparecer, sendo, portanto definido como TRY – *Test Reference Year*.

### 3.1.2. PROCEDIMENTO DE TRATAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS HORÁRIOS

Partindo então do ano identificado como TRY (ano de 2006), a partir dos dados da estação convencional constatou-se que a base de dados horários de 2006, provenientes da estação automática, poderia ser utilizada para a formatação do arquivo climático, pois continha poucas horas nulas.

O procedimento de tratamento dos dados seguiu as etapas:

- Interpolação dos dados nulos do ano TRY (ano de 2006);
- Adequação dos dados horários ao fuso horário de Uberlândia (GMT-3);
- Cálculo das principais variáveis da radiação solar não constantes na base de dados horários por meio da metodologia apresentada por Duffie; Beckman (2006) e ASHRAE (2001):
  - Radiação solar extraterrestre horizontal;
  - Radiação difusa horizontal;
  - Radiação direta normal;
  - Formatação do arquivo climático conforme indicado no *Auxiliary Energy Plus Programs* (2010), utilizando o *Weather Statistics and Conversions do Programa EnergyPlus* versão 6.0.

Os dados foram tratados de modo a obter um arquivo climático de formato \*epw para simulação termoenergética em programas como *EnergyPlus* e *DesignBuilder*.

### **3.1.2.1. INTERPOLAÇÃO DOS DADOS AUSENTES DO ANO TRY**

O ano de 2006, identificado como sendo o ano climático de referência a partir da metodologia do TRY, apresentava dados nulos, no entanto, não mais que cinco horas consecutivas.

O INMET informou que não faz interpolação dos dados perdidos e, portanto, não possui uma metodologia para sugestão quando isso ocorre. Optou-se por interpolar os dados utilizando médias simples, uma vez que havia no máximo cinco horas nulas consecutivas<sup>11</sup>.

A ausência de dados ocorreu em todas as variáveis a serem utilizadas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento, direção do vento, radiação global e precipitação. Em todos os casos, os dados foram interpolados por meio de médias simples.

### **3.1.2.2. CÁLCULO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR NÃO CONSTANTES NA BASE DE DADOS CLIMÁTICOS HORÁRIOS**

Antes de se iniciarem os cálculos foi necessário esclarecer o fato de vários dados de radiação aparecerem como números negativos, o que, segundo explicação do INMET (2010), se devia ao funcionamento do instrumento de medição, o piranômetro: os valores negativos ocorrem porque durante a noite há uma inversão de temperatura, ou seja, durante o dia a temperatura externa ao instrumento é maior do que a temperatura interna e, durante a noite, ocorre o contrário. Como o piranômetro tem um sensor baseado em termopilhas, a energia radiante em forma de calor gera uma diferença de potencial (voltagem) que durante a noite, devido à inversão, fica negativa. Contudo, isto não quer dizer que os valores negativos são valores de medida de radiação. Sendo assim, os dados negativos foram considerados como zero, uma vez que ocorriam justamente à noite quando não há incidência de radiação solar.

---

<sup>11</sup> Intervalos de mais de seis horas com dados ausentes exigiriam uma análise mais detalhada, trabalhando com curvas de tendência para cada dado ausente (LABEEE, 2005), o que não foi necessário.

Esclarecidas estas questões, alguns dados de radiação solar essenciais para a formatação de um arquivo climático horário para simulação termoenergética foram calculados.

Todos os cálculos foram desenvolvidos em planilhas eletrônicas, utilizando o programa Excel, visto que cada dado deveria ser obtido para as 8760 horas do ano de 2006. No entanto, visando conferir a coerência dos dados obtidos, algumas sequências de cálculos foram feitas manualmente.

### 3.1.2.2.1. CÁLCULO DA RADIAÇÃO GLOBAL EXTRATERRESTRE HORIZONTAL

A radiação solar extraterrestre horizontal horária ( $I_o$ ) foi calculada a partir da equação descrita em Duffie; Beckman(2006) (equação 18):

$$I_o = \frac{12 \times 3600 G_{sc}}{\pi} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] \times [\cos \phi \cos \delta (\text{sen} \omega_2 - \text{sen} \omega_1) + \pi(\omega_2 - \omega_1)/180 \times \text{sen} \phi \text{sen} \delta] \quad \text{Equação 18}$$

Sendo:

$I_o$  – radiação extraterrestre horizontal horária

$G_{sc}$  – constante solar = 1367W/m<sup>2</sup> (DUFFIE; BECKMAN, 2006)

$n$  – dia do ano (por exemplo, 2 de fevereiro é o dia 33)

$\Phi$  – latitude da localidade em graus (no hemisfério sul, negativa; hemisfério norte, positiva)

$\delta$  – declinação solar

$\omega_1$  e  $\omega_2$  – definem o intervalo de hora calculado, sendo que  $\omega_2$  é o maior valor e  $\omega_1$  é o menor valor do ângulo horário do sol (manhã negativo e tarde positivo)

No caso da cidade de Uberlândia, a latitude é - 18°55' ou seja, -18,9167°.

A declinação solar foi calculada para cada dia do ano pela equação de Cooper (1969 *apud* DUFFIE; BECKMAN, 2006) (equação 19):

$$\delta = 23,45 \text{sen} (360(284 + n/365)) \quad \text{Equação 19}$$

Sendo:

n – dia do ano

Foi necessário converter o horário padrão para hora solar aplicando duas correções (DUFFIE; BECKMAN, 2006) (equações 20, 21 e 22):

$$HORA\ SOLAR = HORA\ PADRÃO + 4(Lst - Lloc) + E \quad \text{Equação 20}$$

Sendo:

Lst – longitude do meridiano que afeta a zona de fuso horário local (no caso de Uberlândia, 45°)

Lloc – longitude precisa do local de observação (no caso de Uberlândia, 48° 15', ou seja, 48,25°)

E – Equação do tempo

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868\cos B - 0.032077\sin B - 0.014615\cos 2B - 0.04089\sin 2B) \quad \text{Equação 21}$$

Sendo:

$$B = (n - 1)360 / 365 \quad \text{Equação 22}$$

n – dia do ano

### 3.1.2.2.2. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL

Para encontrar a fração da radiação difusa no plano horizontal ( $I_d$ ), foi utilizado o algoritmo de Erbs (DUFFIE; BECKMAN, 2006) (equação 23):

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09kt & \text{Se } kt \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604kt + 4.388kt^2 - 16.638kt^3 + 12.336kt^4 & \text{Se } 0.22 < kt < 0.80 \\ 0.165 & \text{Se } kt > 0,80 \end{cases} \quad \text{Equação 23}$$

$I_d$  – Radiação difusa horária

$I$  – Radiação global horizontal horária

$K_t$  =  $I/I_0$ , índice de nebulosidade horária

A radiação difusa horizontal ( $I_d$ ) será, portanto, igual ao resultado encontrado na equação anterior multiplicado pela radiação global horizontal, dado existente na base de dados horários disponibilizado pelo INMET.

Encontrando a radiação difusa horizontal, a radiação direta horizontal ( $I_b$ ) é a diferença da radiação global pela radiação difusa.

### 3.1.2.2.3. CÁLCULO DA RADIAÇÃO DIRETA NORMAL

A radiação direta normal ( $I_{bn}$ ) foi estimada a partir de dados de radiação solar direta horizontal que, por sua vez, é estimada a partir da radiação global horizontal (dado existente, medido pela Estação Automática) (equação 24).

Como:

$$I_t = I_{bn} \times \cos\theta + I_d + I_r \quad \text{Equação 24}$$

$I_t$  – Radiação global total

$I$  – Radiação direta normal

$I_d$  – Radiação difusa

$I_r$  – Radiação refletida

e a radiação refletida não será considerada neste caso devido à pouca ou nenhuma influência das superfícies do entorno da estação meteorológica, a radiação direta normal será calculada então pela equação 25:

$$I_{bn} = \frac{I - I_d}{\cos\theta} \quad \text{Equação 25}$$

Onde, de acordo com Duffie; Beckman (2006) (equação 26):

$$\cos\theta = (1 - \cos^2\delta \cdot \sin^2\omega)^{1/2} \quad \text{Equação 26}$$

*Sendo*

$\delta$  – declinação solar

$\omega$  – ângulo horário

### 3.1.3.FORMATAÇÃO DO ARQUIVO CLIMÁTICO

O processo de formatação dos dados climáticos para extensão \*epw adequada ao programa *EnergyPlus* e ao *DesignBuilder* que utiliza os algoritmos deste é descrito no *Auxiliary Energy Plus Programs* (2010).

Para isso foram conferidos e, quando necessários, convertidos os dados existentes na base de dados climáticos fornecidos pelo INMET para o Sistema Internacional.

Também foi realizada a conferência dos dados de radiação solar: a quantidade de radiação solar recebida sobre uma superfície horizontal fora da atmosfera determina um limite superior para a quantidade de radiação solar que chegará a uma superfície horizontal abaixo da atmosfera terrestre (ALVES, 2008). Cada um dos dados foi então conferido com a ajuda de planilhas do Excel para fazer esta verificação, e todos os dados de radiação global horizontal, maiores que os valores de radiação extraterrestre horizontal, foram igualados a esta.

Os dados foram organizados em planilha de Excel de acordo com a tabela 11 (página 70). Na tabela 16 constam em cinza, na primeira coluna, os dados constantes na base de dados climáticos horários ou calculados que foram inseridos na planilha e, na segunda coluna, os padrões de dados não medidos e não calculados, inseridos na planilha para gerar o arquivo climático. Ressalta-se que o arquivo climático de Uberlândia possui os dados mínimos<sup>12</sup> de um arquivo climático para simulação termoenergética de edifícios.

---

<sup>12</sup> Além dos dados mínimos, foram inseridos dados de precipitação (chuva) disponíveis no banco de dados horários.

Tabela 16 – Dados climáticos do arquivo climático e padrões para os dados não medidos ou inexistentes

Dados climáticos a serem inseridos e unidades	Padrões de dados não medidos ou inexistentes
<i>Dry Bulb Temperature</i> {C} – Temperatura de Bulbo seco	
<i>Dew Point Temperature</i> {C} – Temperatura de Ponto de orvalho	
<i>Relative Humidity</i> {%} – Umidade relativa	
<i>Atmospheric Pressure</i> {Pa} – Pressão atmosférica	
<i>Extraterrestrial Horizontal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação global extraterrestre horizontal	
<i>Extraterrestrial Direct Normal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação direta normal extraterrestre	9999
<i>Horizontal Infrared Radiation Intensity from Sky</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Intensidade da radiação infravermelha horizontal vinda do céu	9999
<i>Global Horizontal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação global horizontal	
<i>Direct Normal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação direta normal	
<i>Diffuse Horizontal Radiation</i> {Wh/m <sup>2</sup> } – Radiação difusa horizontal	
<i>Global Horizontal Illuminance</i> {lux} – Iluminância global horizontal	999999
<i>Direct Normal Illuminance</i> {lux} – Iluminância direta normal	999999
<i>Diffuse Horizontal Illuminance</i> {lux} – Iluminância difusa horizontal	999999
<i>Zenith Luminance</i> {Cd/m <sup>2</sup> } – Luminância do zênite	9999
<i>Wind Direction</i> {deg} – Direção do vento	
<i>Wind Speed</i> {m/s} – Velocidade do vento	
<i>Total Sky Cover</i> {.1} – Cobertura total de nuvens	99
<i>Opaque Sky Cover</i> {.1} - Cobertura opaca de nuvens	99
<i>Visibility</i> {km} - Visibilidade	9999
<i>Ceiling Height</i> {m} – Altura da abóboda	99999
<i>Present Weather Observation</i> – Tempo presente	0 ( <i>Weather observation made</i> – Observação do tempo realizada) ou 9 ( <i>Weather observation not made, or missing</i> – Observação do tempo não realizada ou perdida).
<i>Present Weather Codes</i> – Código de tempo presente	999999999
<i>Precipitable Water</i> {mm} - Precipitação	999
<i>Aerosol Optical Depth</i> {.001} – Profundidade óptica dos aerossóis	999
<i>Snow Depth</i> {cm} – Quantidade de neve	999
<i>Days Since Last Snow</i> – Dias sem nevar	99
<i>Albedo</i> {.01} - Albedo	999
<i>Liquid Precipitation Depth</i> {mm} – Profundidade da precipitação líquida	
<i>Liquid Precipitation Quantity</i> {hr} – Quantidade da precipitação líquida	99

Fonte: Adaptado de EnergyPlus (2010)

Inseridos todos os dados na planilha (ver figura 16), o arquivo da planilha eletrônica foi salvo na extensão \*csv (separado por vírgulas), pois somente assim poderá servir como arquivo de entrada no *Weather Statistics and Conversions* do programa *EnergyPlus*.

1	Location T Latitude (°) Longitude Time Zone Elevation (m)												
2	LOCATION	-18.92	-48.25	-3	869								
3	Number of Title of Design Condition												
4	0												
5	Number of Period Name Period Type Period Start Period End <repeat to # periods>												
6													
7	Number of Ground Temperature Soil Condition Soil Density Soil Specific Heat Jan (C) Feb (C) Mar (C) Apr (C) May (C) Jun (C) Jul (C) Aug (C)												
8													
9	Leap Year Daylight Saving Daylight Saving Number of Holiday Name Holiday Date <repeat for # Holidays>												
10	No	0	0	0									
11	Comment Line #1												
12	TRY 2006 Dados estação automática Universidade Federal de Uberlândia												
13	Comment Line #2												
14	-- Ground temps produced with a standard soil diffusivity of 2.3225760E-03 [m**2/day]												
15	Number of DP Name/DP Start Date DP End Date <repeat to # Data Periods>												
16	1	1	Data	Sunday	1-Jan	6-Dec							
17	Date	HH:MM	Datasource	Dry Bulb (C)	Dew Point (C)	Relative Hum (%)	Atmos Pressure	ExtHorzRad	ExtDirRad	HorzIRSky	GloHorzRe	DirNormR	DifHorzRa
18	Date	HH:MM	Datasource	Dry Bulb T	Dew Point	Relative H	Atmosphere	Extraterre	Extraterre	Horizontal	Global Ho	Direct Nor	Diffuse Hc
19	1/1/2006	1:00	99999999E	20.1	18.1	89	91580	0	9999	9999	0	0	0
20	1/1/2006	2:00	99999999E	19.9	17.6	87	91570	0	9999	9999	0	0	0
21	1/1/2006	3:00	99999999E	19.6	17.6	88	91550	0	9999	9999	0	0	0
22	1/1/2006	4:00	99999999E	19.5	17.4	88	91510	0	9999	9999	0	0	0
23	1/1/2006	5:00	99999999E	19.5	17.3	87	91490	0	9999	9999	0	0	0
24	1/1/2006	6:00	99999999E	19.4	17.4	88	91510	0	9999	9999	0	0	0
25	1/1/2006	7:00	99999999E	20.4	17.5	84	91570	254	9999	9999	93	24	82
26	1/1/2006	8:00	99999999E	22.1	16.8	72	91610	568	9999	9999	268	136	192

Figura 16 - Planilha do Programa Excel com os dados de Uberlândia-MG

Após a inserção do arquivo \*csv (separado por vírgulas) o aplicativo *Weather Statistics and Conversions* do programa *EnergyPlus* gera automaticamente um relatório estatístico dos dados processados do arquivo climático, além de um arquivo em extensão \*epw que será utilizado na simulação.

### 3.2. EDIFÍCIO ESCOLHIDO PARA ESTUDO DE CASO

O edifício escolhido para estudo de caso nesta pesquisa trata-se de um bloco de sala de aulas do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia, localizado no Bairro Santa Mônica, no setor central da cidade (figuras 17 e 18).

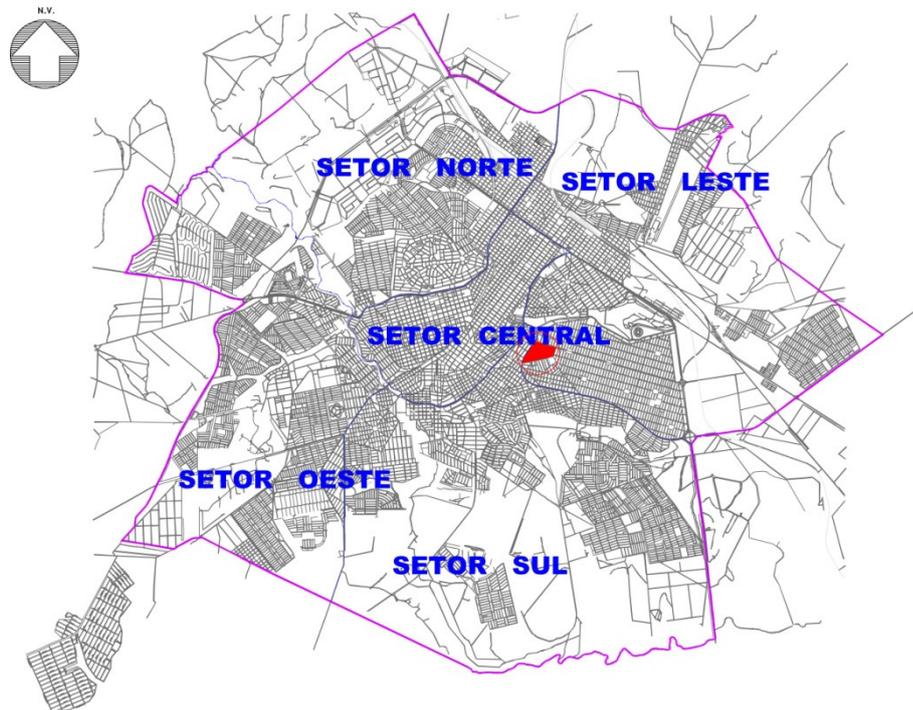


Figura 17 - Mapa de Uberlândia localizando o Campus Santa Mônica.  
Fonte: Diretoria de obras da Prefeitura de Campus, 2009.

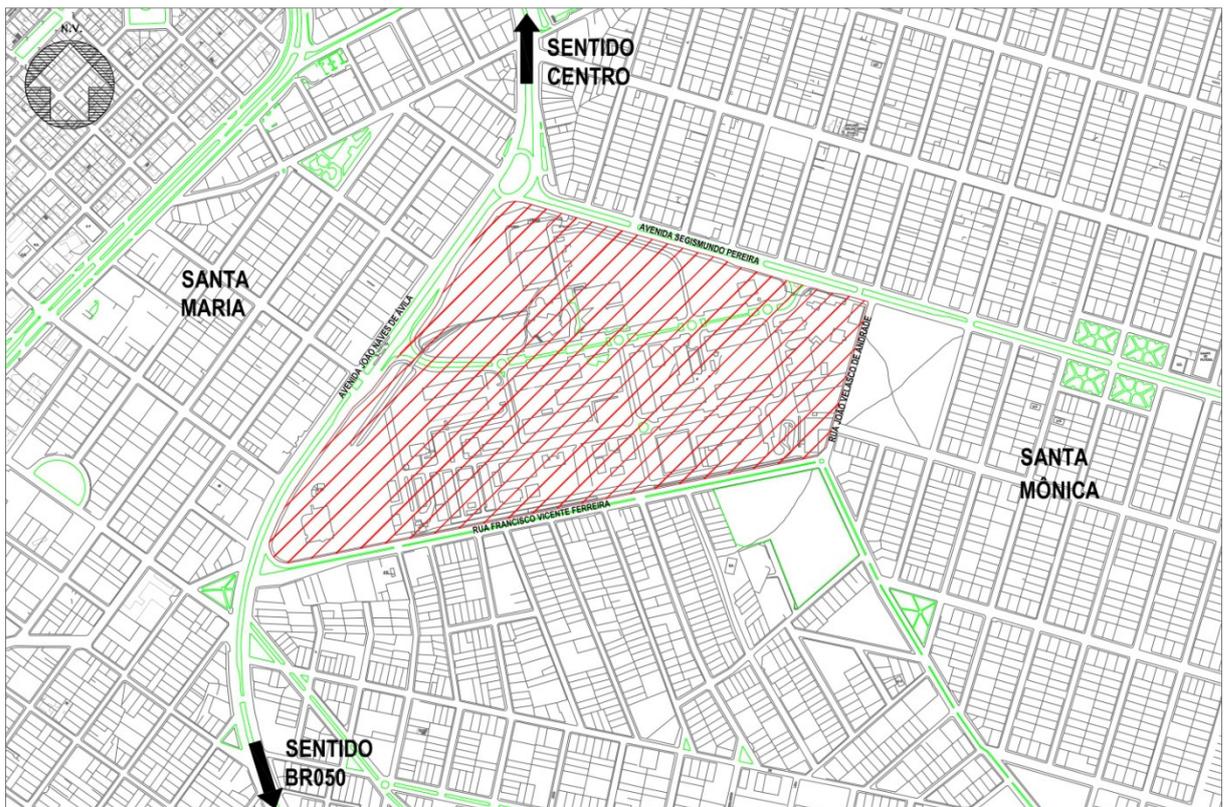


Figura 18 - Localização do Campus Santa Mônica no entorno.  
Fonte: Diretoria de obras da Prefeitura de Campus, 2009.

A escolha do estudo de caso difere dos trabalhos em que se escolheu para análise um edifício representativo da cidade (CARLO, 2008, CARLO; TOCOLINI; LAMBERTS, 2005, LIMA; AMORIM, 2007;), embora, inicialmente, para a escolha da edificação “estudo de caso”, seria feito um estudo da produção arquitetônica da cidade de Uberlândia, baseando-se na análise das características externas citadas no RTQ-C (INMETRO, 2010): forma, altura da edificação, orientação das fachadas, percentual de abertura na fachada (PAF), tipo e cor do material transparente, existência ou não de elementos de sombreamento e o tipo destes elementos, tipo e cor do material opaco e tipo de cobertura. A partir deste estudo, seriam definidas as principais características que definem a arquitetura comercial, de serviços e pública da cidade de Uberlândia, e um edifício representativo de uma destas tipologias seria escolhido. No entanto, devido à inexistência de dados sobre estas tipologias (lojas, escritórios, supermercados, hotéis, restaurantes, escolas, clínicas e hospitais) de edificações<sup>13</sup>, como por exemplo, quantidade destes tipos de edificações na cidade, não foi possível definir uma amostragem para o estudo. Outra opção foi tentar conseguir a informação, em órgãos como o Sinduscon, sobre a quantidade de edifícios construídos nos últimos dez anos, juntamente com uma listagem da localização dos mesmos. Com este dado poderia ser identificada a tipologia mais construída e, partindo disso, seria possível definir uma amostragem de uma tipologia específica e analisar os edifícios desta tipologia de uma determinada região da cidade, em que existisse a maior quantidade destas edificações. Contudo, estes dados também não foram encontrados. Como consequência, esta análise se tornou inviável, pois qualquer outra possibilidade não seria suficiente sobre a produção arquitetônica da cidade.

Decidiu-se, portanto, identificar um edifício em que tivesse havido uma preocupação inicial, ainda na fase de projeto, no que se refere às questões de conforto ambiental e eficiência energética<sup>14</sup>. Neste contexto, é nítida a preocupação dos arquitetos da Universidade Federal de Uberlândia que, a partir do momento em que se interrompeu a construção de blocos padronizados (figuras 19 e 20),

---

<sup>13</sup> Os dados foram buscados na Prefeitura Municipal de Uberlândia, CREA-MG, IAB-MG, Sinduscon, ACIA, CDL e Junta Comercial do Estado de Minas Gerais.

<sup>14</sup> Uma boa arquitetura deverá assistir o programa e a análise climática de forma a responder simultaneamente à eficiência energética e às necessidades de conforto (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

começaram a propor, em sua maioria, edifícios mais adequados ao local (figuras 21 e 22).



Figura 19 - Bloco 1G – Exemplo de tipologia padrão inicialmente construída nos campi da Universidade Federal de Uberlândia.



Figura 20 - Bloco 11 – Exemplo de tipologia padrão inicialmente construída nos campi da Universidade Federal de Uberlândia.



Figura 21 - Bloco 3M – Bloco dos cursos de Música e Artes cênicas. Exemplo de edifício em que houve uma preocupação com relação à adequação ao clima da cidade de Uberlândia - Campus Santa Mônica.



Figura 22 - Bloco 3D – Bloco do curso de Direito. Exemplo de edifício em que houve uma preocupação com relação à adequação ao clima da cidade de Uberlândia - Campus Santa Mônica.

Os edifícios novos, em fase de construção nos Campi Santa Mônica e Umuarama, apresentam as seguintes iniciativas: preocupação com a implantação e orientação da edificação, tratamento diferenciado das fachadas com relação às esquadrias e elementos de sombreamento (marquises, beirais, brises, cobogós, iluminação zenital), ventilação cruzada e efeito chaminé, etc (figura 23). Além destes, mesmo os edifícios de tipologia padrão têm sofrido diversas intervenções (*retrofit*) visando à adequação ao clima local (figura 24).



Figura 23 - Vista da maquete eletrônica do Bloco 5S em fase de construção no Campus Santa Mônica.



Figura 24 - Proposta de *retrofit* no Bloco 11, visando uma melhoria na iluminação natural no interior das salas de aula - Campus Santa Mônica.

Dentre os novos edifícios em fase de construção no Campus Santa Mônica foi escolhido o edifício de salas de aula “Bloco 5O” (figuras 26 a 32), que está em fase de conclusão de sua obra e tem seu projeto repetido uma vez no mesmo Campus Santa Mônica com algumas adequações (Bloco 5R) (figura 33), além de duas repetições no Campus da cidade de Ituituba-MG. O edifício foi projetado por seis professores da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFU: Maria Eliza Alves Guerra, Fernando Cruz Silva, Carlos Eduardo Duarte, Patrícia Pimenta Azevedo, Victor Aramis Berte e Marília Maria Brasileiro Teixeira Vale. A figura a seguir traz a localização dos dois blocos no Campus Santa Mônica (figura 25).



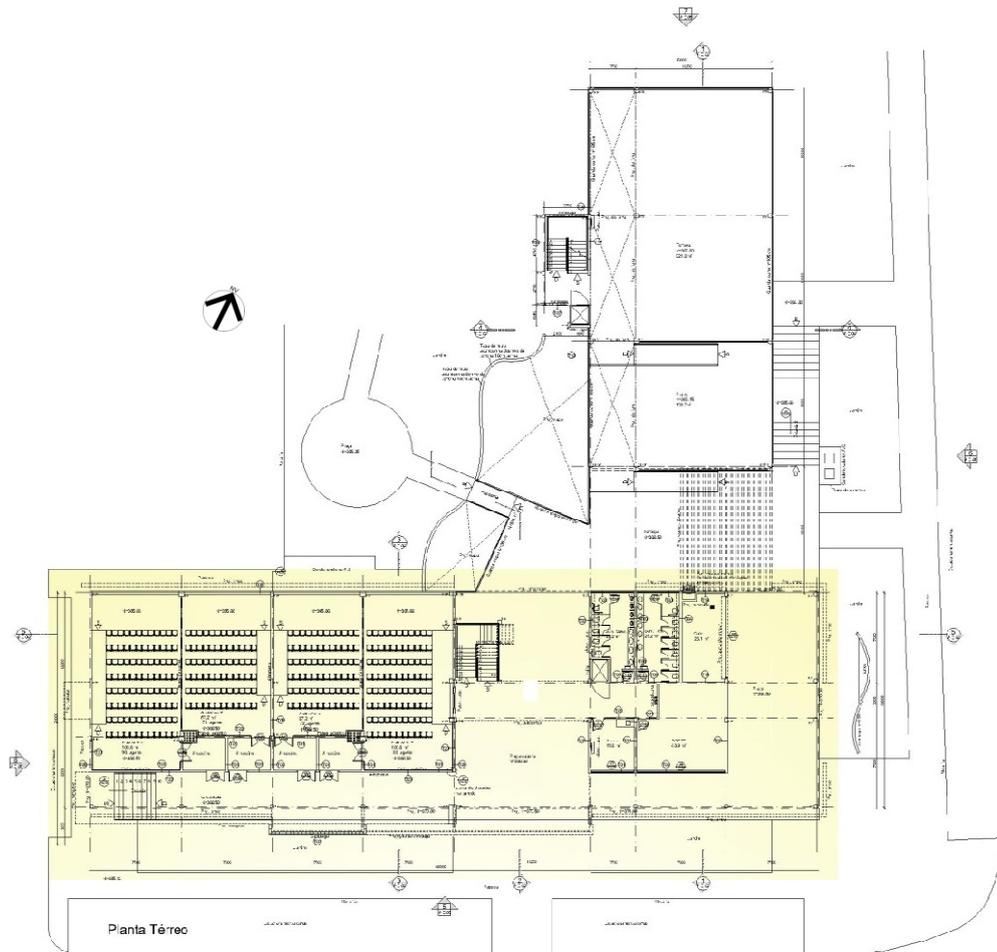


Figura 26 - Planta térreo do Edifício 50 “estudo de caso” destacando o Bloco A analisado.  
 Fonte: Diretoria de obras da Prefeitura de Campus, 2009.

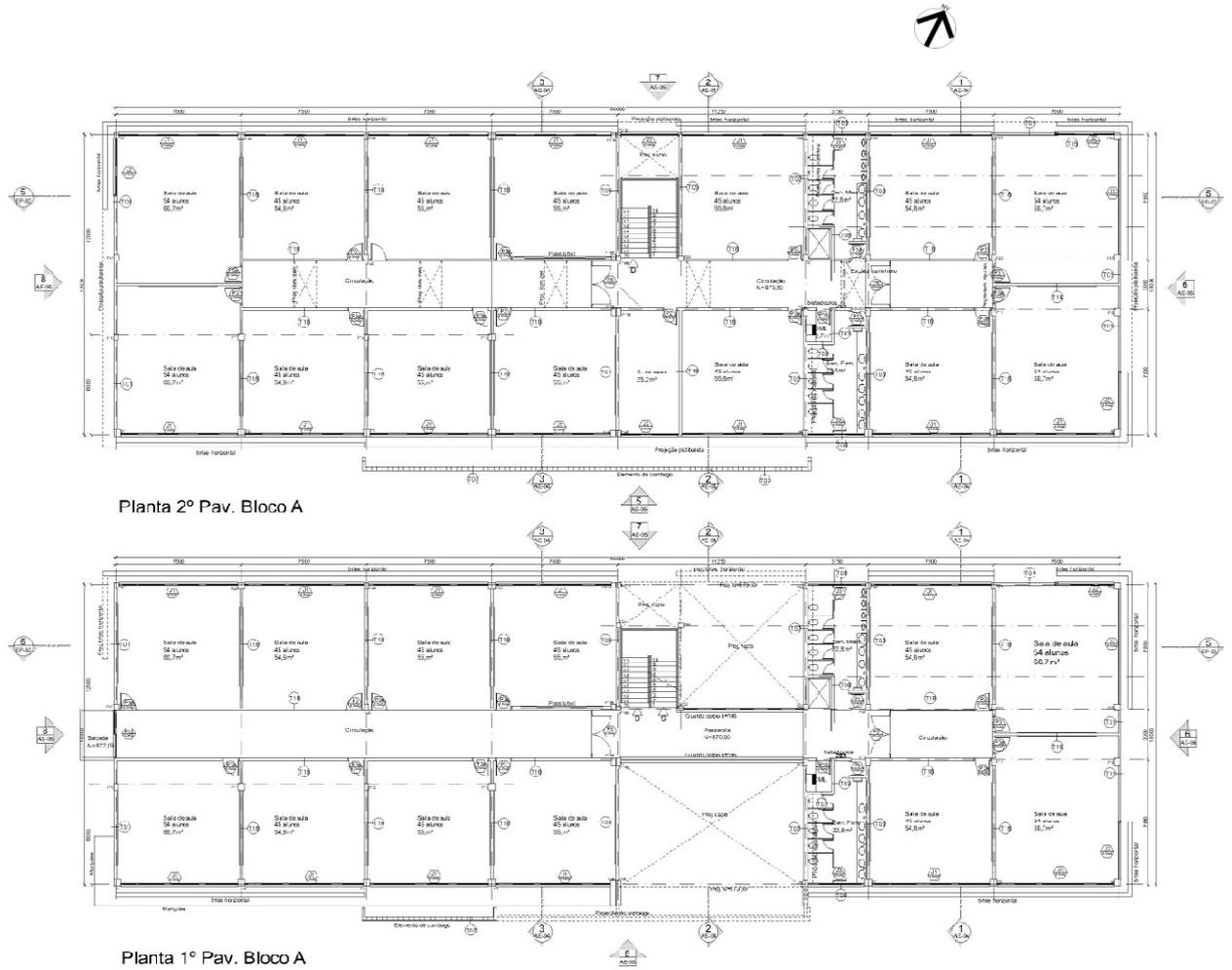


Figura 27 - Plantas do 1º e 2º Pavimento do Bloco A.  
 Fonte: Diretoria de obras da Prefeitura de Campus, 2009.



Figura 28 - Vista posterior do Bloco 50, destacando-se à direita o Bloco A e à esquerda o Bloco B. Nota-se que os blocos possuem orientação e características externas diferentes.



Figura 29 - Vista lateral do Bloco 50, destacando-se à direita o Bloco B e à esquerda o Bloco A. Em primeiro plano, o Bloco B onde são utilizados brises verticais, enquanto no Bloco A são utilizados brises horizontais.



Figura 30 - Vistas frontais do Bloco A com destaque para os brises à esquerda e os grandes beirais do pavimento térreo à direita.



Figura 31 - Vista frontal do Bloco A, destaque para o pátio e a estrutura metálica que receberá o cobogó.



Figura 32 - Vistas internas (bloco A): à esquerda detalhe do brise horizontal das salas de aula, à direita, detalhe da iluminação zenital (fechamento em forro colméia).



Figura 33 – Vista externa do Bloco 5R – repetição do projeto do Bloco 5O no Campus Santa Mônica.

O projeto e o memorial descritivo, bem como todas as informações necessárias, foram fornecidos pela DIROB – Diretoria de Obras da Prefeitura de Campus.

No anexo C é apresentado o projeto arquitetônico completo.

### **3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLTÓRIA E ESPAÇOS INTERNOS**

O bloco A, escolhido para análise, apresenta formato retangular, com plantas variadas a cada um dos seus três pavimentos. As plantas do térreo e do 1º pavimento são divididas em duas partes, ligadas por um pátio. Além disso, apresenta também um subsolo, onde existe apenas uma área de apoio - DML, depósito e sala técnica.

No térreo, foram implantados os auditórios, sanitários, área de apoio, sala para a prefeitura de campus e um café. No primeiro e segundo pavimentos distribuem-se as salas de aula e sanitários.

O bloco A foi implantado de modo que as maiores fachadas ficassem voltadas para norte e sul, orientações de menor incidência de radiação solar. Na tabela 17 segue a relação das áreas das fachadas por suas áreas de abertura, ou seja, o PAF de cada fachada:

Tabela 17 – Áreas das fachadas e aberturas e PAF de cada fachada

Fachadas	Área (m <sup>2</sup> )	Área de abertura (m <sup>2</sup> )	PAF (%)
Fachada norte	588,53	171,70	29,17
Fachada sul	562,28	162,01	28,81
Fachada leste	182,64	32,78	17,95
Fachada oeste	191,66	11,64	6,10

A edificação apresenta vários tipos de paredes em sua envoltória, definidas em projeto como T, conforme tabela 18:

Tabela 18 – Descrição das paredes externas (envoltória) do edifício em estudo (Bloco 5O)

PAREDES DA ENVOLTÓRIA do Bloco 5O	
Componente	Descrição
T1	Parede em tijolo furado (9 cm) + revestimento em reboco dos dois lados (2,5 cm). Espessura total do componente: 14 cm.
T2	Parede em tijolo furado (19 cm) + revestimento em reboco externo (2,5 cm) + revestimento cerâmico interno (4 cm). Espessura total do componente: 25,5cm.
T5	Parede em tijolo furado (19 cm) + revestimento em reboco dos dois lados (2,5cm). Espessura total do componente: 24 cm.
T8	Parede em tijolo furado (9 cm) +revestimento em reboco externo (2,5 cm) + revestimento cerâmico interno (4cm). Espessura total do componente: 15,5 cm.
T9	Bloco de concreto (19 cm) + revestimento em reboco dos dois lados (1,5 cm). Espessura total do componente: 22 cm.

As divisões internas são compostas de duas placas de gesso acartonado (12 mm) com isolamento de lã de vidro (50 mm).

Tanto na cobertura principal, quanto no lanternim, foi utilizada a Isotelha EPS, telha metálica tipo termoacústica, com enchimento em EPS (poliestireno expandido), na cor branca.

As lajes entre os pavimentos são do tipo nervuradas sendo que foi especificado abaixo delas um forro acústico, ficando um espaço de 35 cm entre o forro e parte mais distante entre as nervuras da laje.

Os fechamentos transparentes presentes na edificação são vidros e policarbonatos. Os vidros das aberturas são do tipo verde temperado de 8 mm. O policarbonato presente nas aberturas laterais e zenitais do lanternim é do tipo alveolar branco leitoso.

Com exceção das janelas do pavimento térreo e de algumas janelas da fachada sul que possuem cobogós, todas as janelas possui brises horizontais formado por lâminas de alumínio pintadas de branco<sup>15</sup>.

O cobogó em bloco de concreto vazado na fachada sul será instalado à frente de cinco janelas (ver estrutura metálica para instalação dos cobogós na figura 31).

O piso da edificação é o piso vinílico e a edificação é predominantemente branca.

O edifício é predominantemente ventilado naturalmente. Apenas os auditórios possuem ar-condicionado.

### 3.3. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA – MÉTODO PRESCRITIVO

Para calcular a eficiência da envoltória a partir do método prescritivo do RTQ-C é necessário calcular o indicador de consumo da envoltória (ICenv) com os dados da edificação, a partir da equação escolhida.

Existem duas fórmulas para cada zona bioclimática, uma para  $A_{pe} > 500m^2$  e outra para  $A_{pe} \leq 500m^2$ . Neste caso, assumiu-se que o edifício está localizado na Zona Bioclimática 4 (de acordo com definição do programa ZBBR 1.1). Como este possui área de projeção maior que  $500m^2$  foi usada a seguinte equação, que possui fator de forma máximo ( $A_{env}/V_{tot}$ ) livre (equação 27).

$$IC_{env} = 511,12 \cdot FA + 0,92 \cdot FF - 95,71 \cdot PA_{ft} - 99,79 \cdot FS - 0,52 \cdot AVS - 0,29 \cdot AHS - 380,83 \cdot FA \cdot FF + \frac{4,27}{FF} + 729,20 \cdot PA_{ft} \cdot FS + 77,15 \quad \text{Equação 27}$$

Antes da extração dos dados foi discutida e analisada a inserção ou não do subsolo nos cálculos. De acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2010, p.29), no cálculo de FA e FF (fator de altura e fator de forma), considera-se para o cálculo subsolos semienterrados com ambientes de permanência prolongada, devendo ser consideradas para o cálculo as paredes que não estão em contato com o solo.

<sup>15</sup> O interior do brise é protegido por poliuretano expandido, o que garante propriedades termoacústicas.

No edifício analisado, o subsolo é semienterrado, mas não possui ambientes de permanência prolongada, portanto, foi desconsiderado dos cálculos de etiquetagem e conseqüentemente excluído do processo de simulação.

Foram seguidos todos os procedimentos descritos para este método no RTQ-C (INMETRO, 2010).

Além da obtenção da etiqueta da envoltória para os métodos simulação e prescritivo do RTQ-C, objetivou-se comparar estes dois métodos para entender as diferenças entre os resultados obtidos em ambos para o estudo de caso.

Visando à comparação, será realizada a simulação do POC – Percentual de horas ocupadas em conforto, necessário para comprovar que as áreas não condicionadas proporcionam temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas.

### **3.4. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA – MÉTODO SIMULAÇÃO**

Atendidos os pré-requisitos quanto ao programa e arquivo climático utilizado na simulação, deu-se início à construção dos modelos: real e de referência.

A tabela a seguir apresenta a síntese das características dos modelos desenvolvidos para obtenção da etiqueta parcial da envoltória (tabela 19).

Tabela 19 – Síntese das características do Modelo Real e do Modelo de Referência para etiqueta parcial da envoltória

Características do edifício	Modelo de referência	Modelo Real
Geometria - dimensões	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Orientação	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Carga interna (DCI)	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Padrão de uso: Equipamentos e Pessoas	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Sistema de condicionamento de ar	Atender as tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 do RTQ-C Utilizar COP igual ao modelo de referência (INMETRO, 2010)	Atender as tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 do RTQ-C Utilizar COP igual ao modelo de referência (INMETRO, 2010)
Envoltória PAZ PAFt AVS e AHS Tipo de vidro Fator solar Transmitância térmica Absortância solar	Se existe no real: PAZ= 2% <sup>16</sup> Calcular através do IC AVS = AHS = 0 Vidro simples, 3 mm FS=0,87 Máx. p/ eficiência desejada Máx. p/ eficiência desejada	Igual ao edifício proposto
Sistema de iluminação	DPI máx. p/ eficiência desejada – Tabela 4.1 ou 4.2 do RTQ-C (INMETRO, 2010)	DPI máx. p/ eficiência desejada – Tabela 4.1 ou 4.2 do RTQ-C (INMETRO, 2010)

Fonte: Adaptado do Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C (LABEEE et al, 2010)

No caso em estudo, os sistemas de ar-condicionado e de iluminação se mantêm constantes nos dois modelos e são baseados nos níveis mínimos de eficiência pretendida, de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2010).

O primeiro modelo construído foi o modelo real, uma vez que a partir dele as modificações necessárias foram realizadas para dar origem ao modelo de referência.

Neste caso, como o método prescritivo apresentou etiqueta A, espera-se que o método da simulação confirme a mesma etiqueta. Sendo assim, não serão criados todos os modelos de referência, mas inicialmente o modelo de referência A. Caso seja necessário, os demais modelos serão construídos. Esta decisão foi tomada devido ao grande tempo consumido nas modelagens e na simulação.

Na simulação, o dado de saída requerido deverá ser relativo ao consumo energético do edifício e, assim, será possível comparar o consumo dos dois modelos, o modelo real e o modelo de referência, identificando a etiqueta.

<sup>16</sup> O RTQ-C indica que se o PAZ for maior que 5% no modelo real, os modelos de referência A e B devem possuir PAZ de 2% com vidro claro e fator solar de 0,87. No caso do edifício analisado o PAZ não é maior que 5%, portanto não se enquadra na exigência, sendo assim, o PAZ e o FS do modelo de referência deverá ficar como no modelo real.

Para ser classificado como etiqueta A, o modelo real deverá ter necessariamente um consumo energético menor que o modelo de referência A.

Ressalta-se aqui que o modelo real também será simulado visando à obtenção do POC – percentual de horas ocupadas em conforto e, neste caso, os dados requeridos na simulação são: temperatura do ar e temperatura radiante.

### 3.4.1. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS VIRTUAIS

A construção dos modelos se deu na seguinte sequência, de acordo com Venâncio; Pedrini (2009):

1. Configuração do sítio: defini-se a localização do projeto (*location*) e inseri-se o arquivo climático horário;
2. Construção da geometria (modelo real e de referência): a geometria do edifício é definida usando-se as ferramentas disponíveis no programa<sup>17</sup>;
3. Configuração do modelo: aqui são definidos os tipos de cálculos conforme os resultados esperados, bem como as simplificações e configurações específicas da simulação;
4. Modelagem: entrada de dados de ocupação, sistemas construtivos, aberturas, equipamentos, iluminação e ar-condicionado<sup>18</sup>;
5. Simulação prévia: configurar o piso como adiabático e realizar a simulação;
6. Configuração do piso (*ground*): as temperaturas do piso encontradas na simulação prévia são inseridas aqui;
7. Simulação do consumo energético visando obtenção do nível de eficiência energética da edificação;
8. Simulação visando à obtenção do POC.

A seguir cada uma das etapas da modelagem do edifício de salas de aula “Bloco 5O” é descrita.

---

<sup>17</sup> Construção da geometria: criar novo edifício (*add building*); subdividir os blocos em zonas; criar novos blocos ou componentes (se necessário); construir aberturas; editar, se preciso a geometria do edifício através de comandos de fatiar, estender ou alongar.

<sup>18</sup> Para evitar erros, a modelagem de cada um desses grupos de variáveis deve começar no nível *Building*. As especificidades de cada zona devem ser alteradas após a seleção da zona na barra de navegação (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009, p.10).

### 3.4.1.1. CONFIGURAÇÃO DO SÍTIO

A aba *location* do programa *DesignBuilder* define a localização do projeto e possui atributos que compõem a maioria das propriedades do sítio. Dentre estas, a mais importante para a simulação é a definição do arquivo climático horário a ser utilizado.

Quando se trata de arquivos climáticos existentes, o banco de dados do programa *DesignBuilder* possui links para arquivos climáticos (*hourly weather*) de diversas localidades no Brasil e em diversos países, os quais poderão ser instalados por *download* quando são solicitadas as simulações.

Neste caso, o arquivo climático horário criado para Uberlândia foi inserido.

A inserção do novo arquivo climático segue as seguintes etapas:

1. Abre-se a pasta *C:\Documents and Settings\All Users\Dados de aplicativos\DesignBuilder\Weather Data*;
2. Cola-se o arquivo \*.epw referente ao arquivo climático de Uberlândia nesta pasta;
3. Seleciona-se na tela de abertura do programa a aba *component libraries* (figura 34);
4. Seleciona-se na lista de diferentes bibliotecas o componente *Hourly weather*, referente aos arquivos climáticos;
5. Seleciona-se o país;
6. Acessa-se *+ add new hourly weather* na barra de ajuda;
7. Preenchem-se os dados solicitados a respeito da cidade como latitude e longitude;
8. Adiciona-se o arquivo \*.epw.

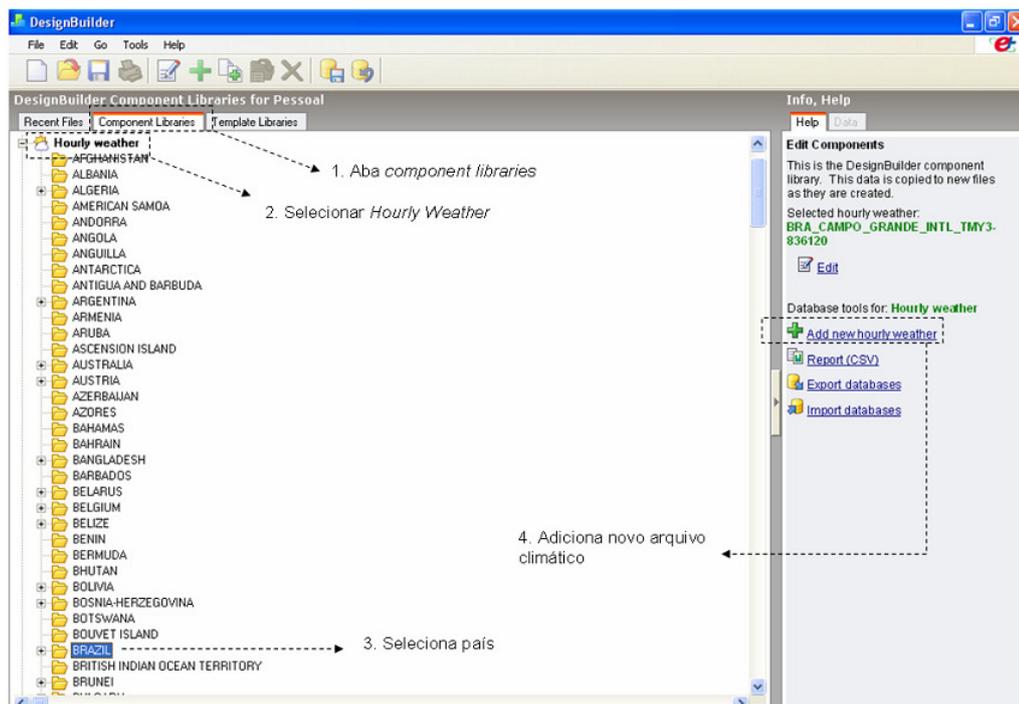


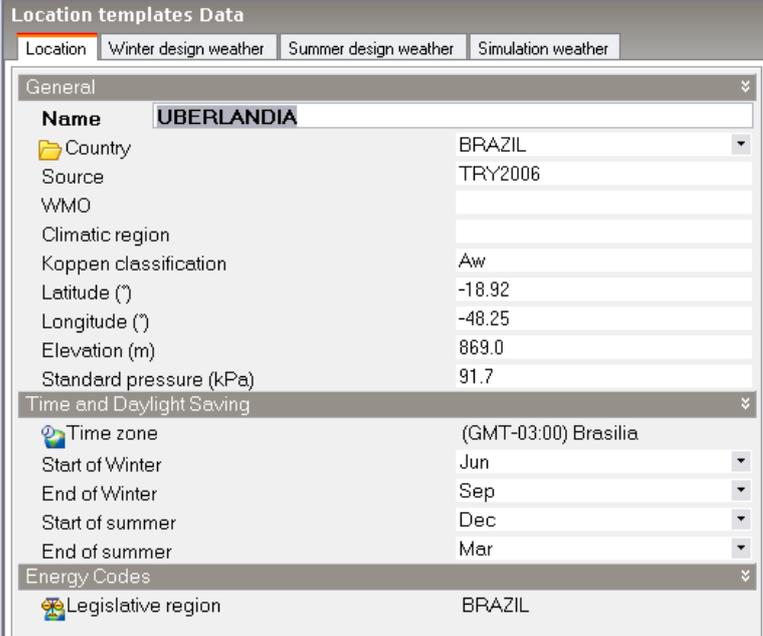
Figura 34 - Inserção de um novo arquivo climático  
 Fonte: Venâncio; Pedrini (2009, p.15)

Pode ocorrer que o programa não encontre o arquivo \*.stat. Neste caso, aparecerá a seguinte mensagem: *Could't find \*.stat file: C:\Documents and Settings\All Users\Dados de aplicativos\DesignBuilder\Weather Data\Uberlandia TRY2006\_01epw.stat. You can create a perfectly valid hourly weather data set for E+ without a \*.stat file, but you will not get access to info on the Summer and winter typical and design weeks in DB. See program help for information on creating \*.stat files from \*.epw files.*

O processo deve ser então cancelado, e o arquivo \*.stat deve ser copiado para a pasta *C:\Documents and Settings\All Users\Dados de aplicativos\DesignBuilder\Weather Data*, repetindo-se os itens de 3 a 8.

O próximo passo é abrir um novo projeto e criar a localidade de Uberlândia. Para isso:

- Clica-se na aba *location* (localização);
- A pasta do país é escolhida;
- Dentro desta pasta clica-se em uma cidade qualquer solicitando uma cópia da mesma, pois somente assim é possível editar e criar uma nova localidade;
- Seleciona-se a cópia da cidade e a opção editar;
- A janela a seguir é disponibilizada para criação da nova localidade (figura 35).



Location templates Data	
Location   Winter design weather   Summer design weather   Simulation weather	
General	
Name	UBERLANDIA
Country	BRAZIL
Source	TRY2006
WMO	
Climatic region	
Koppen classification	Aw
Latitude (°)	-18.92
Longitude (°)	-48.25
Elevation (m)	869.0
Standard pressure (kPa)	91.7
Time and Daylight Saving	
Time zone	(GMT-03:00) Brasilia
Start of Winter	Jun
End of Winter	Sep
Start of summer	Dec
End of summer	Mar
Energy Codes	
Legislative region	BRAZIL

Figura 35 - Janela de criação da localidade Uberlândia, aba location.

Nota-se que nesta janela (figura 35) não foram preenchidos os dados WMO (codificação referente à *World Meteorological Organization*) e *Climatic region*, uma vez que não estavam disponíveis<sup>19</sup>.

Nas abas *Winter design weather* e *Summer design weather* são inseridos dados estatísticos obtidos no arquivo \*stat. Estas informações não se alteram meramente após a inserção do arquivo \*stat no *C:\Documents and Settings\All Users\Dados de aplicativos\DesignBuilder\Weather Data*. Os dados do *template* (modelo) utilizado para fazer a nova localidade permanecem e é necessário editar manualmente.

A parte mais importante da criação da localidade é justamente a aba referente à *simulation weather* onde é selecionado o arquivo climático horário daquela localidade (figura 36).

<sup>19</sup> Ressalta-se o fato informado pelo INMET (2011) de que as nossas estações meteorológicas automáticas de superfície não receberam codificação internacional (número sinótico) e possuem apenas uma codificação nacional.

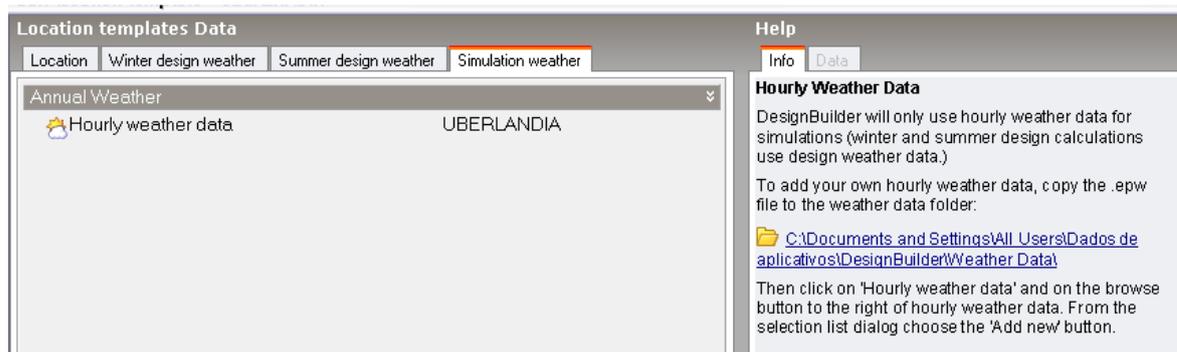


Figura 36 - Janela de criação da localidade Uberlândia, aba *simulation weather*, referente ao arquivo climático horário

Volta-se para a aba *location* (localização) (figura 37). Resumem-se abaixo as alterações realizadas:

- *Location template* (padrão de localização): foi criado um *template* (padrão) para a cidade de Uberlândia (conforme descrição);
- *Site location* (localização do sítio): foram inseridas a latitude e longitude de Uberlândia;
- *Site details* (detalhes do local): foram inseridos os dados da altitude e da orientação da edificação;
- *Ground* (piso): foram modificados os dados referentes à temperatura do piso;
- *Time and daylight saving* (fuso horário e horário de verão): em *time zone* foi definido o fuso horário GMT-3:00 referente a Brasília e o horário de verão não deve ser considerado;
- *Simulation Weather Data* (arquivo climático de simulação): foi escolhido o arquivo horário de simulação da cidade de Uberlândia;
- *Winter Design Weather Data e Summer Design Weather Data* (temperaturas de projeto para inverno e verão): foram inseridos os dados obtidos no arquivo \*stat.

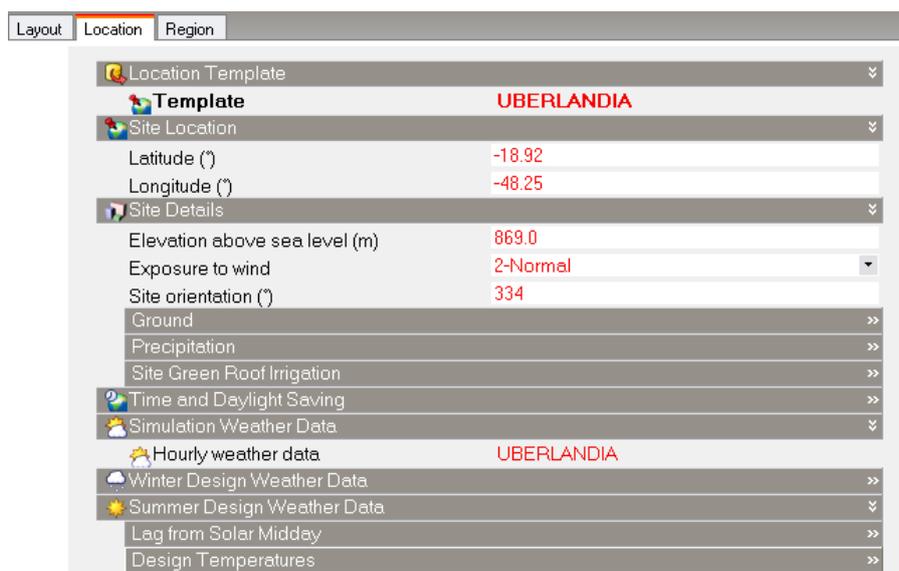


Figura 37 - Barra de variáveis da locação do sítio.

### 3.4.1.2. CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA DO MODELO REAL

Antes de iniciar a modelagem na interface gráfica do programa é necessário fazer um planejamento desta modelagem para identificar as principais características a serem modeladas. É importante destacar que em uma modelagem termoenergética não é necessário que se modele detalhadamente o edifício como para uma apresentação de projeto. Na modelagem termoenergética modela-se pensando nas características físicas do objeto em questão, ou seja, no comportamento térmico e energético dos materiais, portanto muitas simplificações podem ser realizadas. É importante também durante o processo de modelagem testar o modelo com simulações periódicas para não se incorrer em erros depois de finalizado o mesmo.

O modelo é iniciado a partir do ícone  *add new building* (criar novo edifício), sendo escolhida a opção *draw building + standard data* (desenho do edifício + dados padrões) permitindo uma liberdade na criação dos blocos, zonas e superfícies. O segundo passo é a importação do desenho em “2D” do pavimento térreo do programa AUTOCAD e em seguida a configuração dos parâmetros do desenho: tipo de bloco, pé-direito e a espessura das paredes, através do campo

*Drawing Options* (opções de desenho) localizado no campo inferior esquerdo da tela pelo acionamento do ícone .

O edifício pode ser modelado a partir de três tipos de blocos (VENÂNCIO;PEDRINI, 2009, p.19):

*Building block*: são usados para desenhar a edificação ou partes dela.

*Outline block*: são blocos que não afetam o modelo. Apresenta maiores possibilidades de modelagem e podem ser convertidos em Building blocks, passando a fazer parte do modelo.

*Component blocks*: são utilizados para criar estruturas volumétricas que não contém zonas.

Na sequência, a partir dos eixos x,y e z é circundado o desenho em “2D” da planta baixa, referente ao térreo da edificação, para inserção das paredes externas.

O edifício estudo de caso apresenta pavimentos diferenciados, portanto nenhum se repete. Com o térreo modelado como referência, continuou-se a modelagem a partir dele. Na sequência são modeladas as paredes externas dos outros dois pavimentos.

Para representar o lanternim um novo bloco foi criado acima da cobertura. Esta, por ser aproximadamente plana, foi considerada como plana para simplificar o processo de modelagem.

Em seguida, são desenhados os elementos de sombreamento, como beirais e marquises, utilizando neste caso o tipo de bloco denominado *component blocks*.

Após a seleção do bloco, a barra de ferramentas se modifica aparecendo os ícones   referentes às *partitions*, que são as divisões internas da edificação que definem também as zonas térmicas.

Quanto maior a quantidade de zonas, mais complexo e longo se torna o processo de simulação, por isso, é necessário avaliar o que pode ser simplificado.

Como o objeto de estudo é um edifício de salas de aula, portanto com muitas divisões internas e também devido ao fato do programa calcular apenas o ponto central de cada zona térmica, optou-se por desenhar o máximo de zonas possíveis, simplificando em poucos casos e tomando cuidado para que as zonas não ficassem muito grandes.

Mesmo nos casos em que houve simplificação unindo-se duas ou mais salas, as divisões internas foram desenhadas sem fechar totalmente o ambiente, ou seja, a poucos milímetros da parede oposta, pois desta forma a massa térmica interna é

calculada configurando-se apenas como uma única zona (ver figura 38). Assim, a parede aparece na cor azul, indicando que se trata apenas de uma zona.

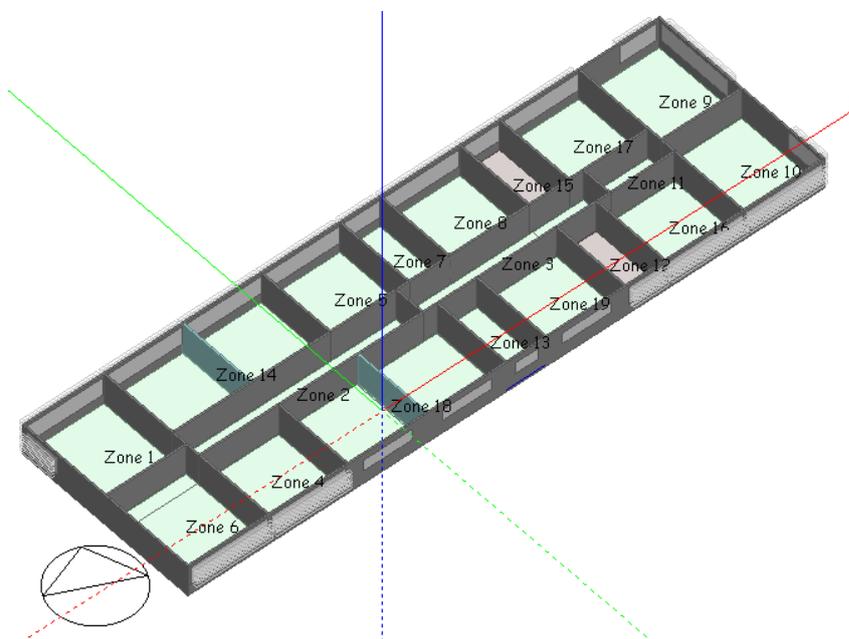


Figura 38 - Edição das zonas no 2º pavimento.

Em seguida, as aberturas devem ser inseridas. As janelas foram desenhadas uma a uma para cada ambiente. No caso em estudo, as janelas que ficam atrás do cobogó, no projeto original, foram desenhadas bem menores, correspondendo às dimensões que teria cada parcela de abertura atrás de cada um dos vazados do cobogó. A modelagem do cobogó tornou-se inviável, pois cada uma das faces de cada cobogó teria que ser construída para representá-lo, isso deixaria o modelo excessivamente pesado. Esta, portanto, foi outra simplificação realizada: uma vez que a principal interferência do cobogó, de acordo com o método prescritivo do RTQ-C, é diminuir o PAF das janelas citadas, elas foram reduzidas até chegar à proporção calculada.

As aberturas zenitais dos corredores do 2º pavimento foram feitas como *holes* (buracos), pois não foi possível criar o elemento referente ao forro colméia das aberturas zenitais. No lanternim, as aberturas foram feitas na cobertura como janelas, bem como nas fachadas laterais.

As portas não foram inseridas por terem pouquíssima influência no comportamento térmico dos ambientes.

### 3.4.1.3. CONFIGURAÇÃO DO MODELO PARA SIMULAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO E DO POC

Após a definição das aberturas é feita a configuração do modelo acessando o ícone , referente à *model options data* (opções de dados para o modelo). Estas configurações podem modificar alguns itens das barras de variáveis, portanto é aconselhável que sejam definidas antes.

As definições da aba *Data* (dados) para simulação do consumo energético do edifício visando à comparação entre os modelos real e referência no caso em estudo foram as seguintes (figura 39):

- *SCOPE*: delimita o universo da análise (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009). Neste caso o nível escolhido foi o *building* em que toda a edificação é analisada.
- *CONSTRUCTION AND GLAZING DATA*: controla a forma como os *templates* (modelos) de construção são carregados e como a combinação de sistemas construtivos de cobertura/forro é realizada (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009). Neste caso, optou-se por *general*, em que os *templates* são selecionados a partir da lista de *templates*. Quanto à representação piso/laje/forro optou-se por *separate* (separada), selecionando apenas o item *ceiling voids included in zone volume*, uma vez que existe um forro acústico suspenso.
- *GAINS DATA*: apresenta os níveis de detalhamento dos ganhos térmicos internos (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009). Neste caso, selecionou-se *early*, em que os ganhos térmicos podem ser definidos em várias categorias (ocupação, iluminação, etc).
- *TIMING*: podem-se especificar rotinas (*schedules*) usando duas abordagens (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009). Neste caso, optou-se por *schedules*, em que as rotinas reproduzem de forma mais detalhada os processos de ocupação através de valores fracionários, variações nos dias da semana ou meses (*schedule 7/12*).
- *HVAC*: os sistemas de climatização podem ser definidos usando dois níveis de detalhamento. Neste caso, optou-se por *simple*, em que o dimensionamento da climatização das zonas é modelado com uma ampla margem de segurança. Em *sizing* a opção escolhida foi *autosize*, em que as

capacidades de aquecimento e resfriamento das zonas são calculadas e não é mostrada a opção de alterar a capacidade dos sistemas (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009).

- **NATURAL VENTILATION:** existem duas maneiras de cálculo da ventilação natural. Neste caso, optou-se por *scheduled* em que as taxas de ventilação são previamente definidas, usando um valor fixo para as taxas de renovação de ar. O outro modo, o *calculated*, aumenta muito a complexidade do modelo e o tempo de simulação, sendo recomendado em modelos que tenham zonas ventiladas naturalmente e que a análise das taxas de renovação de ar seja relevante (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009).

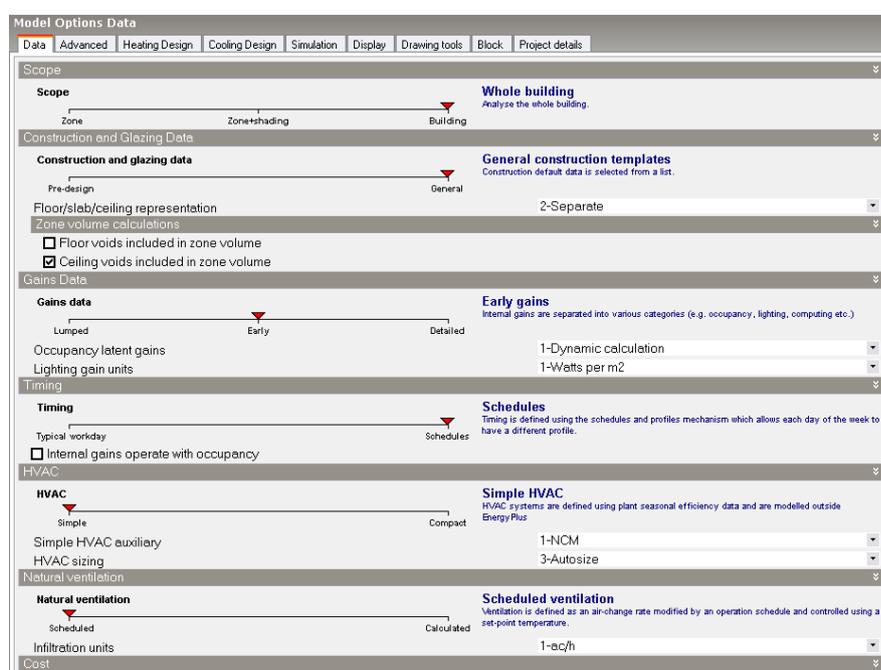


Figura 39 - Opção de dados da aba *Data* para simulação do consumo energético.

O modo *calculated* seria o mais adequado para ventilação natural levando-se em consideração as características do edifício modelado. No entanto não foi possível utilizá-lo, pois aconteceram erros<sup>20</sup>.

Estes itens foram definidos após várias tentativas de simulação em que se tentou definir um maior número de detalhes, resultando em simulações mais complexas com maior quantidade de cálculos. No entanto, a quantidade de erros

<sup>20</sup> Foi realizada a tentativa de se obter o consumo energético utilizando-se o método *calculated* para ventilação natural, que seria mais adequado para um edifício onde predomina a ventilação natural. A simulação rodou, originando vários dados de saída, com exceção dos dados de consumo energético. Como neste caso não foi fornecido pelo programa nenhum relatório de erros, não foi possível compreender o motivo do problema em questão.

oriundos destas tentativas, além do tempo gasto nas simulações, inviabilizou esta simulação.

Além destas questões, a metodologia de simulação no *DesignBuilder* recomenda a realização de uma simulação prévia mensal para obter as temperaturas mensais do piso (*ground*). Nesta, o piso térreo do edifício é considerado não adjacente ao chão, pois assim as temperaturas mensais (*default*) de 14°C do piso não influenciam na simulação.

As definições da aba *Data* para simulação do POC – Percentual de horas ocupadas em conforto do edifício foram as seguintes, para o caso em estudo (figura 40):

- **SCOPE:** foi escolhido o nível *zone*, pois cada zona não condicionada de permanência prolongada foi simulada individualmente.
- **NATURAL VENTILATION:** optou-se por *calculated*, mais indicada neste caso em que a edificação é predominantemente ventilada naturalmente<sup>21</sup>.

Os demais itens da aba *Data* se mantiveram como na configuração, visando o consumo energético da edificação.

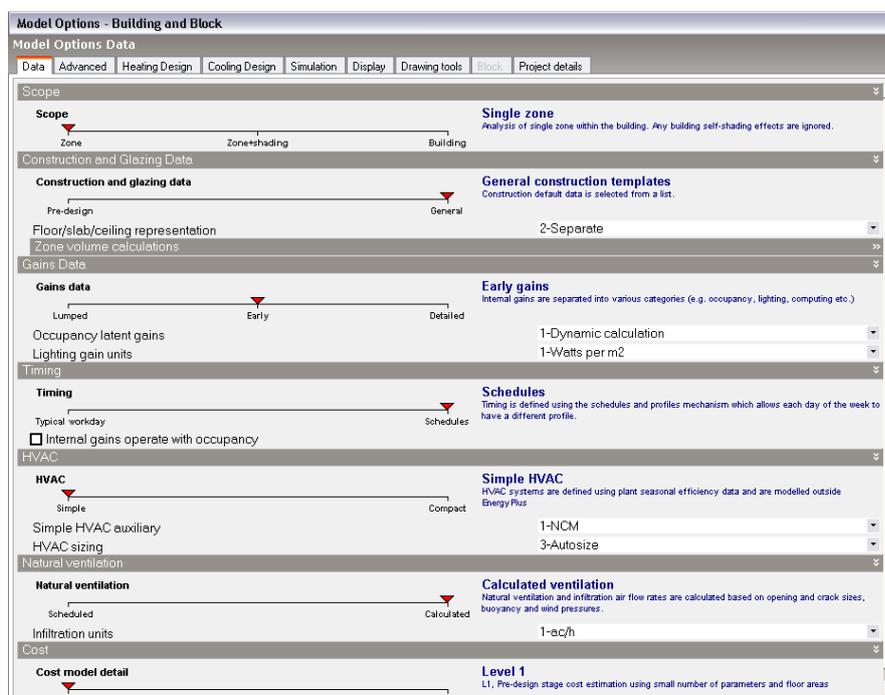


Figura 40 - Opções da aba *Data* para simulação do POC

<sup>21</sup> Neste caso da simulação da ventilação natural, foi possível utilizar o método CALCULATED.

### 3.4.1.4. MODELAGEM DO MODELO REAL

Após a configuração do modelo na barra de variáveis *model options data*, volta-se para o nível *building*, onde se inicia a entrada de dados de ocupação, sistemas construtivos, aberturas, equipamentos, iluminação e ar-condicionado.

Para evitar erros, a modelagem de cada um desses grupos de variáveis deve começar no nível *Building*, sendo que as especificidades de cada zona devem ser alteradas após a seleção da zona na barra de navegação (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009, 10).

O primeiro item a ser definido é *activity* (atividade), relacionado à atividade exercida no local.

Inicialmente, foram escolhidos os *templates* (modelos) que se enquadrassem nas atividades de um edifício de salas de aula: *template classroom* (sala de aula), *template toilet* (banheiros), *template food preparation area* (café), *template Office and consulting areas* (prefeitura de campus), *template hall/lecture theatre/assembly area* (auditórios), *template unoccupied* (áreas não ocupadas, como o lanternim).

Em ocupação, é inserida a densidade de ocupação (pessoas/m<sup>2</sup>). Esta foi definida baseando-se na quantidade de alunos que as salas comportam pela área das salas: 0,81 pessoas/m<sup>2</sup>. No caso do auditório, da mesma forma; a quantidade de pessoas que o auditório comporta por sua área: 0,83 pessoas/m<sup>2</sup>. Para os demais usos da edificação a densidade de pessoas utilizada foi o *default* (valor padrão) referente ao *template* (modelo). Também em ocupação, é criada a rotina de ocupação do edifício (*Schedule*) (figura 41):

M...	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Jan	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
Apr	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
May	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
Jun	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Aug	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
Sep	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
Oct	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
Nov	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off
Dec	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50	BLOCO 50 ...	Off

Figura 41 - Rotina estabelecida para o edifício de salas de aula Bloco 5O.

A rotina da figura 41 foi criada especificamente para o edifício estudo de caso. Como se trata de um edifício de salas de aula de uma universidade federal, considerou-se os meses de janeiro, fevereiro e julho como férias, por isso *off*. Durante a semana, de segunda a sexta, foi definido o horário de aula, das 7h às 22h (Bloco 5O), compreendendo os turnos matutino, vespertino e noturno. Aos sábados, as aulas acontecem das 8h às 18h (Bloco 5O sábado), portanto, outra definição para os horários foi estabelecida. Aos domingos, como não acontece nenhuma atividade também se definiu *off*.

Para a barra *metabolic* (metabolismo), as definições foram determinadas por atividades já existentes no programa que mais se aproximavam da realidade. Para Lamberts; Carlo (2007, p. 7) a atividade sedentária de escritório e escola possui um metabolismo de 70 W/m<sup>2</sup> de pele. O *DesignBuilder* indica que a área de um homem adulto é de 1,8m<sup>2</sup>, o que dariam 126 W/pessoa. Assim foi definida a atividade *light office work* com 120 W/pessoa para as salas de aula e auditórios. Nos demais usos manteve-se as atividades definidas pelos próprios *templates*. Por exemplo, para o *template food preparation area* (área de preparação de comida - lanchonete) a atividade compatível é *light manual work*, com 180W/pessoa.

Para os auditórios, no item *cooling setpoint* foi definida a temperatura de 24°C. “Os sistemas de controle de ar-condicionado no Brasil são programados para

manter a temperatura de *setpoint* do ar interno a 23°C ou 24°C” (SUZUKI, 2010, p. 38). A mesma temperatura de *setpoint* foi definida para ventilação natural.

Em *minimum fresh air* (renovação mínima de ar), os valores foram estabelecidos baseados na NBR 16401-3 (ABNT, 2008). Esta, no item referente à ventilação, estipula a vazão mínima de ar exterior de qualidade aceitável a ser suprida pelo sistema para promover a renovação de ar interior e manter a concentração dos poluentes no ar em nível aceitável. Apresenta uma tabela de vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação, onde estabelece dentre outros o valor mínimo de vazão de ar por pessoa em L/s\**peessoa*, de acordo com a atividade local.

A tabela 20 resume os níveis utilizados:

Tabela 20 – Nível mínimo de ar externo para ventilação

Atividade	Nível 1 L/s* <i>peessoa</i>
Escritório	2,5
Sala de aula	5,0
Café	3,8

Fonte: NBR 16401 – 3 (ABNT, 2008, p.5)

Estes valores foram inseridos na aba *activity*, no item *minimum fresh air*.

Em *target illuminance* (lux) foram definidos os valores médios da NBR 5413 (ABNT, 1991) para as atividades em questão. Para *lighting density* (W/m<sup>2</sup>) foram estabelecidos os valores definidos no RTQ-C (INMETRO, 2010, p. 42) (tabela 21).

Tabela 21 – Níveis mínimos de iluminância e valores de densidades de iluminação para as atividades desenvolvidas no edifício “estudo de caso”

Atividade	Iluminância requerida (lux)	Densidade de luz típica para a atividade W/m <sup>2</sup>
Salas de aula	300	10,7
Auditórios	300	10,7
Sanitários	150	10,7
Lanchonete	200	10,0

Fonte: NBR 5413 (ABNT, 1991) e INMETRO (2010)

As demais cargas térmicas não existem, uma vez que se trata de salas de aula comuns sem equipamentos ou computadores.

Depois de configurado o item *activity* (atividade realizada no local), o próximo item é *construction*, referente aos materiais da edificação. Nesta etapa são definidas as propriedades físicas e a configuração das superfícies externas e internas das zonas: parede, teto, piso, janelas, aberturas zenitais e elementos de sombreamento.

O programa *DesignBuilder* possui uma biblioteca extensa de componentes e materiais construtivos, de fácil aplicação, podendo-se visualizar as alterações em suas dimensões e propriedades térmicas. Também é possível configurar opções não existentes, copiando-se as características de um componente da biblioteca que sirva de base para um modelo semelhante, ou mesmo criando um novo, com características totalmente diferentes, desde que se informe as propriedades térmicas exigidas.

O cálculo das propriedades térmicas de sistemas construtivos é baseado em camadas, sendo que cada camada (no *DesignBuilder: layer*) está associado aos materiais correspondentes e suas espessuras (LIMA, 2007).

Para alguns componentes, principalmente as paredes, quando os materiais e suas espessuras são inseridos de acordo com as camadas do componente (projeto), a transmitância térmica resultante é diferente do valor indicado pela NBR15220 – 3 (ABNT, 2005), bem como dos valores calculados de acordo com a metodologia da NBR15220 – 2 (ABNT, 2005). Sendo assim, pode ser necessária a utilização, na barra de ajuda, da opção *Set U-value*, onde é possível inserir o valor da transmitância desejada. A absorvância da superfície também foi alterada de acordo com a cor real dos materiais.

Também na aba *construction* é definido um valor para *airtightness*, onde são configuradas as taxas de infiltração no modo *scheduled* ou calculadas no modo *calculated*. Neste caso, foi definido o valor de 3ac/h (trocas de ar por hora) no modo *scheduled*. Este item trata-se de um dos aspectos mais incertos de se determinar na simulação. Lima (2011) indica 3 ac/h (trocas de ar por hora) como uma forma de contabilizar as aberturas das portas não modeladas.

Na sequência, na aba *openings* (aberturas) é definido o tipo de vidro e esquadrias das janelas modeladas, bem como o tipo de sombreamento (*shading*) destas janelas. Para isso, foi criado o vidro *Sgl Green* 8 mm Bloco 50 (ver figura 42), relativo ao vidro verde temperado de 8 mm utilizado na edificação<sup>22</sup>. Após determinadas as características solicitadas, o programa calcula o valor da transmitância térmica do vidro (*U-value* em W/m<sup>2</sup>K).

---

<sup>22</sup> A criação deste vidro só foi possível devido à colaboração da Cebrace que calculou e forneceu sua especificação técnica após solicitação, devido ao fato de não haver catálogos deste vidro disponível no site da empresa.

Edit glazing - Sgl Green 8mm bloco 50	
Glazing Data	
Layers	Calculated
Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.571
Direct solar transmission	0.408
Light transmission	0.713
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	5.646
<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>5.703</b>

Figura 42 – Características do vidro verde 8 mm - *Sgl Green* 8 mm Bloco 50 e transmitância térmica (*U-value*) calculada pelo programa.

Os brises também são criados na seção *local shading*, conforme o projeto, de acordo com suas dimensões e especificações de materiais (figura 43). Foram considerados completamente abertos<sup>23</sup> (ver figura 44).

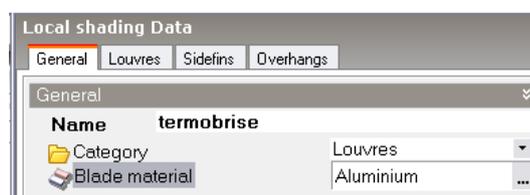


Figura 43 – Características gerais dos brises inseridas no programa.

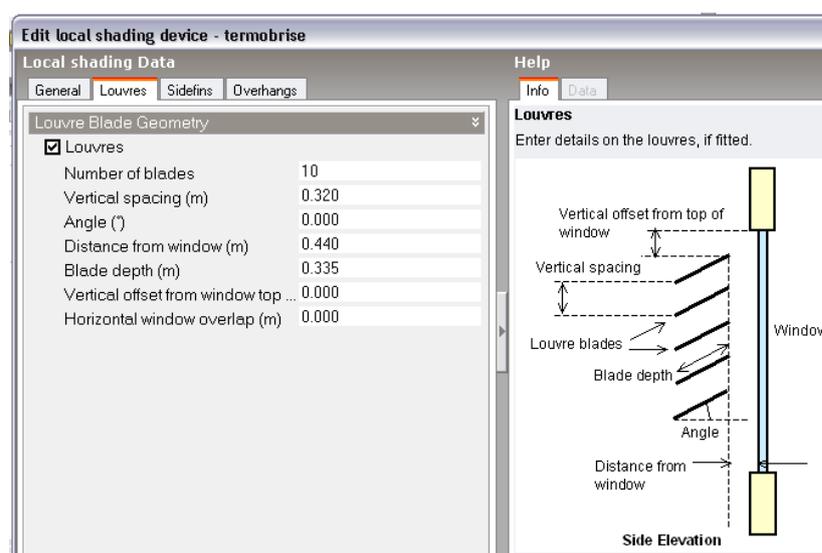
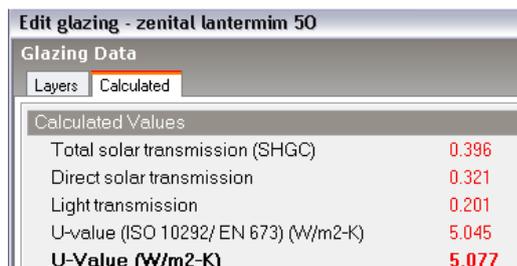


Figura 44 – Características das aletas dos brises inseridas no programa.

O policarbonato alveolar branco leitoso, das aberturas zenitais e laterais do lanternim, também foi criado com as especificações fornecidas<sup>24</sup> (ver figura 45).

<sup>23</sup> Como são móveis, foi considerada a pior situação.

<sup>24</sup> Dados fornecidos pela Day Brasil.



Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.396
Direct solar transmission	0.321
Light transmission	0.201
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	5.045
<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>5.077</b>

Figura 45 – Características do policarbonato alveolar branco leitoso e transmitância térmica ( $U$ -value) calculada pelo programa.

Na aba *lighting* a densidade de potência novamente é estabelecida, o tipo de rotina *schedule* OCUPAÇÃO UFU foi determinado, bem como o tipo de luminárias, no qual foi definida a opção *surface mount* (sobreposta ao forro) e seus valores *default* (ver figura 46).

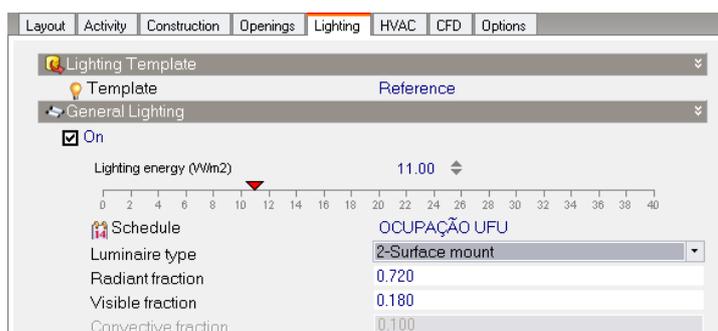


Figura 46 – Características da luminária inserida (valores *default*)

Por fim, em HVAC, é definido o tipo de ar-condicionado. No caso estudado, o *split*, com COP (Coeficiente de Performance) de 3,28. A escolha deste valor baseou-se no anexo da Portaria nº007/2011 (INMETRO, 2011) onde consta que condicionadores de ar tipo *split* nível A de eficiência devem ter o COP acima de 3,20 e também no RTQ-C, em que a eficiência mínima é estabelecida de acordo com a capacidade, tipo de equipamento, etc. Ainda nesta aba, na seção *natural ventilation* foi definido para *outside air* (ar externo) pelo método *by zone* o valor de 1ac/h (uma troca de ar por hora), de acordo com recomendações da NBR15575 – 1 (ABNT, 2008).

No caso da simulação visando cálculo do POC, ao acionar a opção *calculated* no item *natural ventilation*, aparece na aba *openings* um novo item – *operation* – referente ao percentual de aberturas das janelas e a rotina de operação das mesmas (figura47).

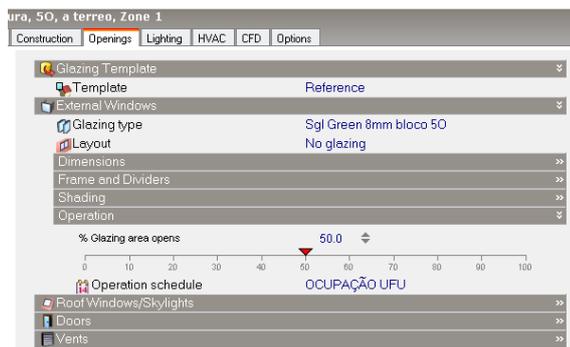


Figura 47 - Aba *openings* após mudança do cálculo de ventilação natural para *calculated*.

Definiu-se o percentual de abertura como sendo 50%, uma vez que são janelas de correr e não se abrem totalmente. Em rotina de operação foi utilizada a mesma rotina de funcionamento do edifício.

A seguir, a imagem do modelo real desenvolvido (figura 48).

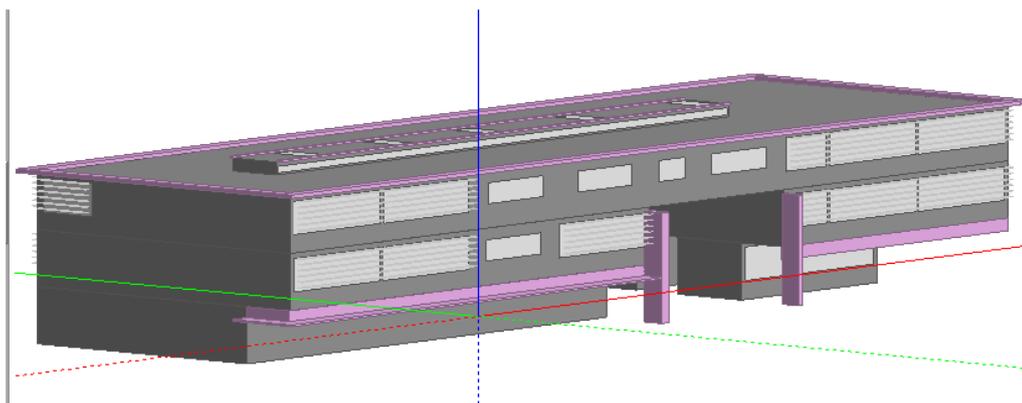


Figura 48 - Modelo real desenvolvido na interface gráfica do *DesignBuilder*.

### 3.4.1.5. CONTRUÇÃO GEOMÉTRICA DO MODELO DE REFERÊNCIA

A construção do modelo de referência “A” teve como base o modelo real já construído.

O programa de simulação, o arquivo climático, a geometria, orientação, *setpoint* de resfriamento e ventilação e os padrões de uso da edificação se mantiveram os mesmos. Como o objetivo é simular a envoltória, os sistemas de iluminação e ar-condicionado não sofreram alteração, pois já tinham se baseado em valores de referência do RTQ-C.

A modelagem da envoltória segue as seguintes etapas de acordo com a metodologia indicada pelo RTQ-C (INMETRO, 2010):

- Excluí-se do modelo real todos os elementos de sombreamento: marquises, beirais e brises, uma vez que o AVS e o AHS devem ser iguais a zero no modelo de referência.
- Calcula-se o PAFt para o modelo de referência:
  - Utiliza-se a fórmula do ICenv (equação 27) referente à envoltória do edifício proposto, com o PAFt como variável a ser encontrada;
  - Insere-se o ICenvmáx encontrado na aplicação do método prescritivo;
  - FA e FF se mantêm os mesmos;
  - FS=0,87 (referente ao vidro simples de 3 mm);
  - Adota-se AVS e AHS iguais a zero.

Encontrou-se neste caso o PAFt = 0,1467, ou seja, aproximadamente 15%.

- As aberturas são redefinidas de acordo com o PAFt encontrado e distribuídas na mesma proporção do modelo real;
- As aberturas zenitais permanecem como no modelo real, tamanho e material, uma vez que não possuem PAZ maior que 5%.

Após estas definições, o processo de modelagem segue a mesma sequência do modelo real, sofrendo apenas as modificações abaixo relacionadas:

- Alteração das transmitâncias térmicas da cobertura e das paredes para os valores máximos do nível de eficiência pretendido, nível A, por meio da opção *set U-value*;
- Alteração das absortâncias também para os valores máximos do nível de eficiência pretendido, nível A;
- Alteração do vidro para vidro simples de 3 mm (no caso o *template Sgl Clr 3 mm*).

A seguir a imagem do modelo de referência desenvolvido (figura 49).

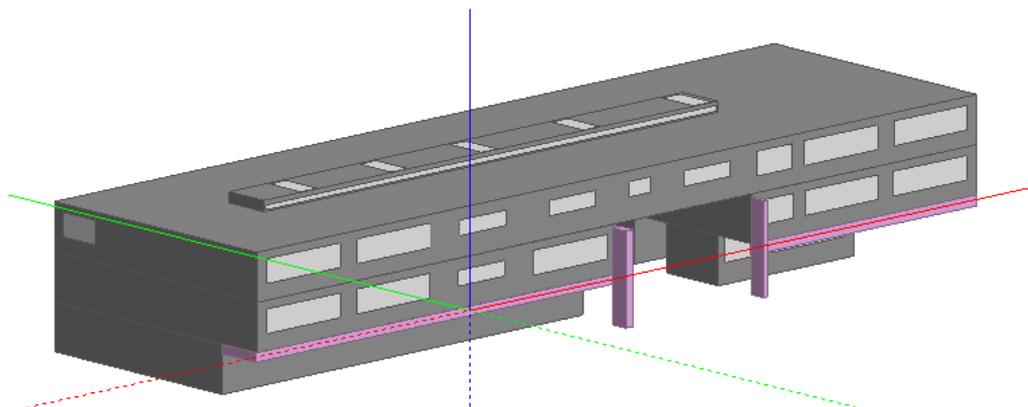


Figura 49 - Modelo de referência desenvolvido na interface gráfica do *DesignBuilder*.

### 3.4.2. SIMULAÇÃO

De acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2010), as áreas não condicionadas são definidas como “área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de conforto”. Sendo assim, para se obter os resultados almejados (POC e consumo energético) com uma única simulação, o programa *DesignBuilder* deveria fornecer dados de saída separados por zona, para que as zonas não-condicionadas de permanência prolongada fossem analisadas separadamente, o que não é possível neste programa.

As simulações foram desenvolvidas seguindo as seguintes etapas:

1. Simulação do modelo real utilizando-se o método *Schedule* para a ventilação natural e *simple* para HVAC, para obter o consumo energético como dado de saída;
2. Simulação do modelo de referência utilizando-se o método *Schedule* para a ventilação natural e *simple* para HVAC para obter o consumo energético como dado de saída;
3. Simulação de cada zona não condicionada e de permanência prolongada, utilizando o método *calculated* para ventilação natural e *simple* para HVAC, visando à obtenção dos seguintes dados de saída: temperatura do ar interna e temperatura radiante. Com estes dados foi possível calcular a temperatura operativa e analisar o POC, de acordo com a metodologia descrita por Negreiros (2010).

Além disso, a metodologia da simulação no *DesignBuilder* recomenda a realização de uma simulação prévia mensal para obter as temperaturas mensais do chão. Nesta, o piso térreo do edifício é considerado não adjacente ao chão, pois assim as temperaturas mensais (*default*) de 14°C do chão não influenciam na simulação.

Foi então realizada a simulação prévia e de cada valor das temperaturas internas mensais resultantes deduzidos 2°C. Estes valores substituíram os valores *default* de 14°C para a temperatura do chão, conforme figura 50.

The screenshot shows a software window titled 'Ground' with several sections. The 'Add ground construction layers' section is checked. Below it, 'Construction' is set to 'Cultivated clay soil (0.5m)' and 'Texture' is set to 'GranulatedGray453M'. The 'Monthly Temperatures' section is expanded to show a list of monthly temperatures in degrees Celsius.

Month	Temperature (°C)
Jan	22.7
Feb	22.6
Mar	24.2
Apr	23.5
May	21.8
Jun	21.7
Jul	19.5
Aug	24.0
Sep	24.0
Oct	23.7
Nov	24.0
Dec	24.0

Figura 50 - Resultado da simulação prévia para identificação da temperatura do chão

É importante atentar que para a simulação do edifício é necessário que o piso volte a ser adjacente ao chão, mas somente o piso e não o bloco (pavimento). Com todo o pavimento adjacente, o programa entenderia que se trata de um subsolo, onde as paredes estão adjacentes ao solo.

### 3.4.2.1. SIMULAÇÃO PARA OBTENÇÃO DA ETIQUETA DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO

A simulação visando à obtenção do consumo de energia para edificação é realizada para o edifício completo.

É importante ressaltar que foi realizada a tentativa de se obter o consumo energético utilizando-se o método *calculated* para ventilação natural, que seria mais

adequado para um edifício onde predomina a ventilação natural. A simulação rodou, originando vários dados de saída, sem os dados de consumo energético. Como neste caso não foi fornecido pelo programa nenhum relatório de erros, não foi possível compreender o motivo do problema em questão.

Diante deste fato, optou-se pela simplificação, sendo que a combinação *schedule natural ventilation* e *simple HVAC* fornecia os resultados almejados.

A opção *compact HVAC* não foi utilizada, pois não permite a inserção direta do COP, e um sistema *template* deve ser editado visando classificar o sistema. No entanto, o programa solicitava vários dados indisponíveis, o que inviabilizou a criação do *template*.

### 3.4.2.2. SIMULAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO POC

Para obtenção do POC simulou-se utilizando a opção *calculated* para ventilação natural, mais adequado para edificações ventiladas naturalmente.

Foram simuladas um total de 28 zonas, não condicionadas e de permanência prolongada (ANC).

Como dados de saída, foram selecionados: *environmental e comfort*.

Obtiveram-se os dados de saída: temperatura do ar, temperatura radiante, temperatura operativa, umidade relativa e ainda alguns parâmetros de conforto - *Fanger PMV, Pierce PMV ET, Kansas Uni TSV, discomfort hrs (all clothing)*.

Embora a simulação realizada no *DesignBuilder* forneça dados de conforto, estes são baseados em índices de conforto mais apropriados para análise de ambientes condicionados artificialmente. No entanto, “os ocupantes de edificações naturalmente ventiladas se adaptam a uma maior gama de condições que geralmente refletem os padrões de temperatura” (DEAR; BRAGER *apud* NEGREIROS, 2010, p. 20).

O edifício estudo de caso possui apenas os auditórios como áreas condicionadas artificialmente, sendo todo o restante do edifício ventilado naturalmente. Sendo assim, nesta pesquisa é utilizada para comprovação do POC a metodologia indicada por Negreiros (2010), mais apropriada a edificações ventiladas naturalmente em que há uma tendência natural de adaptação humana às condições climáticas no ambiente.

As etapas são as seguintes:

1. Calcula-se a temperatura neutra ou temperatura de conforto por meio da equação 28 de De Dear; Brager (2002 apud NEGREIROS, 2010, p. 26):

$$T_c = 0,31T_e + 17,8 \quad \text{Equação 28}$$

Sendo:

$T_c$  – temperatura de conforto, em °C

$T_e$  – temperatura média mensal externa, em °C

A temperatura média mensal externa é calculada para cada dia do ano como uma média da temperatura dos 30 dias anteriores, sendo esta considerada a temperatura mais representativa para aclimação do usuário do ambiente.

2. Definição dos limites das zonas térmicas: de acordo com De Dear; Brager (2002, apud NEGREIROS, 2010) define-se a variação de conforto de  $\pm 2,5^\circ\text{C}$  para a zona de conforto, sendo que abaixo desta variação haverá desconforto por frio e, valores maiores, indicam conforto por uso de ventilação ou desconforto ao calor;
3. Estabelece-se o limite da zona de conforto com uso da ventilação e desconforto ao calor, utilizando a equação (NEGREIROS, 2010) (equação 29):

$$dT = a + b*x_1 + c*x_2 + d*x_1^2 + e*x_2^2 + f*x_1*x_2 + g*x_1^3 + h*x_2^3 + i*x_1*x_2^2 + j*x_1^2*x_2 \quad \text{Equação 29}$$

Sendo que:

$dT$  é o aumento de temperatura por uso da velocidade do ar, em °C

$x_1$  representa a diferença entre a temperatura radiante e do ar, em °C

$x_2$  representa a velocidade do ar, em m/s

e as constantes são:

$a = -8,95\text{E-}03$  /  $b = 9,03\text{E-}03$  /  $c = 1,67$  /  $d = -2,18\text{E-}04$  /  $e = 4,86$  /  $f = 0,14$  /  $g = -1,33\text{E-}04$  /  $h = -3,58$  /  $i = -1,61\text{E-}02$  /  $j = 2,48\text{E-}03$

4. Somam-se os valores encontrados em  $dT$  aos limites de conforto e assim são estabelecidos os limites das zonas de conforto com o uso da ventilação;

5. Calcula-se a temperatura operativa de acordo com a ISO 7730 (NEGREIROS, 2010, p. 51) (equação 30):

$$t_o = A t_a + (1 - A) t_r \quad \text{Equação 30}$$

Sendo:

$t_o$  – temperatura operativa, em °C

$t_a$  – temperatura do ar, em °C (dados de saída das simulações)

$t_r$  – temperatura radiante, em °C (dados de saída das simulações)

A – fator que depende da velocidade do vento

Tabela 22 – Valores do fator A em função da velocidade do ar

Velocidade de ar (m/s)	A
$v < 0,2$	0,5
$0,2 < v < 0,6$	0,6
$0,6 < v < 0,7$	0,7

Fonte: ISO 7730 (apud NEGREIROS, 2010)

6. Compara-se a temperatura operativa encontrada em cada zona simulada com os limites preestabelecidos, definindo assim as horas em conforto e/ou horas em desconforto.
7. A partir da definição do POC de cada zona é atribuído um EqNumV e por fim a classificação final da mesma de acordo com a tabela 23:

Tabela 23 – Equivalentes numéricos para ventilação natural

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação final
$POC \geq 80\%$	5	A
$70\% \leq POC < 80\%$	4	B
$60\% \leq POC < 70\%$	3	C
$50\% \leq POC < 60\%$	2	D
$POC < 50\%$	1	E

Fonte: INMETRO(2010)

### 3.4.2.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NOS MÉTODOS PRESCRITIVO E SIMULAÇÃO PARA O ESTUDO DE CASO

Visando explorar os resultados obtidos nos métodos prescritivo e simulação, estes serão comparados e analisados partindo-se dos seguintes casos:

#### Caso 1

O resultado do método prescritivo para etiqueta da envoltória obtido na aplicação da equação do Índice de Consumo da envoltória descrita no RTQ-C (INMETRO, 2010) (equação 31);

$$IC_{env} = 511,12 \cdot FA + 0,92 \cdot FF - 95,71 \cdot PAFt - 99,79 \cdot FS - 0,52 \cdot AVS - 0,29 \cdot AHS - 380,83 \cdot FA \cdot FF + \frac{4,27}{FF} + 729,20 \cdot PAFt \cdot FS + 77,15 \quad \text{Equação 31}$$

#### Caso 2

O resultado do método prescritivo para a parcela relativa à envoltória da equação da etiqueta geral **sem** simulação da ventilação natural (equação 32);

$$PT = \left\{ \left( EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} \quad \text{Equação 32}$$

EqNumEnv obtido na aplicação da etiqueta da envoltória  
EqNumEnv = 5

Considerada a pior hipótese: ANC com POC<50%  
EqNumV=1

**Caso 3**

O resultado do método prescritivo para a parcela relativa à envoltória da equação da etiqueta geral obtido **com** a simulação da ventilação natural (equação 33);

$$PT = \left\{ \left( \text{EqNumEnv} \right) \frac{AC}{AU} + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \text{EqNumV} \right) \right\} \quad \text{Equação 33}$$

EqNumEnv obtido na aplicação da etiqueta da envoltória  
EqNumEnv = 5

EqNumV ponderado  
EqNumV = 3,78

**Caso 4**

O resultado da etiqueta da envoltória pelo método da simulação.

**Caso 5**

O resultado da PT (Pontuação total) no método simulação (equação 34):

$$PT = EqNumS + b_0^1 \quad \text{Equação 34}$$

Onde:

EqNumS: equivalente numérico obtido através da simulação

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

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta a descrição dos resultados obtidos no decorrer do trabalho, além de análises e discussões.

### 4.1. ARQUIVO CLIMÁTICO HORÁRIO

Os dados do ano TRY (ano de 2006) foram utilizados principalmente para a formatação do arquivo climático horário para simulação termoenergética.

Com a inserção do arquivo \*.csv (separado por vírgulas) o aplicativo *Weather Statistics and Conversions* do programa *EnergyPlus* gera automaticamente um relatório estatístico dos dados processados do arquivo climático, além de um arquivo em extensão \*.epw utilizado nas simulações desta pesquisa.

Neste relatório, o clima da cidade foi classificado de acordo com a classificação de Köppen como “Aw”, tropical de savana, (estações secas e úmidas, latitude 15-20°).

Também foram determinados, no relatório estatístico, os períodos típicos e extremos que podem ser usados nas simulações. Obteve-se:

- Período úmido: fevereiro - março.
- Semana típica deste período: 1º a 7 de março, Temperatura média: 23,48°C, Desvio: 0,097°C.
- Período seco: abril – janeiro.
- Semana típica deste período: 26 de Agosto a 1º de setembro, Temperatura média: 22,11°C, Desvio: 0.010°C.
- Semana típica do período de temperaturas extremas quentes: 22 a 28 de janeiro, Temperatura máxima: 33,20°C, Desvio: 6,990°C.
- Semana típica do período de temperaturas extremas frias: 25 de junho a 1º de julho, Temperatura mínima: 9,20°C, Desvio: 9,790°C.

A partir da análise dos dados e informações fornecidos pelo relatório estatístico, já se torna possível adequar às edificações às características climáticas locais (ver tabelas com dados estatísticos no anexo B).

## 4.2. CARTA BIOCLIMÁTICA DE UBERLÂNDIA

Os dados do ano TRY (ano de 2006) foram empregados inicialmente na obtenção da carta bioclimática da cidade de Uberlândia, utilizando-se o programa *Analysis Bio*. O anexo A relata como é o procedimento para se criar uma carta bioclimática no *Analysis Bio* (LIMA, 2010).

Obteve-se a seguinte carta bioclimática da cidade de Uberlândia (figura 51):

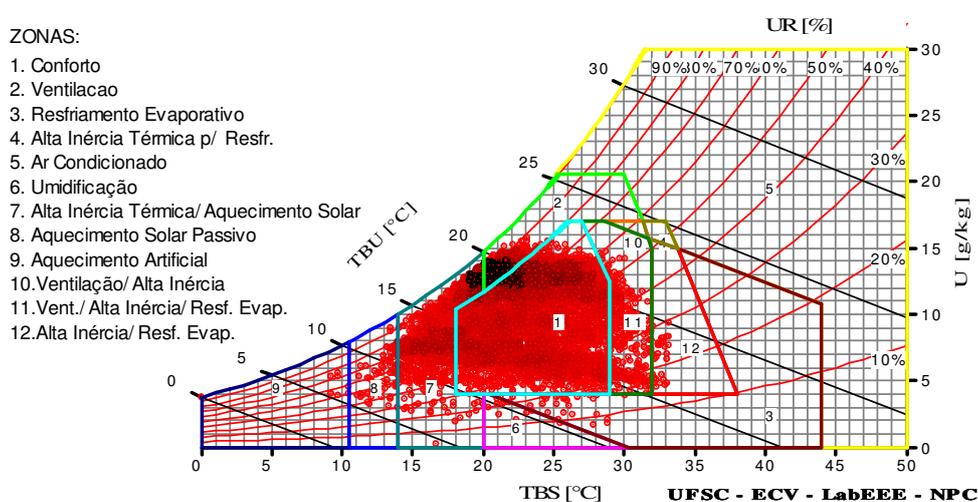


Figura 51 – Carta bioclimática de Uberlândia  
Fonte: Programa Analysis Bio (LABEEE, 2010)

O relatório fornecido pelo programa indica que a cidade de Uberlândia apresenta 63,2% das horas do ano em conforto e 36,8% em desconforto, das quais 18,6% por frio e 18,1% por calor.

Para o calor é indicada a ventilação, alta inércia para resfriamento e resfriamento evaporativo. Para o frio, alta inércia térmica e aquecimento solar.

### 4.3. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DO EDIFÍCIO (ETIQUETAGEM)

Aqui será apresentada a classificação do nível de eficiência energética da envoltória do edifício escolhido, bloco A do edifício “Bloco 5O”, pelo método prescritivo e simulação do RTQ-C.

Na aplicação do **método prescritivo**, foram extraídos os seguintes dados:

Ape - Área de projeção do edifício: 884m<sup>2</sup>

Atot - Área total construída: 2497,13m<sup>2</sup>

Aenv - Área da envoltória: 2919,85m<sup>2</sup>

Apcob - Área de projeção da cobertura: 1095,60m<sup>2</sup>

AVS - Ângulo vertical de sombreamento: 76,68°, mas de acordo com RTQ-C (INMETRO, 2010) o AVS pode ser no máximo 45°, portanto este valor será utilizado no cálculo.

AHS - Ângulo horizontal de sombreamento: 0,59°

FF - Fator de forma (Aenv/Vtot): 0,33

FA - Fator de altura (Apcob/Atot): 0,44

FS - Fator solar vidro verde = 0,54 (dado fornecido pela assistência técnica da CEBRACE)

FS – Fator solar policarbonato = 0,38

PAFt - Percentual de abertura total da fachada: 21%

PAFo - Percentual de abertura da fachada oeste: 6,1%

Vtot - Volume total da edificação: 8740,03m<sup>3</sup>

Obteve-se como índice de consumo da envoltória o valor de  $IC_{env}=242,9932$ . Enquanto que para o  $IC_{máxD}$  foi obtido 407,2588 e para  $IC_{mín}$  o valor de 198,7869.

A subdivisão  $i$  do intervalo de eficiência foi calculada, encontrando-se  $i = 52,11798$ . Com o valor de  $i$  calculado, a seguinte tabela foi preenchida (tabela 24).

Tabela 24 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência para o estudo de caso

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín		250,9149	303,0328	355,1508	407,2688
Lim Máx	250,9049	303,0228	355,1408	407,2588	

Fonte: INMETRO (2010).

Comparou-se o ICenv obtido para o projeto, com os limites da tabela 24 para identificar o nível de eficiência do projeto em questão. Como o ICenv obtido foi de 242,9932, o nível de eficiência do projeto do Bloco 5O situou-se no intervalo de eficiência A.

Na sequência, foi verificado se a edificação atende aos pré-requisitos para nível A:

- TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA

Dados do fabricante indicam que a transmitância térmica da telha é de 0,98W/m<sup>2</sup>K. Sendo assim, a telha atende o pré-requisito mesmo sem considerar o colchão de ar existente entre a telha e a laje. O pré-requisito considerado foi o de ambientes não-condicionados, uma vez que a cobertura está acima do segundo pavimento, que é de salas de aula e ventilado naturalmente. Mas, observa-se que a telha atenderia também o pré-requisito para ambientes condicionados.

- TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS PAREDES

A transmitância térmica das paredes foi analisada e/ou calculada de acordo com os dados e métodos da NBR15220-2/3 (ABNT, 2005) (tabela 25):

Tabela 25 – Transmitância das paredes externas do estudo de caso

Paredes	U de acordo com NBR15220-2/3 (W/m <sup>2</sup> K)	Atende ao pré-requisito?
T1	U = 2,49	SIM
T2	T5 + revestimento cerâmico	SIM
T5	U = 1,80	SIM
T8	T1 + revestimento cerâmico	SIM
T19	Calculado: U = 2,67	SIM

Como a transmitância das paredes não ultrapassa o limite de 3,7W/m<sup>2</sup>K (INMETRO, 2010), o projeto atende a este pré-requisito.

- **ABSORTÂNCIA E CORES DAS PAREDES E COBERTURA**

Como as paredes e cobertura da edificação são na cor branca, portanto com absorvância de 0,20 (ABNT, 2005), atendem a este pré-requisito.

- **PERCENTUAL DE ABERTURA ZENITAL**

O PAZ do lanternim da edificação é de 1,8%, logo poderia ter um fator solar de até 0,87. A partir do dado de coeficiente de sombreamento do fornecedor, foi calculado o fator solar e obteve-se 0,38 para o policarbonato alveolar branco leitoso, atendendo, portanto, ao pré-requisito.

Logo, o projeto atende a todos os pré-requisitos acima, confirmando o nível A de eficiência.

A etiqueta A obtida para a envoltória era esperada devido à preocupação do edifício com relação à adaptação da edificação ao clima local. As características da edificação também vão de encontro às questões tratadas no RTQ-C: fachada oeste praticamente “cega”, proteções solares em todas as fachadas e maiores fachadas voltadas para norte e sul. É interessante também atentar para o fato de que o pátio da edificação, além de tornar a edificação mais agradável e permeável, aumenta a área de fachada devido às suas fachadas cegas, sem, contudo, aumentar o número de aberturas, o que resulta em um PAFt menor. O cobogó da fachada sul também diminui o PAFt. Além destes, a abertura zenital reduzida, de 1,8% e o uso de vidro com fator solar relativamente baixo, e paredes e coberturas na cor branca, favoreceram a obtenção da etiqueta.

Com relação à aplicação do **método simulação** para obtenção da etiqueta, o consumo de energia do modelo real é comparado com o consumo de energia do modelo de referência. “Deve ser demonstrado que o consumo de energia do projeto proposto deve ser igual ou menor que o consumo do projeto de referência” (INMETRO, 2010).

O consumo obtido na simulação do modelo real foi de 32.635kWh, enquanto no modelo de referência nível A foi de 37.482 kWh por ano.

Como o consumo de 32635 kWh é menor que 37482 kWh, temos um edifício nível A de eficiência energética, portanto não houve necessidade de se construir os demais modelos de referência neste caso.

Como o edifício possui uma área total construída de 2497,13 m<sup>2</sup>, podemos dizer que ele consome 13,07 kWh/m<sup>2</sup>, enquanto o modelo de referência consome 15kWh/m<sup>2</sup>.

É importante salientar, todavia, que na simulação os dados de consumo pareceram incoerentes com a rotina estabelecida para os modelos. A rotina previa o uso da edificação durante a semana, das 7h às 22h, e aos sábados, das 8h às 18h, mas ao checar os dados, notou-se que o consumo não ocorria em todas as horas determinadas. A rotina foi novamente analisada, verificando possíveis erros, e os modelos foram novamente simulados, mas o resultado com falhas persistiu.

Considerou-se que mesmo que o consumo esteja subestimado, a falta de dados ocorreu de forma semelhante nos dois modelos, não subestimando assim a eficiência do edifício.

Na **simulação para obtenção do POC (Percentual de horas ocupadas em conforto)**, o resultado da classificação de cada zona não condicionada de permanência permanente foi obtido com o cálculo da temperatura operativa, a partir dos dados de saída de temperatura do ar interna e temperatura radiante.

Os valores de temperatura operativa foram calculados e analisados de acordo com a metodologia proposta por Negreiros (2010) e assim foram estabelecidos os percentuais das horas ocupadas em conforto para cada zona simulada. Estes percentuais levam à classificação da zona quanto à sua eficiência, conforme a tabela 26:

Tabela 26 – Percentual de conforto, EqNumV e classificação de cada área não condicionada

ZONAS	POC (%)	Eq.NumV	Classificação
Zona 1 – Pav. térreo	77,46	4	B
Zona 3 – Pav. térreo	91,73	5	A
Zona 4 – Pav. térreo	91,29	5	A
Zona 1 – Pav.1 Parte1	79,50	4	B
Zona 3 – Pav.1 Parte1	72,87	4	B
Zona 4 – Pav.1 Parte1	47,00	1	E
Zona 5 – Pav.1 Parte1	65,85	3	C
Zona 6 – Pav.1 Parte1	71,87	4	B
Zona 7 – Pav.1 Parte1	79,27	4	B
Zona 8 – Pav.1 Parte1	73,39	4	B
Zona 1 – Pav.1 Parte2	65,64	3	C
Zona 2 – Pav.1 Parte2	83,51	5	A
Zona 3 – Pav.1 Parte2	79,09	4	B
Zona 4 – Pav.1 Parte2	73,60	4	B
Zona 1 – Pav.2	82,28	5	A
Zona 4 – Pav.2	75,79	4	B
Zona 5 – Pav.2	73,01	4	B
Zona 6 – Pav.2	77,60	4	B
Zona 8 – Pav.2	73,89	4	B
Zona 9 – Pav.2	83,33	5	A
Zona 10 – Pav.2	84,44	5	A
Zona 13 – Pav.2	58,04	2	D
Zona 14 – Pav.2	72,89	4	B
Zona 16 – Pav.2	76,14	4	B
Zona 17 – Pav.2	72,84	4	B
Zona 18 – Pav.2	55,38	2	D
Zona 19 – Pav.2	58,01	2	D

Os ambientes de pior classificação, D e E, coincidem com as zonas sem proteção solar, onde foram previstos os cobogós. O fato dos cobogós terem sido desconsiderados do processo de modelagem devido à complexidade de seu desenho e ao fato de que o modelo ficaria exageradamente pesado para rodar a simulação, pode ter prejudicado a classificação destes ambientes, mesmo que estas janelas tenham tido seu PAF reduzido.

Por outro lado, as zonas de classificação A coincidem com ambientes que possuem duas janelas, o que possibilita a ventilação cruzada, por exemplo, ou ambientes do térreo sombreados pelo grande beiral proporcionado pelo pavimento superior avançado em relação ao térreo.

O resultado final desta simulação é compilado na tabela 27:

Tabela 27 – Áreas de mesma classificação e representatividade destas áreas

Etiqueta	POC (%)	Área total de mesma classificação (m <sup>2</sup> )	Representatividade desta área com relação ao total de áreas não condicionadas (%)
A	POC $\geq$ 80	341,80	20,84
B	70= $\leq$ POC $<$ 80	887,30	54,11
C	60= $\leq$ POC $<$ 70	164,70	10,04
D	50= $\leq$ POC $<$ 60	191,00	11,65
E	POC $<$ 50	55,00	3,35

Os resultados obtidos nas zonas de mesma classificação foram ponderados (tabela 28):

Tabela 28 – Determinação da eficiência através da ponderação pela área

Zonas	Eq.NumV	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de ponderação	EqNumV ponderado
Zonas – etiqueta A	5	341,80	0,21	1,05
Zonas – etiqueta B	4	887,30	0,54	2,16
Zonas – etiqueta C	3	164,70	0,10	0,30
Zonas – etiqueta D	2	191,00	0,12	0,24
Zonas – etiqueta E	1	55,00	0,03	0,03
	Total	1639,80	1,00	3,78

Obteve-se o EqNumV de 3,78, o que indica, de acordo com a tabela 2, uma classificação B para as áreas não condicionadas do edifício “estudo de caso”.

#### 4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NOS MÉTODOS PRESCRITIVO E SIMULAÇÃO PARA O ESTUDO DE CASO

Diante das questões discutidas no subcapítulo 2.3 a respeito das divergências entre os métodos prescritivo e simulação do RTQ-C, buscou-se também nesta pesquisa, comparar a aplicação dos dois métodos, empregados no estudo de caso em questão.

Os dois métodos obtiveram a mesma classificação do nível de eficiência energética da envoltória (etiqueta A), considerando o método prescritivo para envoltória e o método simulação para envoltória.

Mas, visando explorar melhor os resultados obtidos nos métodos prescritivo e simulação, serão analisados os casos 1 a 5, apresentados no método (subcapítulo 3.4.2.3).

### **Caso 1**

#### Resultado do método prescritivo para etiqueta da envoltória

Obteve-se etiqueta A para envoltória.

### **Caso 2**

#### Resultado do método prescritivo para a parcela relativa à envoltória da equação da etiqueta geral **sem** simulação da ventilação natural

As variáveis para aplicação na equação do caso 2 foram calculadas (equação 32):

$$AC = 391,60\text{m}^2$$

$$AU = 2393,76\text{m}^2$$

$$APT = 362,36\text{m}^2$$

$$ANC = 1639,80\text{m}^2$$

Na intenção de obter a PT para a parcela relativa à envoltória na equação da etiqueta geral, sem, no entanto, simular a ventilação natural, ou seja, sem comprovar o POC para cada área não condicionada, considerou-se a pior hipótese: ANC com  $POC < 50\%$ , portanto nível E e  $EqNumV = 1$ . Neste caso, o  $EqNumEnv=5$  obtido no método prescritivo, foi considerado apenas para as áreas condicionadas e a pontuação total da envoltória foi de 2,26, o que implicou em uma etiqueta D, divergindo da etiqueta A obtida no **caso 1**. Portanto, não fazer a simulação de ventilação natural poderia prejudicar a pontuação da parcela relativa à envoltória na equação da etiqueta geral da edificação.

### **Caso 3**

#### Resultado do método prescritivo para a parcela relativa à envoltória da equação da etiqueta geral **com** simulação da ventilação natural

Ao aplicar o caso 2, percebe-se que o mais adequado seria aplicar o **caso 3**: simular o POC para as áreas não condicionadas, na intenção de verificar se as pessoas estariam em conforto naqueles ambientes.

Como no método prescritivo e no método simulação obteve-se etiqueta A, esperava-se que esta situação se confirmasse na simulação para obtenção do POC, todavia o resultado não foi o esperado. Aplicou-se a equação 33 utilizando as mesmas variáveis do **caso 2**, o EqNumV obtido na tabela 28 e sua ANC correspondente, resultando em  $PT=4,16$ , o que de acordo com a tabela 2 indica uma classificação B para o edifício.

#### **Caso 4**

##### Resultado da etiqueta da envoltória pelo método da simulação

Neste foi comparado o consumo energético do edifício estudo de caso e o modelo de referência nível A, obtendo-se etiqueta A.

#### **Caso 5**

##### Resultado da PT (Pontuação total) no método simulação

Como foi obtida etiqueta A no método simulação e não foi considerada nenhuma bonificação, o EqNumS é 5, resultando em  $PT=5$ , portanto, classificação final A.

No entanto, de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2010, p. 79) “nos edifícios que possuem sistema de condicionamento de ar e ventilação natural, o EqNumV deve ser maior ou igual ao EqNumS. Nos casos em que esta condição não for atendida, a classificação final será dada pelo EqNumV”. Isso quer dizer que não só no método prescritivo, mas também no método simulação, é necessário comprovar o percentual de horas ocupadas em conforto de uma edificação que possua áreas ventiladas naturalmente para se obter a etiqueta geral.

Como o EqNumV resultante das simulações foi de 3,78, menor que o EqNumS, o resultado final será dado pelo EqNumV, que de acordo com a tabela 2 de classificação geral, indica etiqueta B.

Todos os casos demonstram que, embora a etiqueta para envoltória pelo método prescritivo e método simulação tenha sido A, ao se isolar a parte relativa à envoltória na equação da etiqueta geral, não se obtém a mesma classificação.

Da mesma forma, ao se considerar a PT pelo método simulação, como esta depende do EqNumV, a etiqueta A altera-se para etiqueta B.

Estas diferenças ocorreram provavelmente devido ao fato das áreas não condicionadas/ventiladas naturalmente serem consideravelmente maiores que as áreas condicionadas, 68,5% do total de área útil. Por não considerar a ventilação no método prescritivo, o RTQ acaba por penalizar a PT, uma vez que o EqNumEnv=5 obtido no método da envoltória é considerado apenas para as áreas condicionadas.

Outra possibilidade seria o fato do *Design Builder* não fornecer dados separados por zona e, por isso, a única opção para obtenção do POC foi a de simular zona a zona, ou seja, simulou-se cada ambiente naturalmente ventilados ou não-condicionados individualmente. Não se sabe se o programa considera as trocas entre os ambientes ao se realizar uma simulação para partes do edifício e não para o edifício completo, portanto, esta opção pode também ter prejudicado os resultados.

Uma última possibilidade é de que a exclusão dos cobogós no método simulação tenha diminuído a PT para a parcela relativa à envoltória da equação da etiqueta geral, pois ao diminuir o PAFt, conseqüentemente, a área de ventilação também foi reduzida, diminuindo portanto a possibilidade de conforto nestes ambientes. Além disso, a existência de cobogós pode indicar certo sombreamento, o que também poderia alterar o POC. Os ambientes de pior classificação, D e E, coincidem com as zonas sem proteção solar, onde foram previstos os cobogós.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo proposto por este trabalho foi o de avaliar a aplicabilidade da metodologia brasileira de avaliação de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, RTQ- C (INMETRO, 2010), para as condições em que a simulação é indicada e não há arquivo climático de simulação disponível para a cidade.

As principais dificuldades na aplicação desta metodologia foram:

### MÉTODO PRESCRITIVO

As principais dificuldades na aplicação do método prescritivo referem-se à **obtenção de dados de projeto e de materiais especificados** para o mesmo. O memorial descritivo do projeto oferecia mais de uma opção para vários materiais, sendo necessário entrar em contato com os profissionais que acompanhavam a obra para verificar qual material de fato seria colocado<sup>25</sup>.

Para os vidros e policarbonatos, foi necessário entrar em contato com os fornecedores para se obter dados referentes aos materiais. No caso do vidro, os fornecedores não tinham as informações e indicaram o fabricante. Buscou-se, então, dados em catálogos mas não foram encontrados dados sobre o vidro especificado. Contactou-se, portanto, uma arquiteta da empresa fabricante, que fez os cálculos e forneceu os dados requeridos do vidro verde 8mm. Todas estas buscas de dados demandaram grande tempo de espera.

Tais informações demonstram que a aplicação do RTQ-C depende de um envolvimento entre os vários atores da construção civil, tais como projetistas, fornecedores e fabricantes. Para isso também há necessidade de harmonizar os conhecimentos discutidos e pesquisados na academia com a prática profissional. Ainda assim, é uma metodologia de simples aplicação quando de posse dos dados necessários.

---

<sup>25</sup> Por exemplo, foi especificado para as janelas, vidro verde temperado de 8 mm ou 10 mm. Para as telhas: telha termo-acústica com enchimento em poliuretano ou poliestireno e não foi indicada a cor da telha ser colocada.

## MÉTODO SIMULAÇÃO

Foi na aplicação deste método que surgiram as principais dificuldades deste trabalho. Primeiramente referente ao arquivo climático horário de simulação, depois a própria modelagem e simulação dos modelos. Estas dificuldades foram:

**Obtenção dos dados climáticos:** os arquivos da estação convencional (medições de 3 dados diários) foram rapidamente fornecidos pelo Laboratório de Climatologia da UFU, no entanto, os dados horários da Estação Automática demoraram cinco meses para serem fornecidos pelo INMET.

**Dados nulos** na base de dados horários fornecidos pelo INMET: após serem fornecidos os dados horários, percebeu-se que não poderiam ser utilizados para identificação do ano climático de referência devido à grande quantidade de dados nulos. Isso levou à utilização dos dados das normais climatológicas calculadas a partir dos dados da Estação Convencional e também indicou a metodologia de identificação de um ano climático de referência possível de ser aplicada nestes casos.

**Formatação do arquivo climático horário para simulação termoenergética:** após identificado o ano climático de referência, TRY (ano de 2006), verificou-se que seria possível utilizar os dados horários disponibilizados pelo INMET, visto que o ano de 2006 continha poucos dados nulos, passíveis de serem interpolados por meio de interpolação simples. Foi necessário calcular algumas variáveis de radiação solar necessárias à formatação deste arquivo, sendo indispensável a compreensão das diversas variáveis envolvidas nestes cálculos, definir as equações mais adequadas e organizá-las em planilhas que possibilitassem um cálculo mais rápido. Para esta etapa foi necessário entrar em contato com pesquisadores que já desenvolveram arquivos climáticos, o que não é comum entre profissionais da área de arquitetura, e em contato com o departamento de engenharia mecânica da UnB para orientar na definição e interpretação dos cálculos e indicar bibliografia específica.

**Conversão do arquivo formatado para extensão \*epw:** depois de organizados e calculados os dados, estes foram formatados em uma planilha de Excel salva em

extensão \*.csv para então ser convertida para a extensão \*.epw. No entanto, vários erros ocorreram impossibilitando que a conversão se completasse, o que demandou um processo de investigação minuciosa dado a dado, checando, por exemplo, se havia algum dado inserido erroneamente. Alguns pequenos erros foram encontrados e corrigidos, mesmo assim o programa não processava a conversão, que só foi possível após colocar em opções regionais (painel de controle) a opção “Inglês (Estados Unidos)”. Como se trata de uma metodologia desenvolvida nos Estados Unidos, pequenas questões como esta podem passar despercebidas.

**Modelagem:** o projeto em questão demandou diversas tentativas de modelagens devido aos constantes erros de simulação explicitados nos relatórios de erros do programa. Foi necessário, em um momento da pesquisa, iniciar toda a modelagem novamente, na tentativa de simplificar ao máximo o processo e evitar os erros. A maior dificuldade foi a modelagem do lanternim, de suas aberturas zenitais e do cobogó. Quanto ao lanternim, foram necessárias diversas tentativas de simplificações, visando não prejudicar a análise termoenergética, enquanto que no caso do cobogó não foi possível sua inserção, tendo que se tomar a decisão de diminuir o PAF das janelas atrás dos mesmos.

**Simulação:** depois de solucionadas as dificuldades comentadas, foram identificadas algumas limitações do programa de simulação escolhido, o *Design Builder*:

- Simular um arquivo por vez, não permitindo a sobreposição de simulações, o que dificulta e torna ainda mais demorado o processo;
- Não abrir mais de um arquivo de uma vez, fazendo-se necessário fechar o arquivo em que se está trabalhando, caso seja preciso verificar algum item em outro arquivo;
- Variáveis alternadas manualmente para cada arquivo, o que além de demorar, aumenta a possibilidade de erros;
- Execução demorada de simulações de modelos complexos;
- Não fornecer dados de análise separados para cada zona, o que prejudica a obtenção de várias informações em uma só simulação. Este fato pode ter prejudicado a simulação para comprovação do POC que, em ambientes naturalmente ventilados ou não-condicionados, teve que ser realizada zona a

zona, e não se sabe se o programa considera as trocas térmicas entre os ambientes ao se realizar uma simulação para partes do edifício, e não para o edifício completo.

Na **comparação entre os dois métodos aplicados** concluiu-se que as principais divergências entre os resultados obtidos no **método prescritivo da envoltória e método da simulação da envoltória** e os resultados obtidos para **a parcela relativa à envoltória da equação da etiqueta geral com e sem simulação da ventilação natural**, bem como a **PT (Pontuação total) do método simulação** estão diretamente relacionadas à simulação da ventilação natural para obtenção do POC (percentual de horas ocupadas em conforto). As áreas não condicionadas bem maiores que as áreas condicionadas, a simulação separada para cada ambiente não-condicionado e a exclusão dos cobogós pode ter prejudicado os resultados, tendo como consequência classificações de PT do prescritivo para a parcela referente à envoltória da etiqueta geral e PT da simulação diferentes das classificações obtidas nos métodos prescritivo e simulação para envoltória.

Para a maior parte das cidades brasileiras é necessário o desenvolvimento de um arquivo climático específico e as dificuldades apresentadas indicam que não estamos bem preparados para resolver esta questão, uma vez que ainda é muito demorada a disponibilização dos dados climáticos necessários, e estes também apresentam diversas falhas, como uma grande quantidade de dados nulos.

Há uma necessidade de facilitar o acesso aos dados climáticos horários medidos nas estações automáticas brasileiras e, ainda, a implantação de novas estações automáticas aperfeiçoando o processo de obtenção e transmissão de dados (evitando a perda comum de dados), visando à aplicação em simulações de edificações.

A simulação computacional, conforme evidenciado na literatura, depende em grande parte de um arquivo climático confiável. Uma base de dados horários organizado para esta finalidade e uma metodologia precisa para obtenção do arquivo climático, permitiria um maior avanço nas pesquisas relacionadas à eficiência energética das edificações e cidades. O método simulação também reflete uma necessidade do RTQ-C, em que se indica simular edifícios de projetos mais

complexos, no entanto, os elementos constituintes destes edifícios, como brises, cobogós, etc., tornam a simulação pesada ou até mesmo impossível de ser realizada em alguns casos. Também se faz necessária uma análise aprofundada à respeito do desempenho dos programas de simulação quando se simula edifícios que possuam área condicionadas e não-condicionadas.

Espera-se, portanto, que pesquisas como esta possam incentivar e facilitar a apropriação do conhecimento das metodologias envolvidas na aplicação do RTQ-C, permitindo que regulamentações como esta sejam aplicadas em um número cada vez maior de cidades, além da formação de um banco de dados de edifícios etiquetados.

Como **sugestões para trabalhos futuros** indicam-se:

- Desenvolvimento de arquivos climáticos horários de simulação para outras cidades, visando progredir no sentido de eliminar possíveis erros no processo de análise, tratamento e formatação dos dados climáticos, além de evoluir na aplicação do método simulação;
- Visando uma melhor comparação dos métodos prescritivo e simulação, testá-los alterando as variáveis (PAF, orientação das fachadas, ângulos de sombreamento), bem como analisar de forma mais detalhada a influência da ventilação nos ambientes naturalmente ventilados;
- Investigar o desempenho do programa de simulação *DesignBuilder* ao simular edifícios que possuam zonas condicionadas e não- condicionadas;
- Análise tipológica mais extensa dos campi da Universidade Federal de Uberlândia, seguida de simulações, visando a definição de recomendações para novas construções;
- Análise tipológica da cidade de Uberlândia, visando a definição de recomendações para novas construções.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais até 5 pavimentos – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático e Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo para Habitações de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1991.

AMORIM, C. N. D. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I. Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável. **Revista Paranoá**, Brasília, v.4, 2002. Disponível em: [http://vsites.unb.br/fau/pos\\_graduacao/paranoa/paranoa.htm](http://vsites.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm). Acesso em 22 de novembro de 2011.

AMORIM, C. N. D. Eficiência energética em edificações: ações e perspectivas para a universidade de Brasília. **Universidade para o século XXI**. Organizadores: Vera Catalão, Philippe Layargues, Izabel Zanetti Brasília: Cidade Gráfica e Editora, 2011.

ALVES, Alceu F. **Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático de painéis fotovoltaicos**. Tese de Doutorado, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2001 ASHRAE Applications Handbook**. Cap. 32. Atlanta, 2001a.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2001 ASHRAE Fundamentals Handbook**. Cap. 30. Atlanta, 2001b.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 55-2004**. Atlanta, 2004.

BERTE, V. A. **Caracterização da solicitação térmica para avaliação de desempenho térmico de edificações**. Uberlândia: Caderno de Arte, UFU, 1998. 8p.

BERTE, V. A. **Acondicionamento térmico natural: análise de caso na cidade de Uberlândia – MG**. 180f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Estruturas Ambientais Urbanas, USP, 2000.

BRASIL. 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.

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.

BUTERA, F. M. **Da caverna à casa ecológica**. História do conforto e da energia. Tradução de Elza Bassetto. São Paulo: Nova Técnica, 2009.

CARLO, J. C. **Diferenças na simulação do consumo de energia elétrica em edificações decorrentes do uso de arquivos climáticos de sítios e distintos**. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2002.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação de Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2008.

CARLO, J. C.; TOCOLINI, G.; LAMBERTS, R. **Verificação das características externas de edificações em quatro capitais brasileiras**. In: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, X, 2005, Maceió. **Anais...**São Paulo: ANTAC/UFAL, 2005, 10p. CD-ROM.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1 – método prescritivo. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v.10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2 – método simulação. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v.10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar Engineering of thermal processes**. 3. ed.. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. 908p.

EDWARDS, Brian. **Guía básica de la sostenibilidad**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2008.223p.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Auxiliary Programs**. US Department of Energy, 12 de outubro de 2010. Disponível em: <[www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)>. Acesso em: 22 dez. 2010.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade em projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. 342f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2008.

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

GOMIDE, P. A. F. S.; SILVA, F. C. Análise de desempenho termo-luminoso em edifícios da Universidade Federal de Uberlândia. In: Seminário de Iniciação Científica, VII, 2008, Uberlândia. Anais... Uberlândia: UFU, 2008, 10p.

GOULART, S. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1993.

GOULART, S. Metodologia para identificação do TRY [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Laura Resende Tavares ([lauraresende@yahoo.com.br](mailto:lauraresende@yahoo.com.br)) em 7 de julho de 2010.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de pesquisa em construção - UFSC, 1998. 345p.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas (1961/1990)**. Brasília, INMET - Instituto Nacional de Meteorologia/Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1992.

INMET. **Funcionamento do piranômetro** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Laura Resende Tavares ([lauraresende@yahoo.com.br](mailto:lauraresende@yahoo.com.br)) em 22 de outubro de 2010.

INMET. **Sobre a codificação internacional**. Mensagem recebida por Laura Resende Tavares ([lauraresende@yahoo.com.br](mailto:lauraresende@yahoo.com.br)) em 06 de junho de 2011.

INMETRO. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislação>. Acesso em 23 de setembro de 2010.

LABEEE/UFSC/PROCEL EDIFICA/ELETOBRÁS/INMETRO. **Volume 1: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, 2009**. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/Volume\\_1\\_Apresenacao\\_Etiquetagem.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/Volume_1_Apresenacao_Etiquetagem.pdf). Acesso em 29 de agosto de 2009.

LABEEEE/UFSC/PROCEL EDIFICA/ELETOBRÁS/INMETRO. **Volume 4: Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C, 2010.** Disponível em: [http://www.labeeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/Volume\\_4\\_Manual\\_V2010-2.pdf](http://www.labeeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/Volume_4_Manual_V2010-2.pdf). Acesso em 15 de outubro de 2010.

LABEEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Relatório 200504 - Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações. Labeeee, 28 de fevereiro de 2005. Disponível em: <[www.labeeee.ufsc.br](http://www.labeeee.ufsc.br)>. Acesso em: jan. 2010.

LABEEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. ANALYSIS Bio. Versão 2.2. UFSC – ECV – NPC – LabEEEE, 2010. Disponível em: <[www.labeeee.ufsc.br](http://www.labeeee.ufsc.br)>. Acesso em: jan. 2010.

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

LAMBERTS, R.; CARLO, J. **Uma discussão sobre a Regulamentação de Eficiência Energética em Edificações.** In: Congresso de Condicionador de ar, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do MERCOSUL, 2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997. 192p.

LIMA, R. V. S. **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, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2007.

LIMA, R. V. S. **Processo de modelagem no *DesignBuilder*** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Laura Resende Tavares ([lauraresende@yahoo.com.br](mailto:lauraresende@yahoo.com.br)) em 13 de julho de 2011.

LIMA, T. B. S.; AMORIM, C. N. D. **Levantamento das características tipológicas de edifícios de escritórios em Brasília.** In: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, X, 2007, Ouro Preto. **Anais...**São Paulo: ANTAC/UFRN, 2009, 10p. CD-ROM.

LIMA, T. B. S. **Elaboração da carta bioclimática no programa Analysis Bio** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Laura Resende Tavares ([lauraresende@yahoo.com.br](mailto:lauraresende@yahoo.com.br)) em 06 de maio de 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2009: ano base 2008.** Brasília: MME, 2009. 276 p.

NASCIMENTO, A. Diferenças regionais dificultam tropicalização do LEED. **Revista Sistemas Prediais**, São Paulo, maio/junho 2010.

NEGREIROS, B. de A. **Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo.** Dissertação

(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFRN, 2010, 107p.

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, V. **Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, L. P de. **Estrutura metodológica para avaliação ambiental do projeto arquitetônico com base em critérios prescritivos e de desempenho das certificações de edifícios.** 347f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UnB, 2009.

OTEC. Apostila do Curso DesignBuilder e CFD, 2009.

PEDRINI, A.; VENÂNCIO, R. **Treinamento para o Programa Design Builder.** Natal: UFRN, 2009, 73p.

PEREIRA, Iraci M. **Novas metodologias para simulação energética de edificações: Estudo de caso.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PEREIRA, I.; ALVES, T.; PINHEIRO, R.; ASSIS, E. **Metodologia de tratamento de dados climáticos para inserção em softwares de simulação energética de edifícios.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, X, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004, 15p. CD-ROM.

PESSOA, V. L. S. Fundamentos de metodologia científica para elaboração de trabalhos acadêmicos: material para fins didáticos. Uberlândia, 2007.

PIMENTA, João. Ar condicionado: Cálculo de Carga Térmica. Julho a Dezembro de 2009. 237 slides. Notas de Aula. Apresentação MS PowerPoint.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; FERGUS, N. A **Adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas.** Um guia de sobrevivência para o século XXI. Tradução de A. Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2009. 384p.

ROSSI, F. A.; DUMKE, E.; KRÜGER, E.L. **Atualização do Ano Climático de Referência para Curitiba.** In: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, X, 2009, Natal. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFRN, 2009, 10p. CD-ROM.

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.

SANTANA, M. V.; GHISI, E. Influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis. In: Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, X, 2009, Natal. Anais... São Paulo: ANTAC/UFRN, 2009, 10p. CD-ROM.

SEPLAMA - SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. Banco de dados integrados. Uberlândia: Prefeitura Municipal de Uberlândia, 2009.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros:** diretrizes e base metodológica. 258 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2003.

SILVA, V. G. **Documento 5. Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios:** estado atual e discussão metodológica. Projeto FINEP, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br>. Acesso em: 10 de maio 2008.

SUZUKI, E. H. **Avaliação do Conforto térmico e do Nível de CO<sub>2</sub> em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2010, 147p.

TAUCHEN, J; BRANDLI, L. L. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. **Gestão e Produção**, v.13, 2006. Disponível em: [www.Scielo.br/pdf/GP/v13n3/11.pdf](http://www.Scielo.br/pdf/GP/v13n3/11.pdf). Acesso em 15 de novembro de 2011.

TAVARES, L. R.; AMORIM, C. D. N. **Identificação do ano climático de referência para a cidade de Uberlândia – MG.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XIII, 2010, Canela. **Anais...**São Paulo: ANTAC, 2010, 10p. CD-ROM.

TAVARES, L. R.; AMORIM, C. D. N. **Identificação do ano climático de referência para a cidade de Uberlândia – MG.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XIII, 2010, Canela. **Anais...**São Paulo: ANTAC, 2010, 10p. CD-ROM.

TAVARES, L. R.; AMORIM, C. D. N. **Elaboração do arquivo climático horário da cidade de Uberlândia-MG para simulação de desempenho energético segundo o RTQ-C.** In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, XIII, Encontro Latino-americano de Conforto do Ambiente Construído, 2011, Búzios. **Anais...**Rio de Janeiro: UFRJ, 2011, 10p. CD-ROM.

YOGORO, A. **Parametrização para desempenho térmico e luminoso em edificações da cidade de Uberlândia e região**. 33p. Relatório (Iniciação científica - FAPEMIG) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo , UFU / Uberlândia, 2006.

## **SITE DA INTERNET**

ELETROBRÁS – PROCEL (simuladores). Acesso em 15 de Nov. 2010.

<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View=%7BA6340DFB-8A42-41FC-A79D-B43A839B00E9%7D&Team>

ELETROBRÁS – PROCEL (apresentação). Acesso em 21 de Mai. 2011.

<http://www.eletronbras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={A8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55}>

FUNDAÇÃO VANZOLINI . Acesso em 13 de Mar.2011.

<http://www.vanzolini.org.br>

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Acesso em 29 de Out.2011.

<http://www.labee.ufsc.br/projetos/etiquetagem/comercial/edificios-etiquetados>

## **APÊNDICE**

## **APÊNDICE A – SIMULAÇÕES**

## SIMULAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO – MODELO REAL

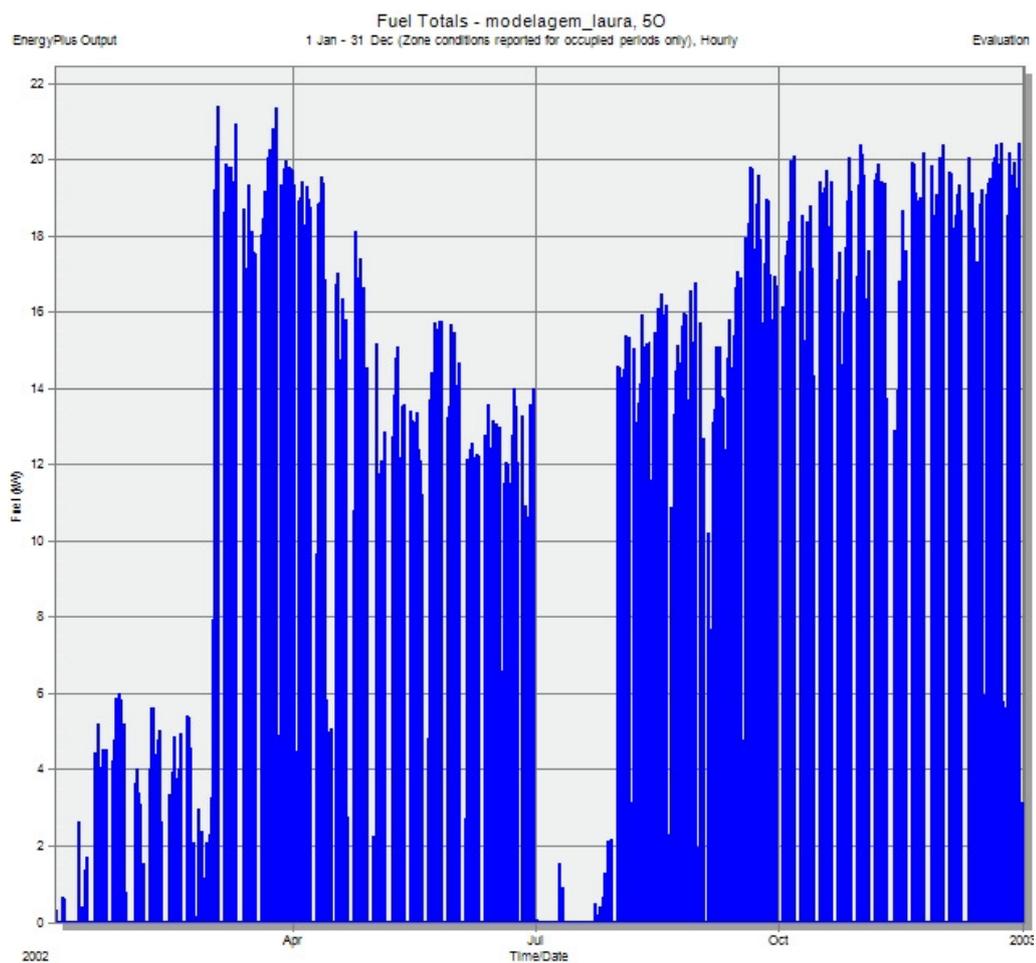


Figura 52 - Consumo horário de energia elétrica do edifício “Bloco 50” – Modelo Real

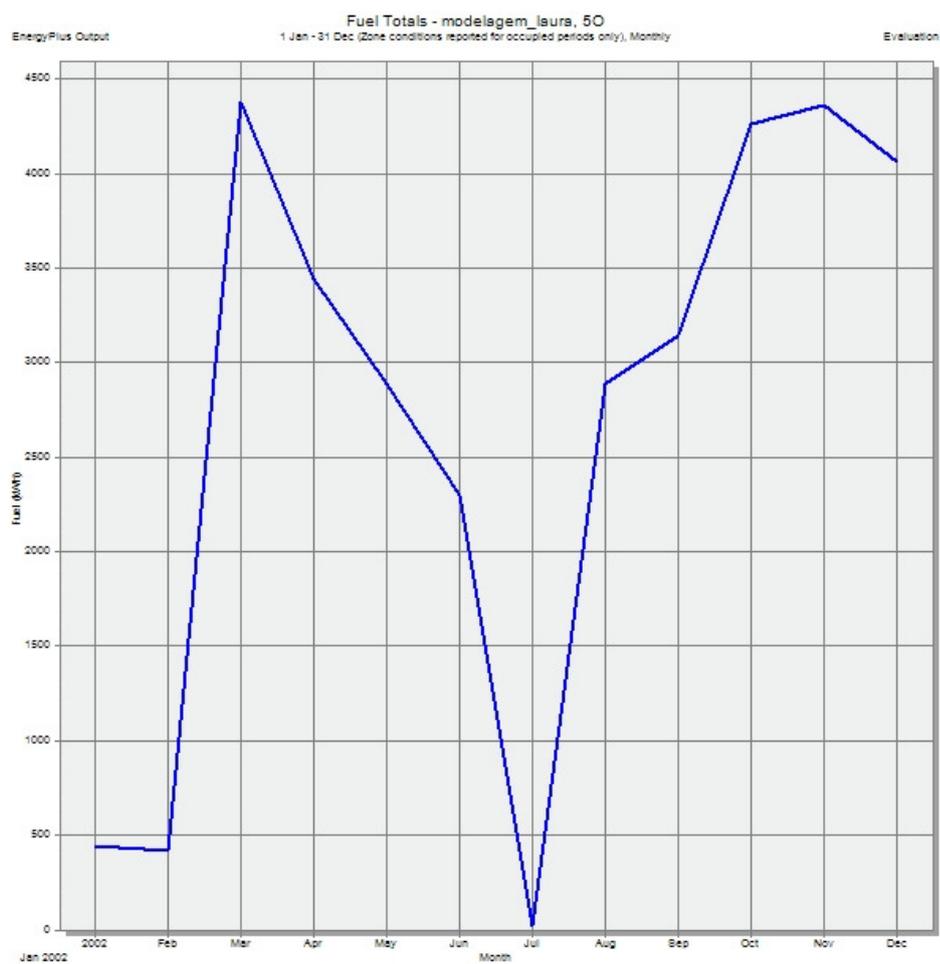


Figura 53 - Consumo mensal de energia elétrica do edifício “Bloco 50” – Modelo Real

## SIMULAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO – MODELO DE REFERÊNCIA

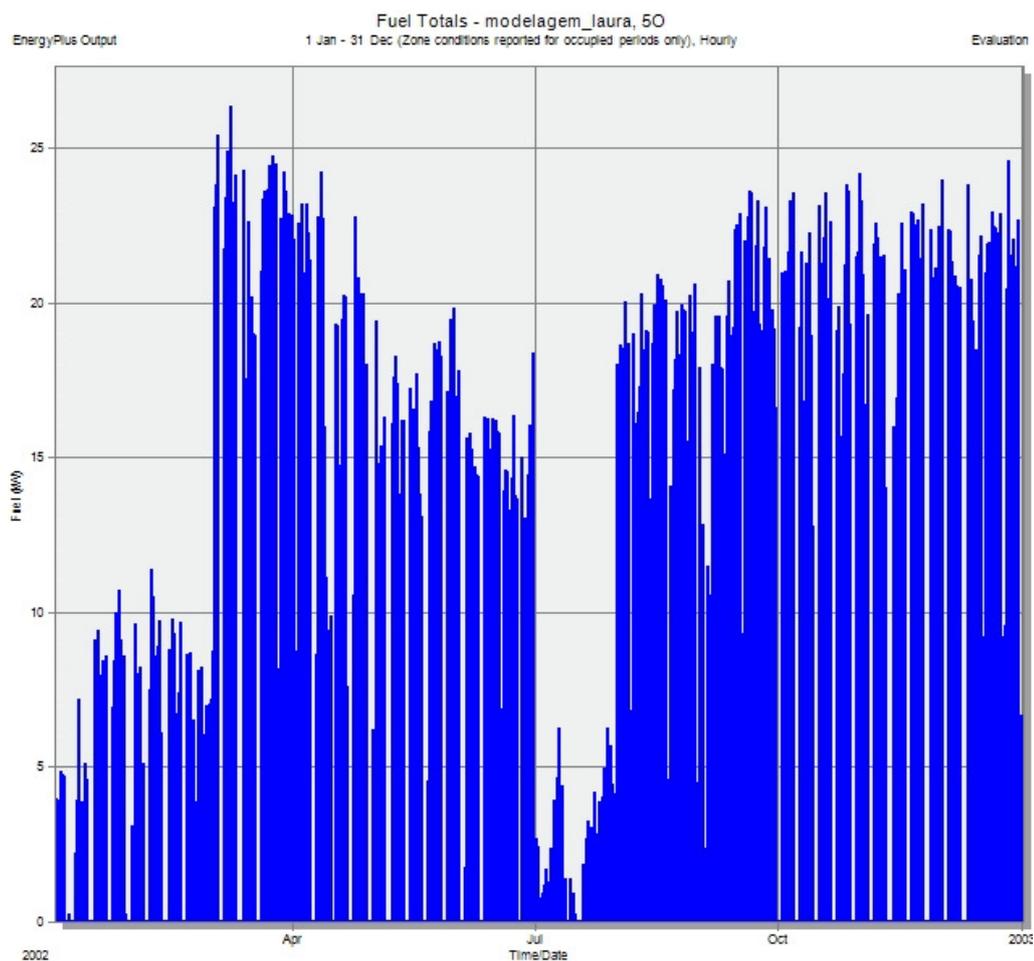


Figura 54 - Consumo horário de energia elétrica do edifício “Bloco 50” – Modelo de Referência

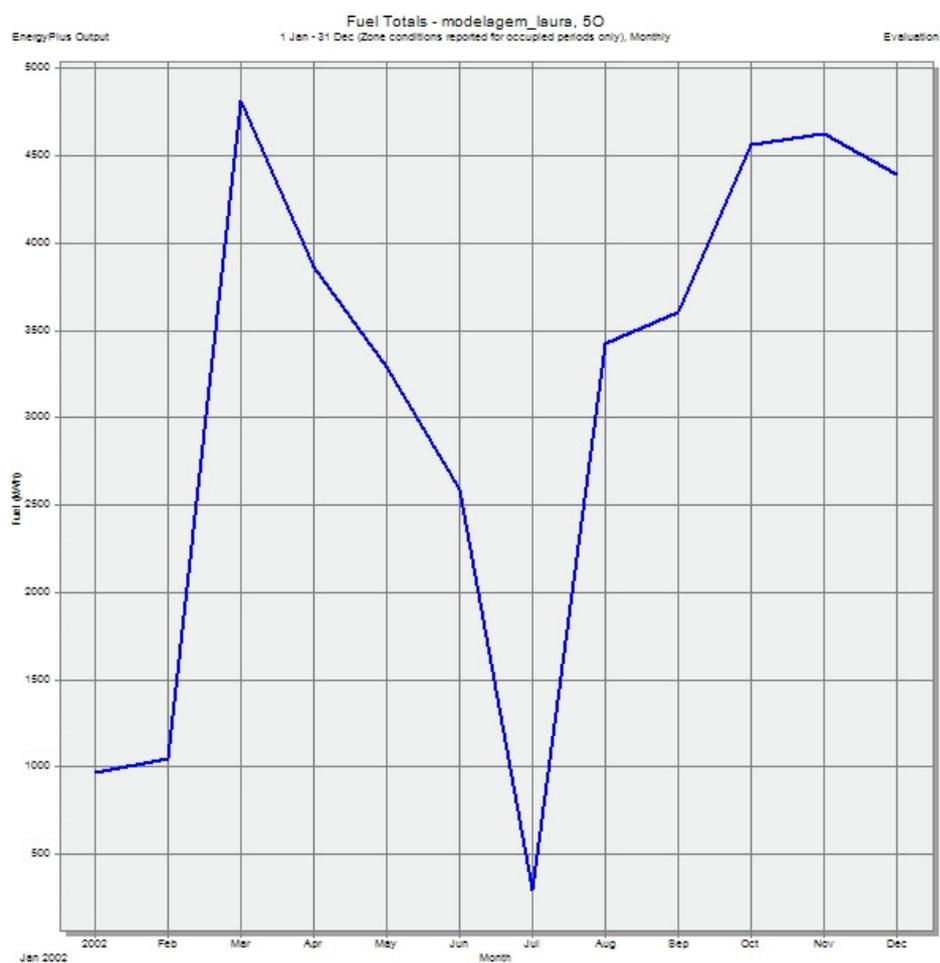


Figura 55 - Consumo horário de energia elétrica do edifício “Bloco 50” – Modelo de Referência

## SIMULAÇÃO DO POC

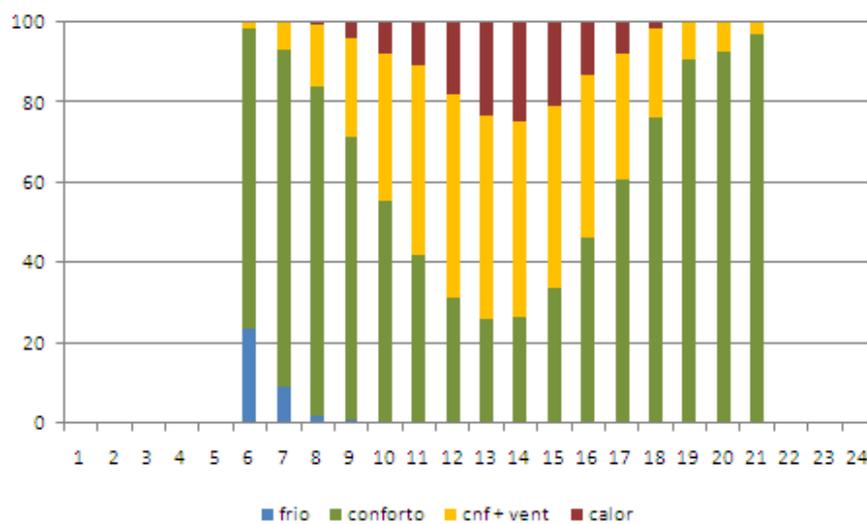


Figura 56 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Térreo

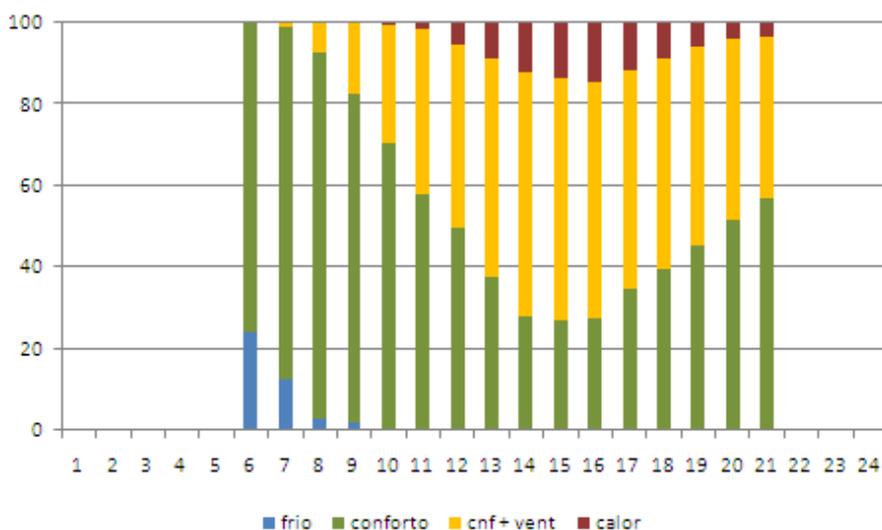


Figura 57 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 3 Térreo

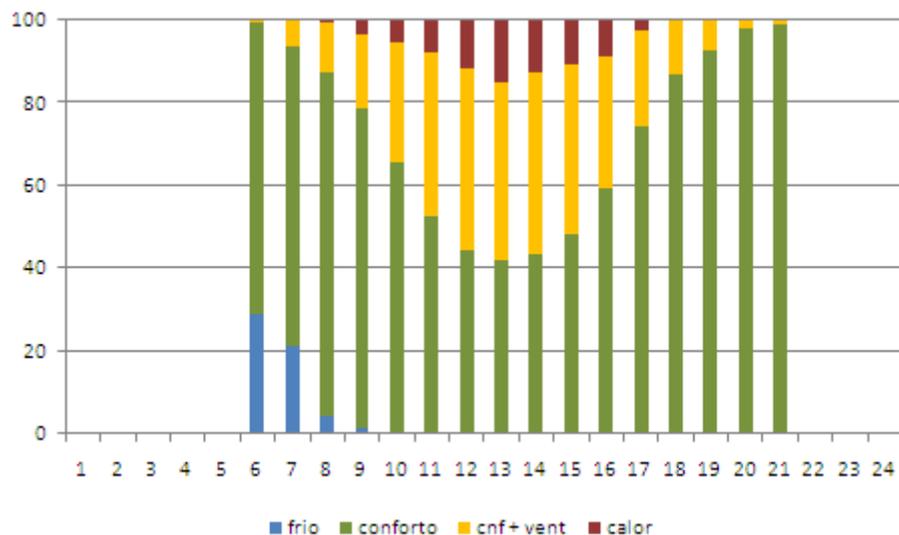


Figura 58 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Térreo

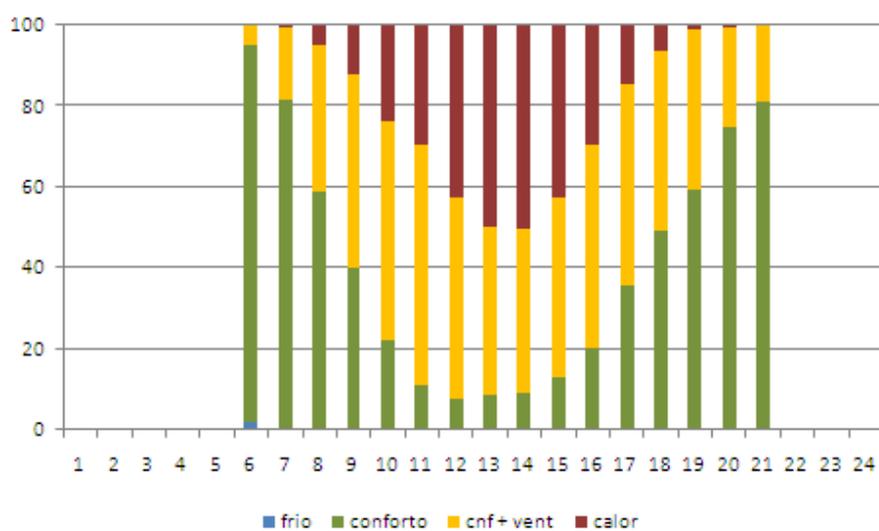


Figura 59 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Pav. 1 Parte 1

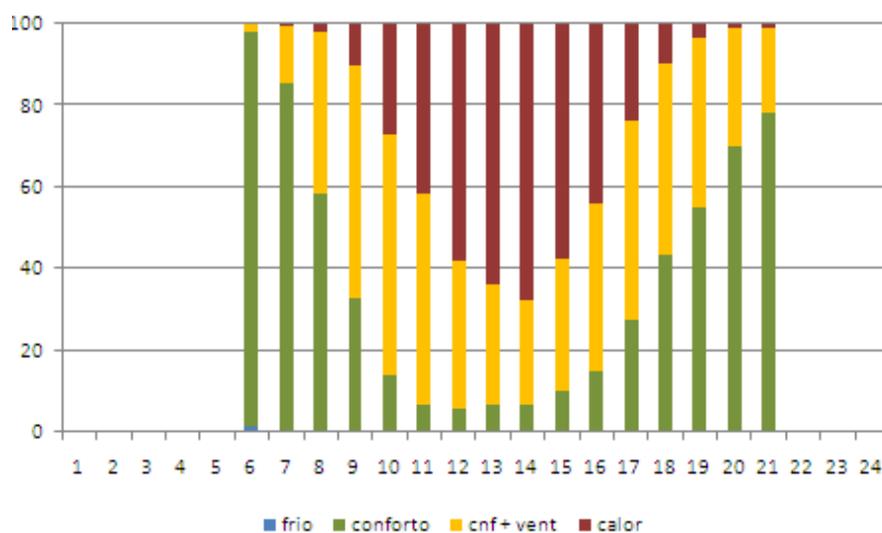


Figura 60 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 3 Pav. 1 Parte 1

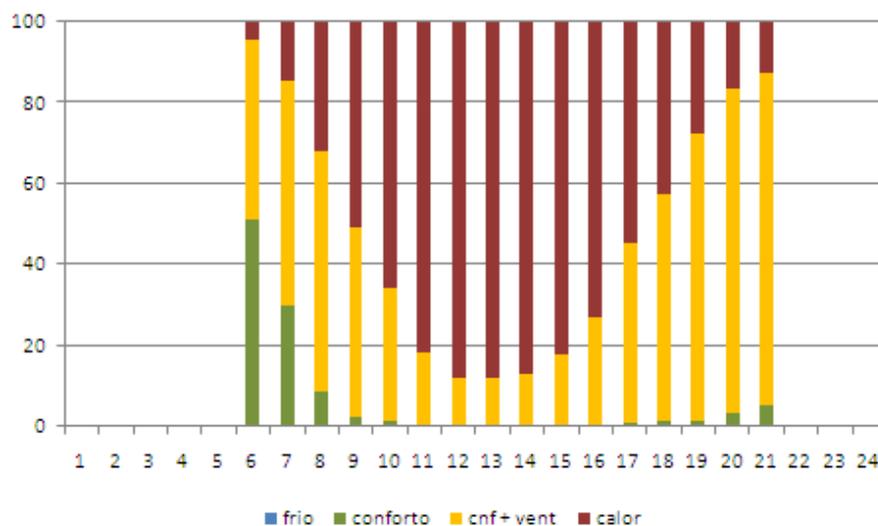


Figura 61 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Pav. 1 Parte 1

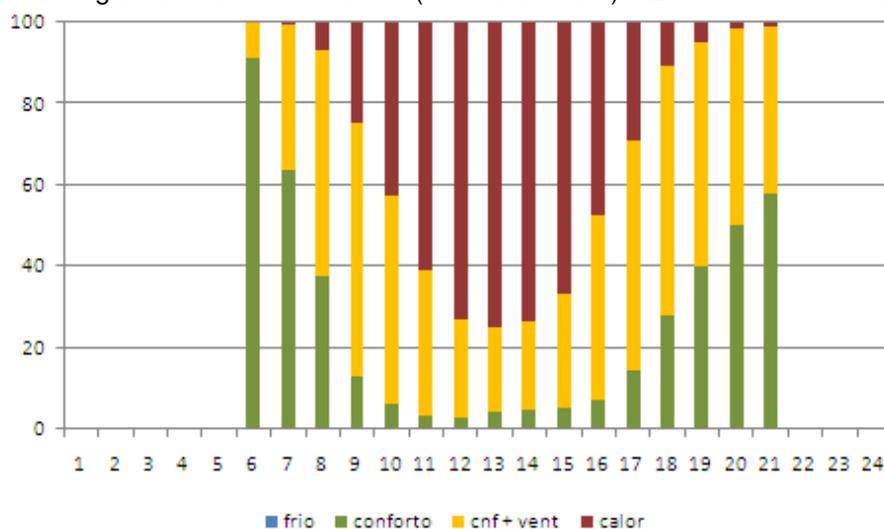


Figura 62 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 5 Pav. 1 Parte 1

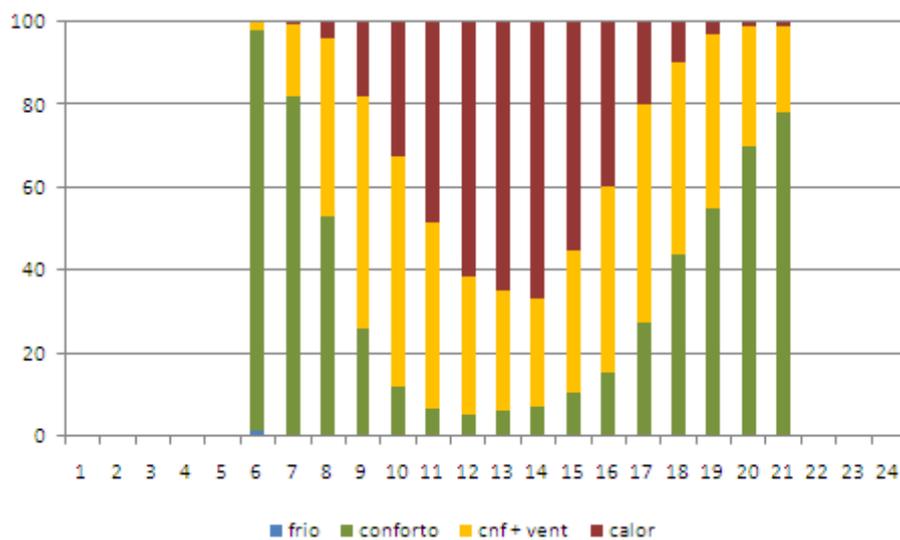


Figura 63 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 6 Pav. 1 Parte 1

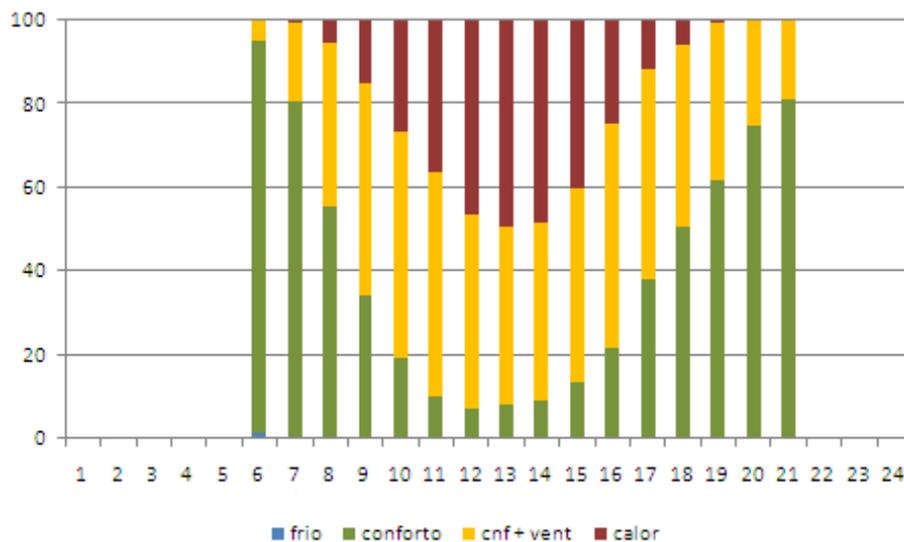


Figura 64 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 7 Pav. 1 Parte 1

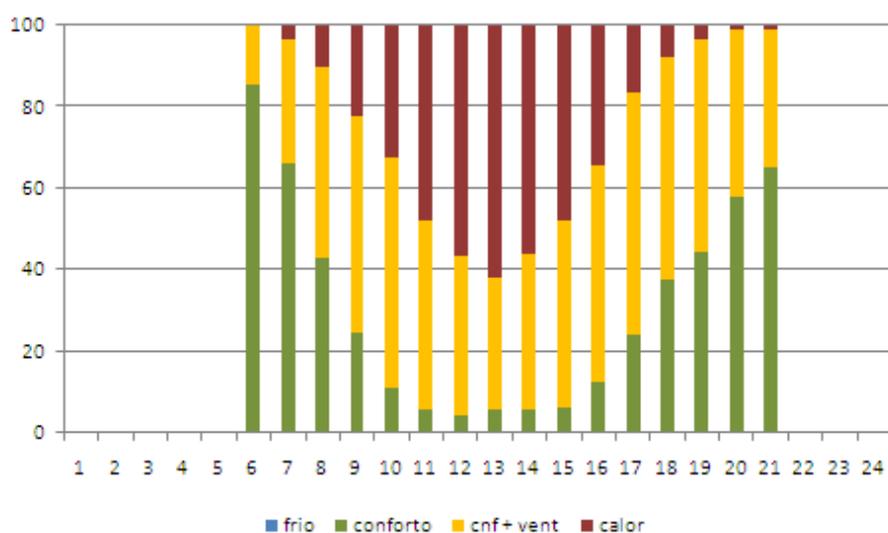


Figura 65 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 8 Pav. 1 Parte 1

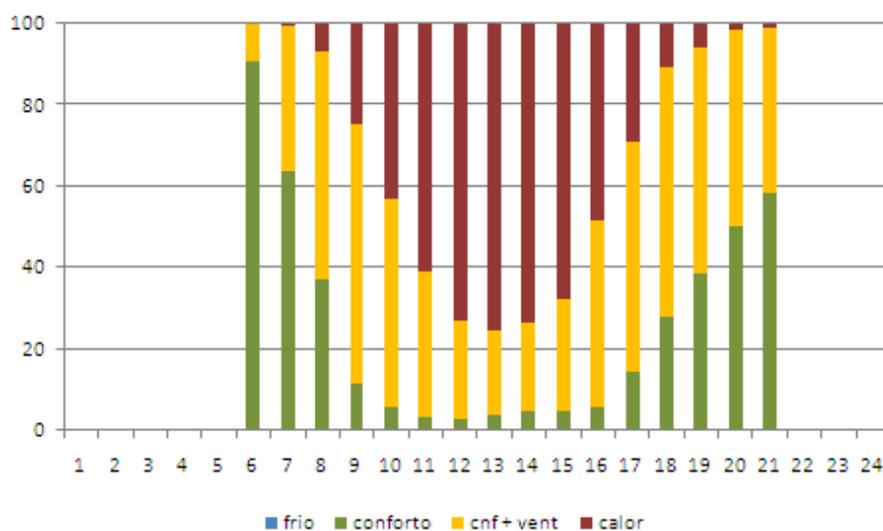


Figura 66 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Pav. 1 Parte 2

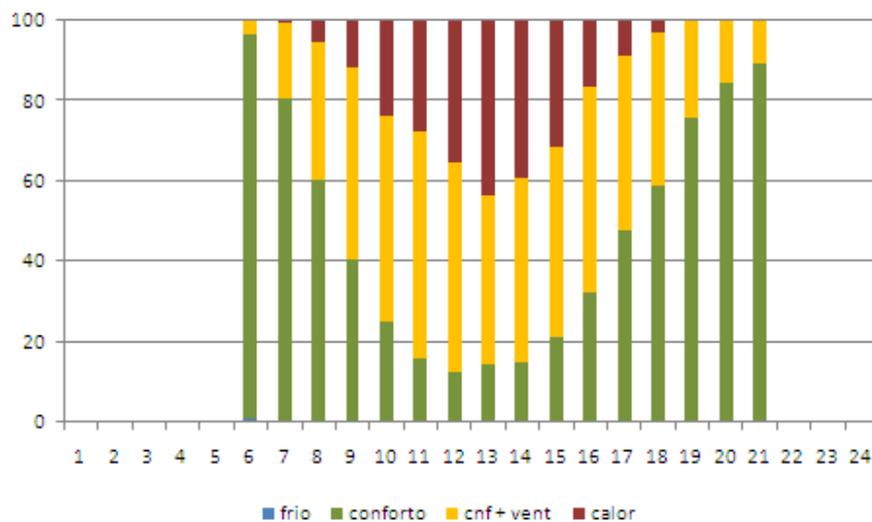


Figura 67 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 2 Pav. 1 Parte 2

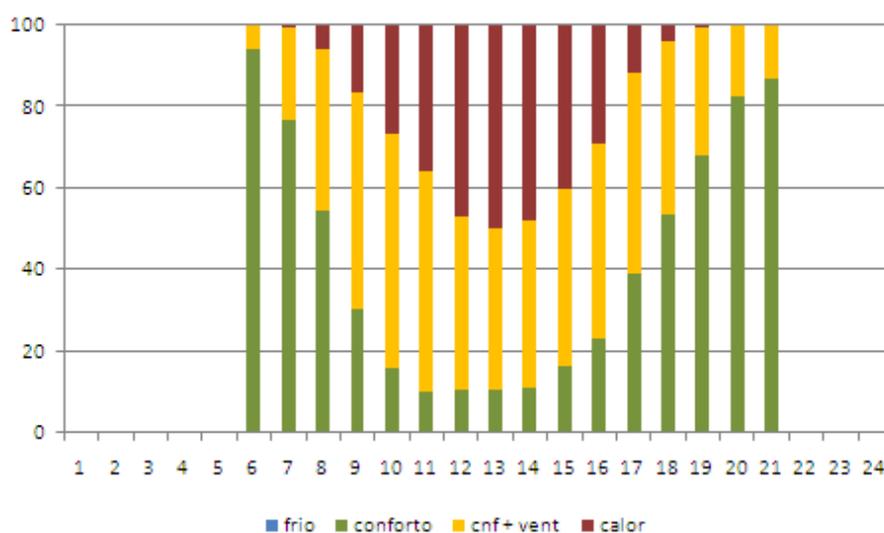


Figura 68 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 3 Pav. 1 Parte 2

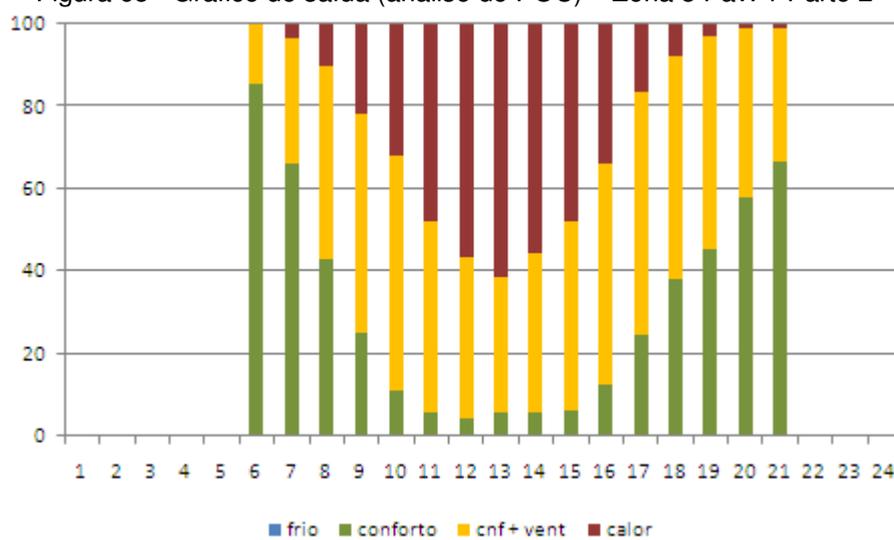


Figura 69 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Pav. 1 Parte 2

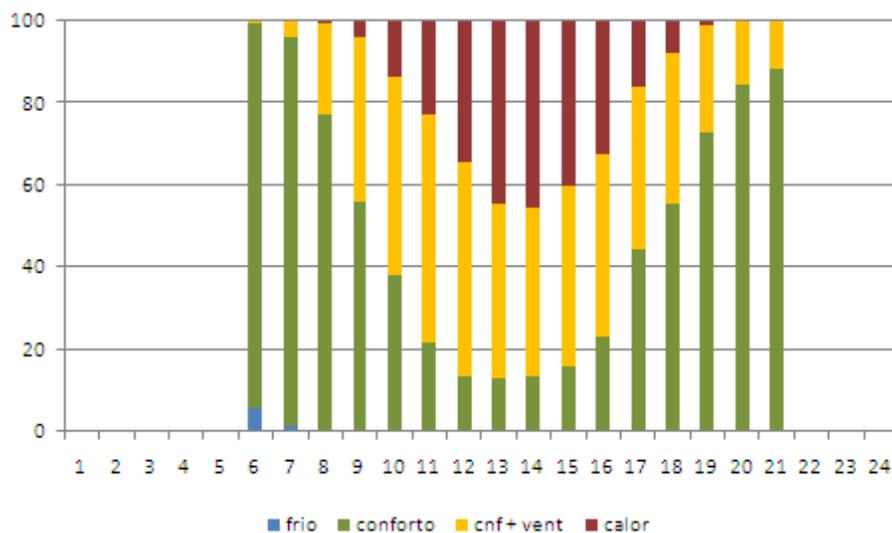


Figura 70 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 1 Pav. 2

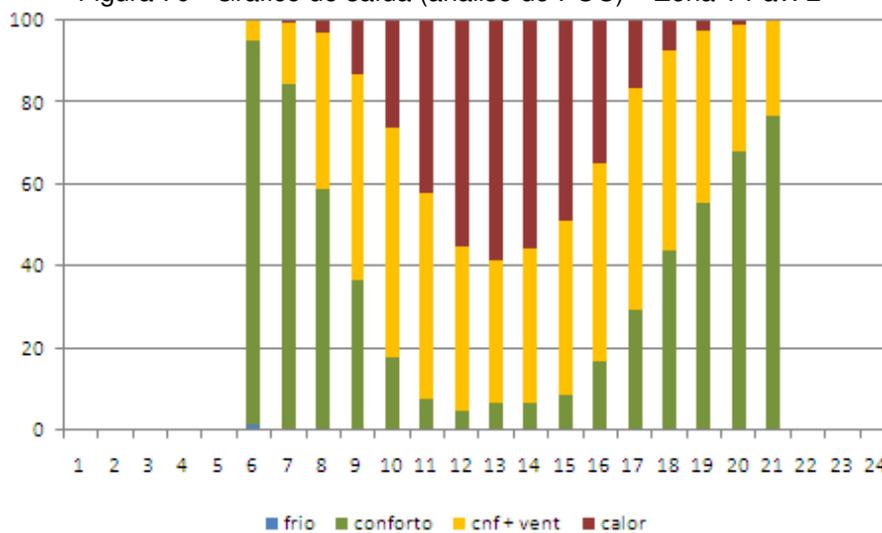


Figura 71 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 4 Pav. 2

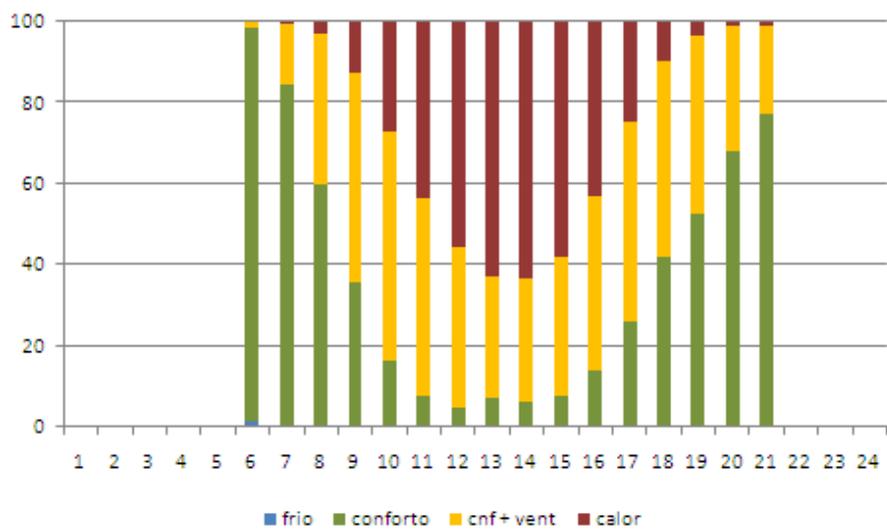


Figura 72 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 5 Pav. 2

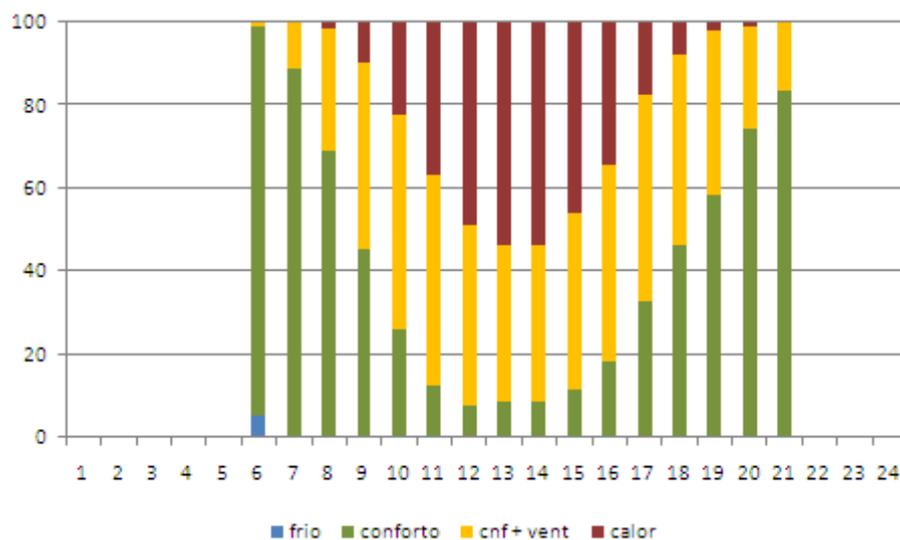


Figura 73 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 6 Pav. 2

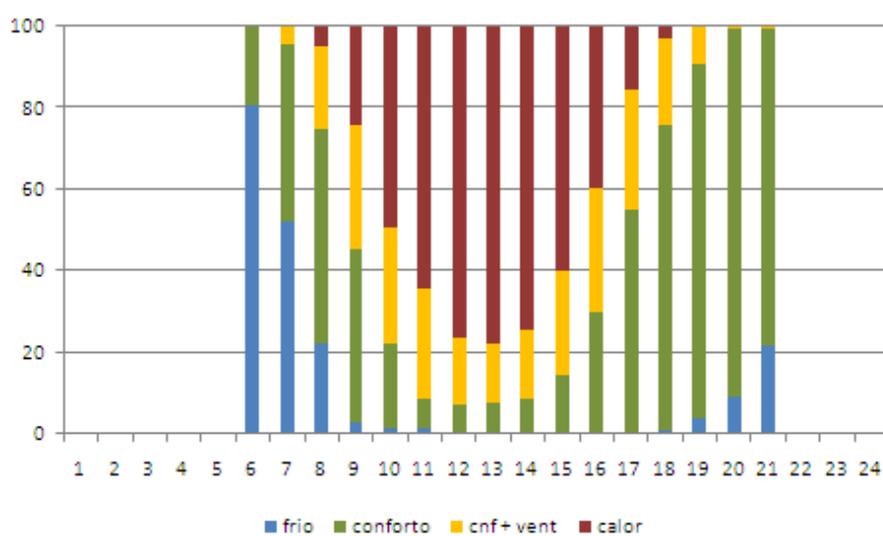


Figura 74 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 7 Pav. 2

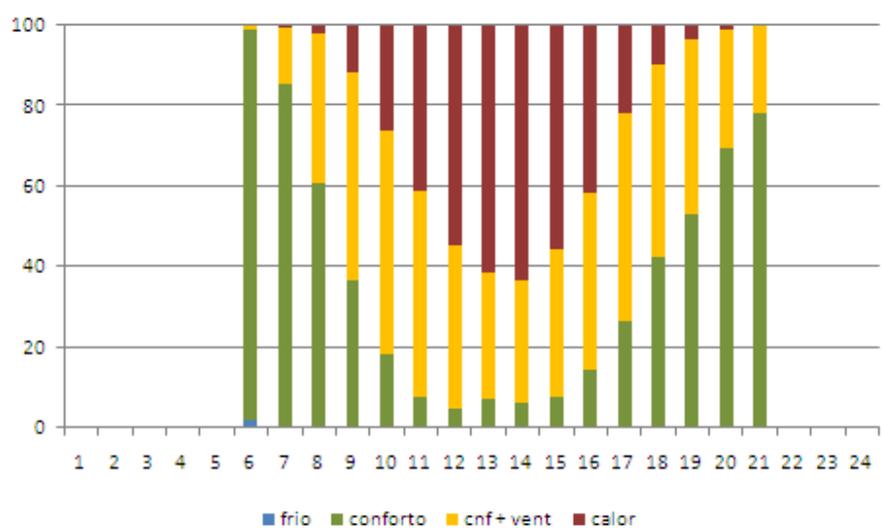


Figura 75 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 8 Pav. 2

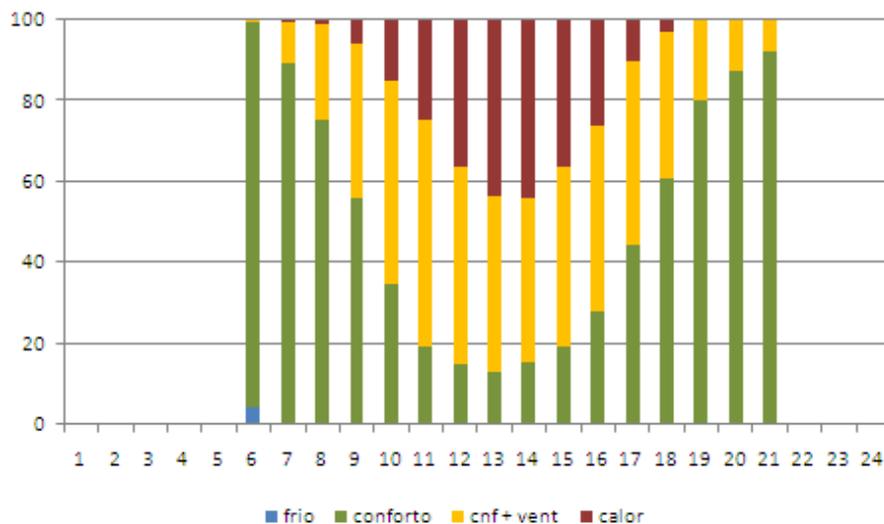


Figura 76 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 9 Pav. 2

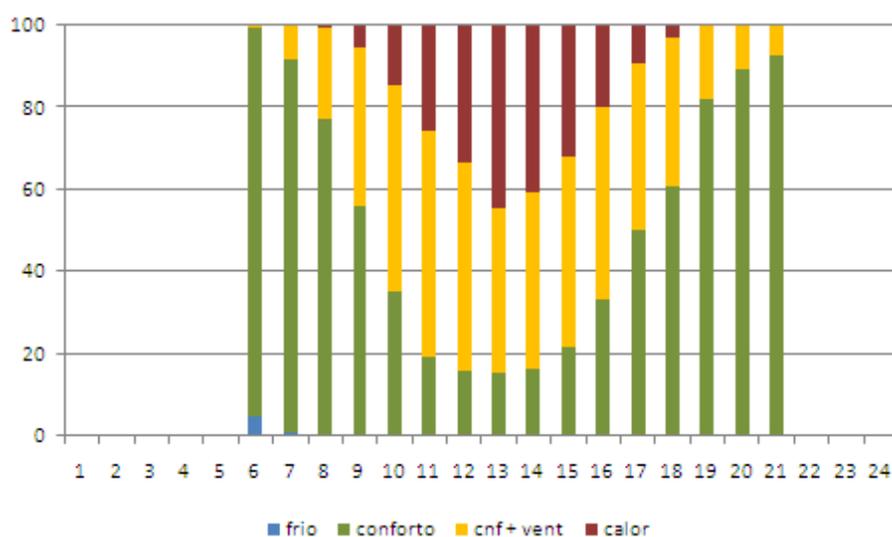


Figura 77 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 10 Pav. 2

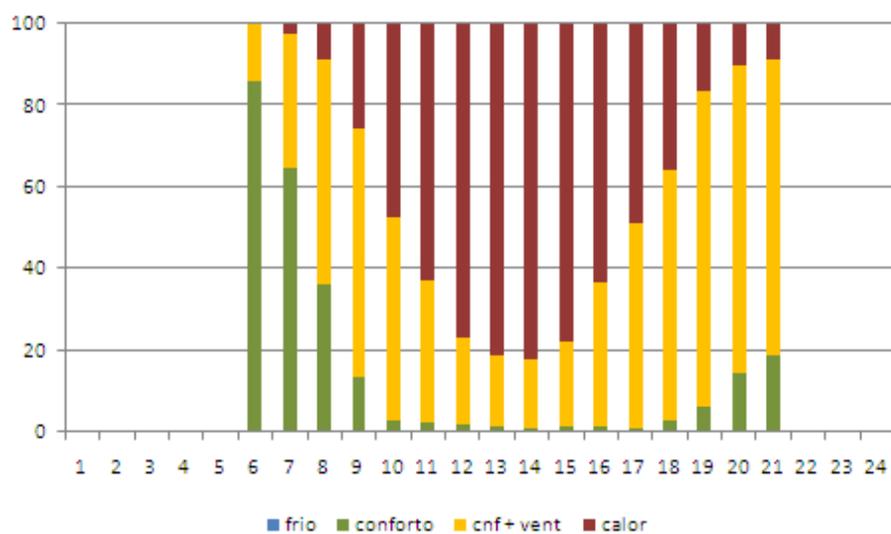


Figura 78 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 13 Pav. 2

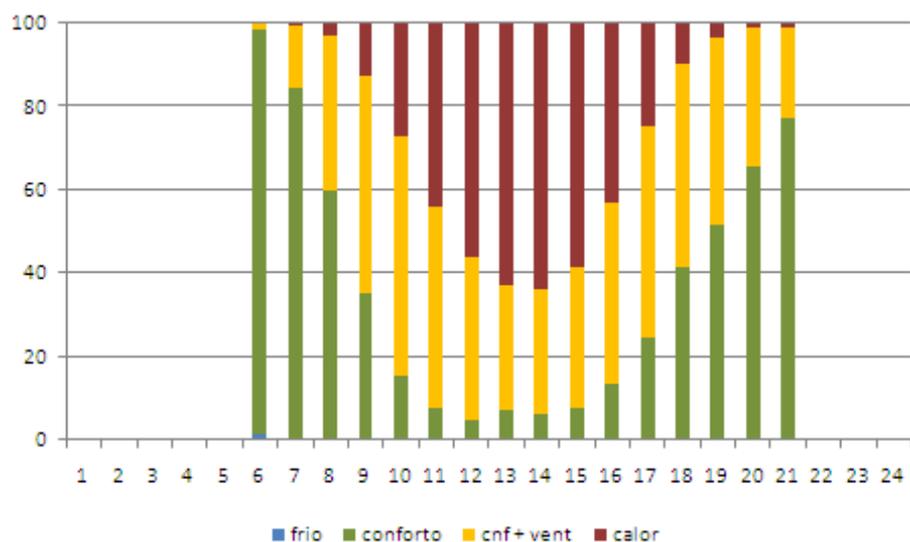


Figura 79 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 14 Pav. 2

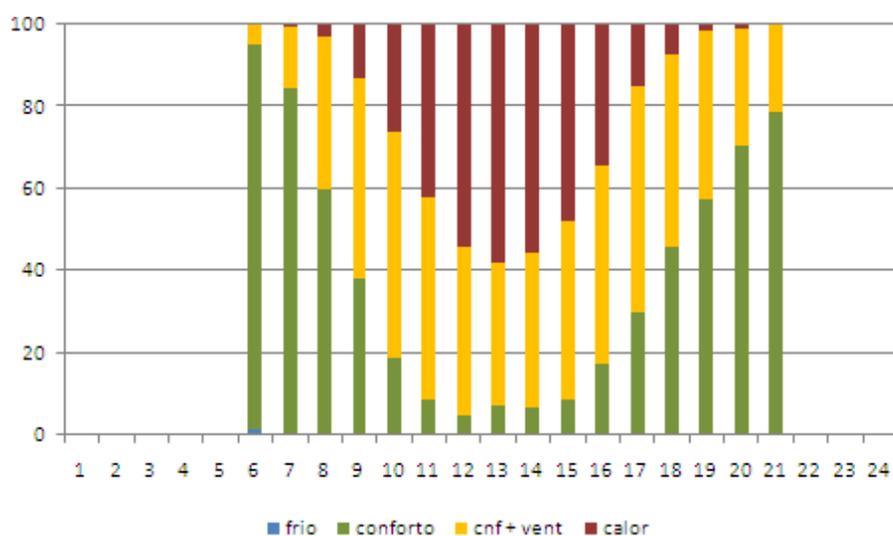


Figura 80 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 16 Pav. 2

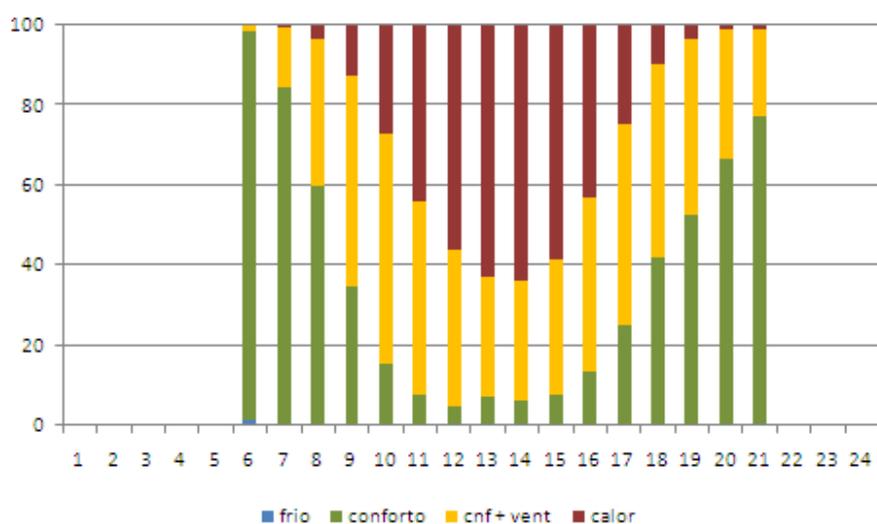


Figura 81 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 17 Pav. 2

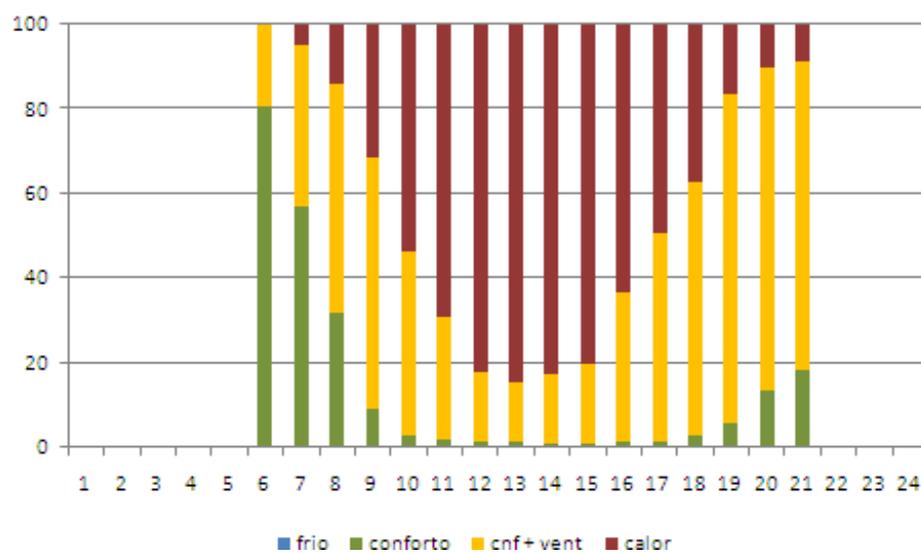


Figura 82 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 18 Pav. 2

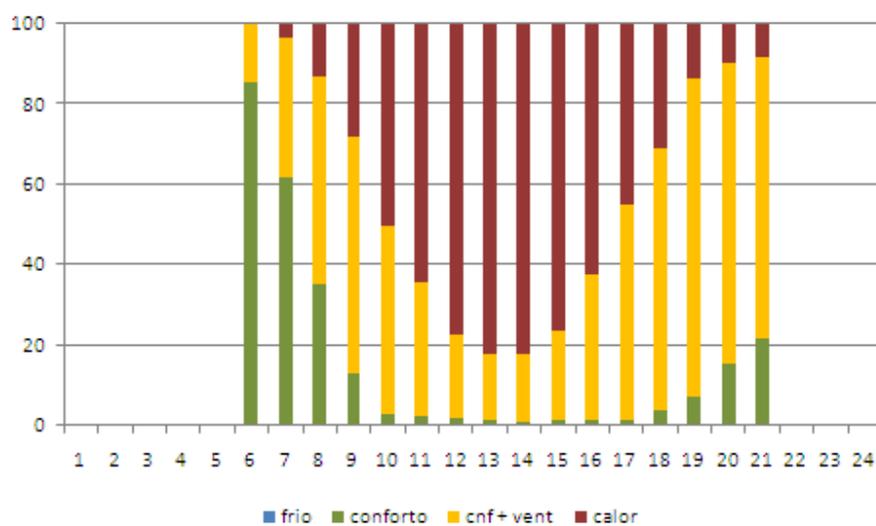


Figura 83 - Gráfico de saída (análise do POC) – Zona 19 Pav. 2

## **ANEXOS**

## **ANEXO A – ELABORAÇÃO DA CARTA BIOCLIMÁTICA**

Para obtenção da carta bioclimática no Programa Analysis Bio 2.2 (LABEEE, 2010) segue-se a seguinte sequência (LIMA, 2010):

1. Os dados horários do ano TRY devem ser digitados em uma planilha (foi utilizado o programa Excel): colocam-se dados de TBS -Temperatura de bulbo seco e TBU- temperatura de bulbo úmido ou TBS e UR – Umidade relativa<sup>26</sup> (neste caso foram utilizados os dados de TBS e UR);
2. Salva-se a planilha na extensão de arquivo \*.txt;
3. Abre-se o programa Analysis Bio: item ferramentas, opção gerar TRY;
4. Procura-se o arquivo \*.txt;
5. Nomea-se o TRY;
6. Indica-se o intervalo dos dados utilizados e a data de início dos dados;
7. Em DADOS AMBIENTAIS opta-se por altitude ou pressão barométrica e insere-se o valor correspondente (nesta pesquisa optou-se por altitude);
8. Em DADOS DE ENTRADA, opta-se por umidade relativa ou temperatura de bulbo úmido (nesta pesquisa optou-se por umidade relativa);
9. Clica-se em OK e o arquivo em extensão \*.try será gerado;
10. Em OPÇÕES, escolhe-se “Análise bioclimática TRY” e clica-se no arquivo \*.try gerado
11. Clica-se em ABRIR e a carta bioclimática será gerada.

---

<sup>26</sup> Os dados não podem conter vírgulas (decimais) e os valores de temperatura devem ser multiplicados por 10.

**ANEXO B – TABELAS COM DADOS ESTATÍSTICOS GERADOS NO  
APLICATIVO *WEATHER STATISTICS AND CONVERSIONS***

Tabela 29 – Estatísticas mensais de temperatura de bulbo seco

TBS (°C)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximas	33.2	30.9	30.1	30.3	28	27.4	30.5	31.7	33.2	32.1	32	30.2
Mínimas	17.4	17.6	18.7	15.8	11.4	9.2	13	11.8	9.2	17.3	13.4	18.5
Médias diárias	23.9	23.8	23.2	22.7	20	19.7	20.6	23	22.8	22.6	22.8	23

Nota: TBS (temperatura de bulbo seco) máxima de 33.3°C em 25 de janeiro e TBS mínima de 9.2°C em 28 de junho.

Tabela 30 – Estatísticas mensais de umidade relativa do ar (UR)

UR (%)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximas	94	93	94	93	90	93	92	91	93	94	93	94
Mínimas	23	31	42	27	20	19	6	10	17	23	29	41
Médias diárias	64	71	75	68	57	57	50	43	51	71	70	76

Tabela 31 – Estatísticas mensais de radiação solar (Wh/m<sup>2</sup>)

Radiação (Wh/m <sup>2</sup> )	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
média direta normal	6453	5507	5564	5644	5794	5208	5695	6796	7238	5138	5690	4341
máxima direta normal	11720	10616	10914	8406	7534	6337	6986	8662	11591	11530	11620	8361
média difusa	2427	2473	2160	1724	1276	1196	1193	1410	1783	2215	2364	2712
média global	7512	6685	6116	6108	6015	5614	5904	6681	6873	6069	6796	6154

Nota: Radiação direta normal máxima de 11720 Wh/m<sup>2</sup> em 21 de janeiro.

Tabela 32 – Estatísticas mensais de velocidade do vento

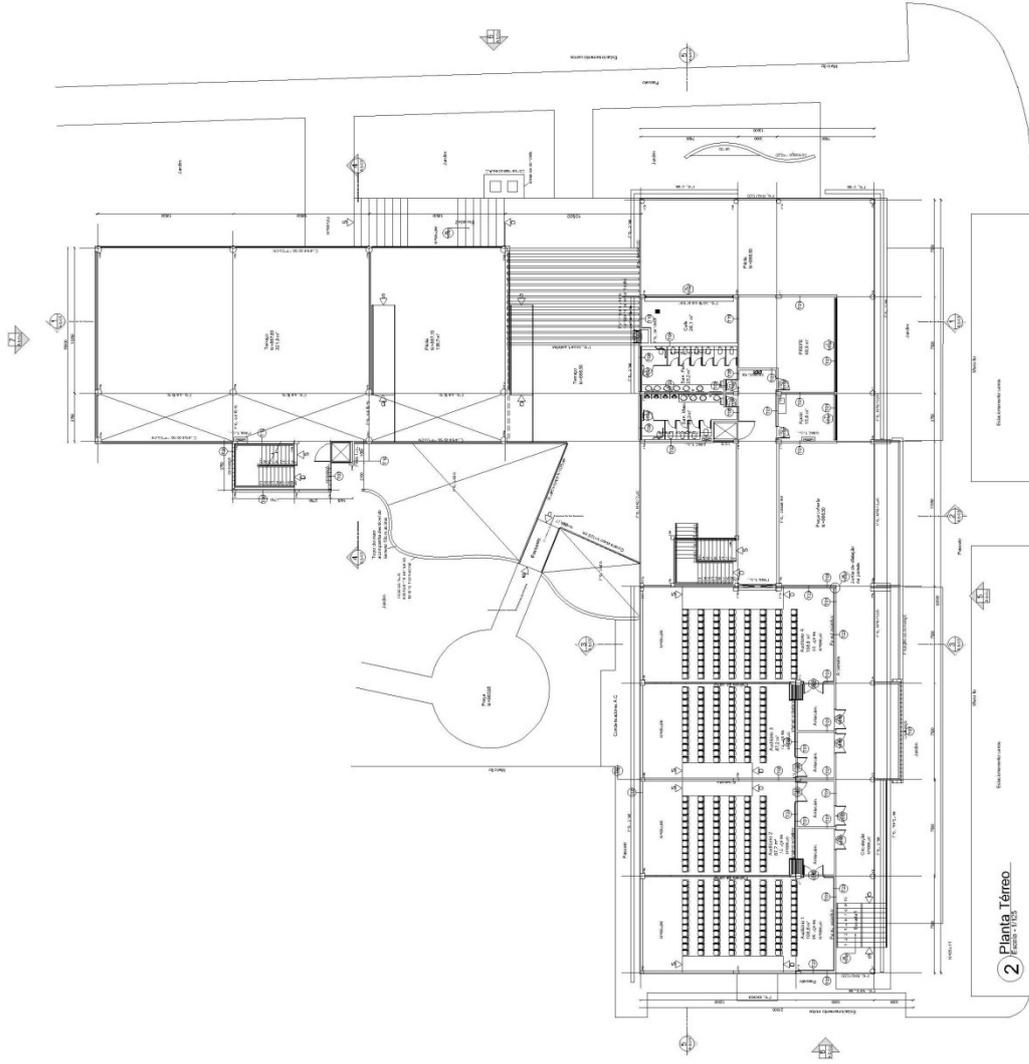
Vento (vel) (m/s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximas	7.9	5.7	6.7	5.8	4.4	5.2	5.1	5.7	6.2	8.1	5.6	7.7
Mínimas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Médias diárias	2.1	1.8	1.8	1.9	1.6	2.3	2.1	2.3	2.4	2.1	2.2	2.1

Nota: Velocidade do vento máxima de 8.1 m/s em 5 de outubro e velocidade do vento mínima de 0.0m/s em 3 de janeiro.

Tabela 33 – Estatísticas mensais de direção do vento  
(N=0 ou 360,L=90,S=180,O=270)

Vento (direção) (%)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Norte	20	16	16	12	7	6	9	8	8	15	17	16
Nordeste	32	19	27	27	16	35	33	30	23	34	24	23
Leste	28	16	20	30	19	44	40	31	29	20	17	14
Sudeste	6	5	5	8	10	6	5	8	9	5	6	8
Sul	4	8	7	6	19	3	4	10	11	6	9	5
Sudoeste	3	7	6	5	10	2	3	7	10	4	8	5
Oeste	2	9	7	4	8	2	3	2	4	5	5	7
Noroeste	5	20	13	9	8	3	4	5	6	10	13	21

## **ANEXO C - PROJETO DO BLOCO 50**

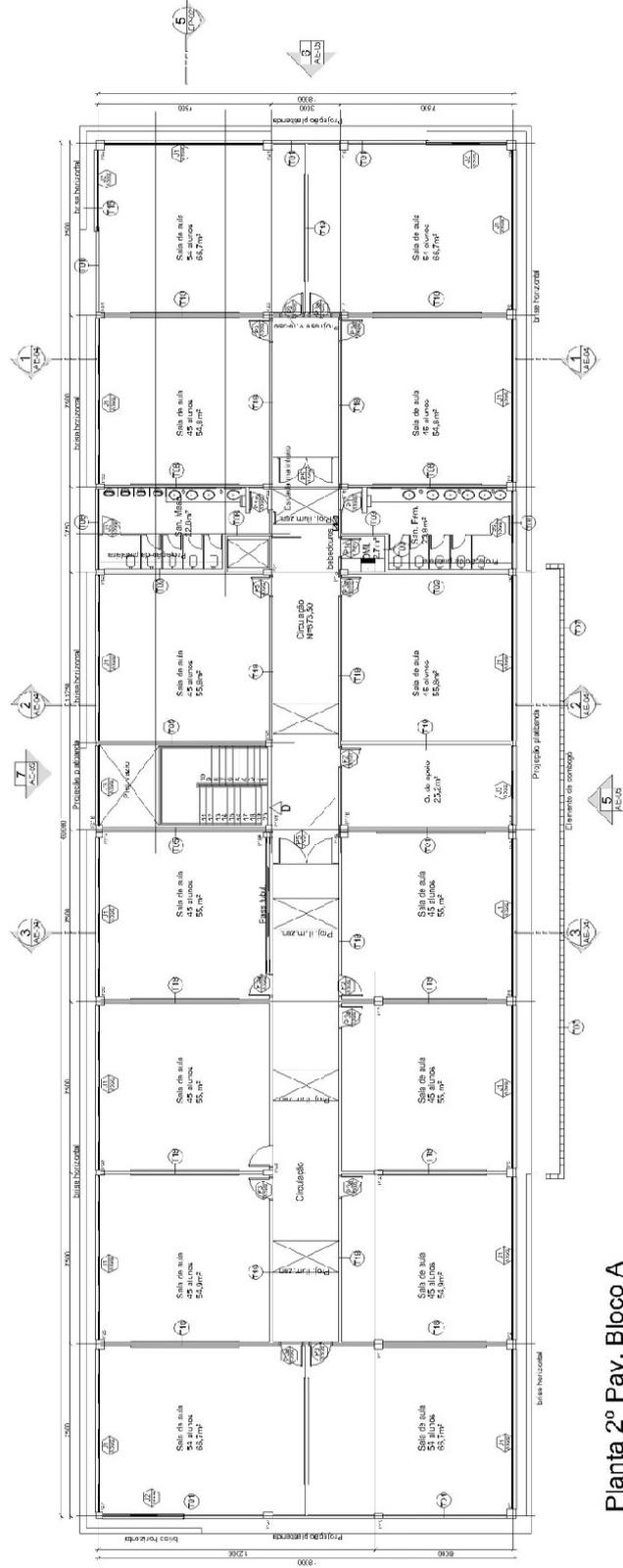


## PLANTA PAVIMENTO TÉRREO

2 Planta Térreo





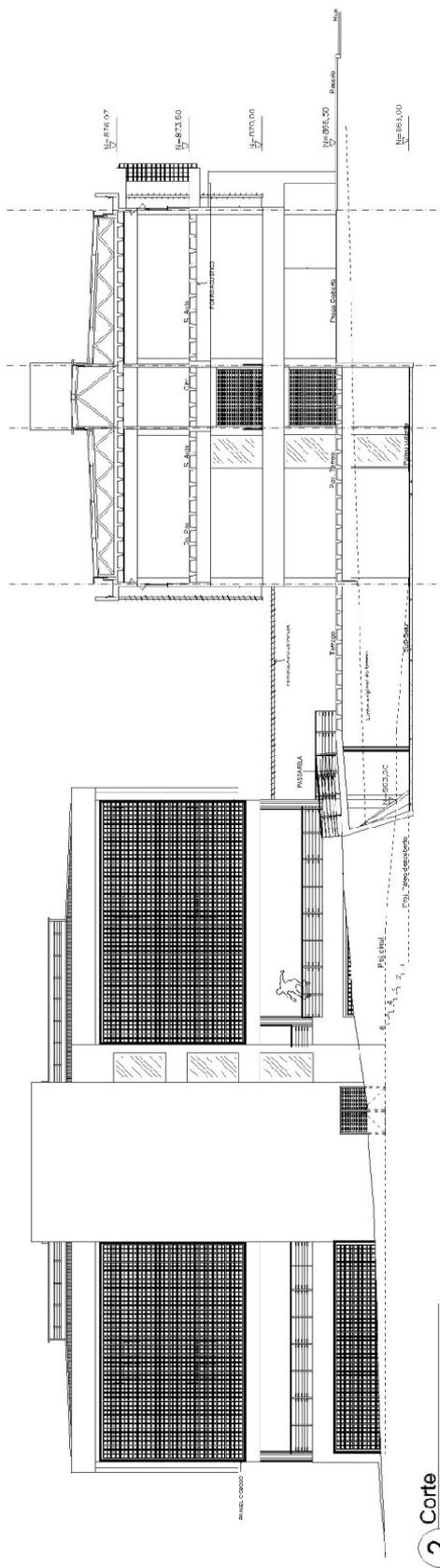


Planta 2º Pav. Bloco A

# PLANTA 2º PAVIMENTO BLOCO A



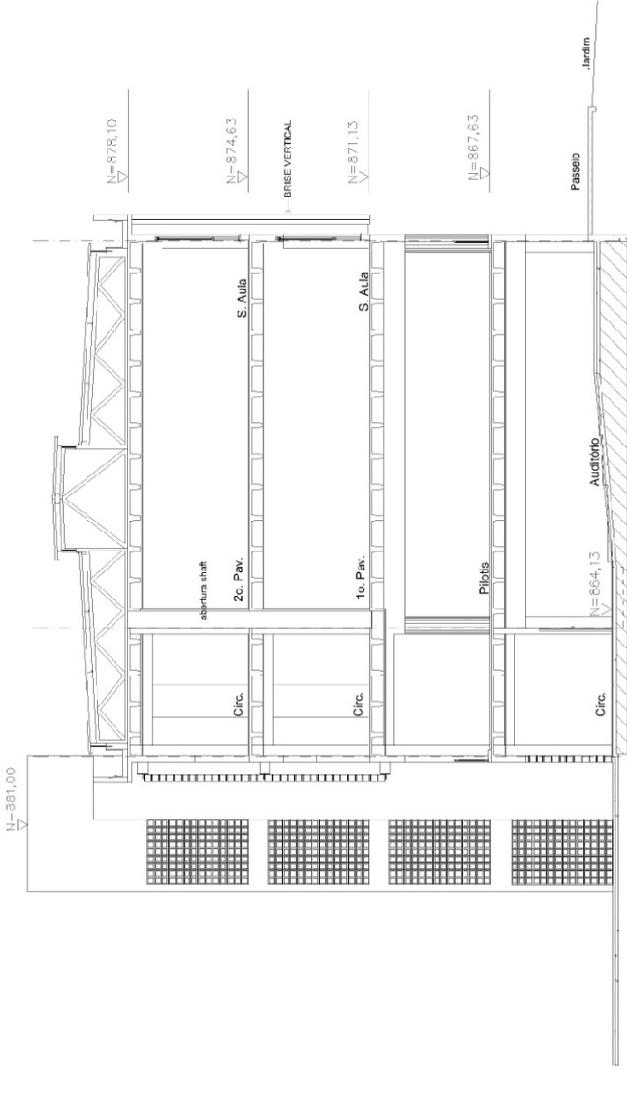




2 Corte

CORTE 2 (BLOCO A À DIREITA)

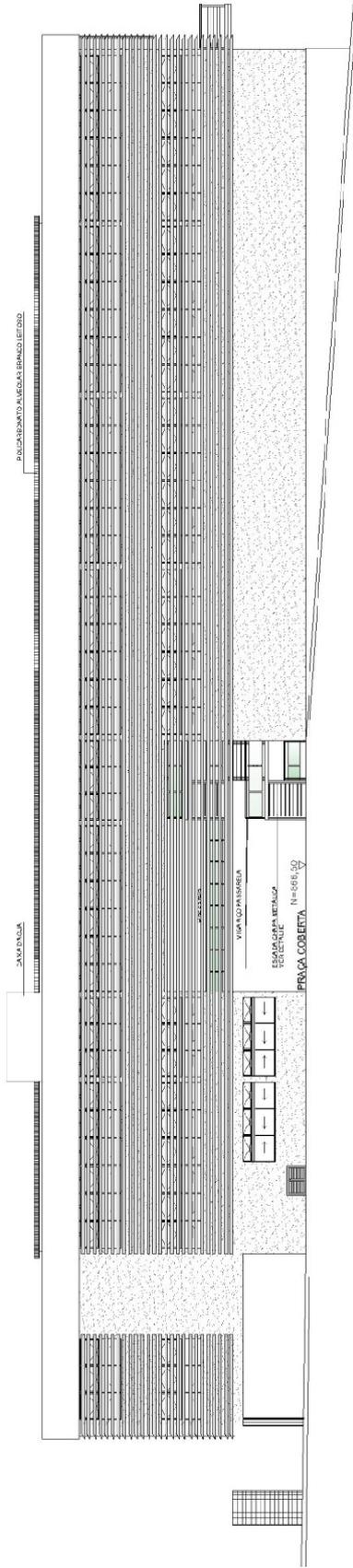




4 Corte

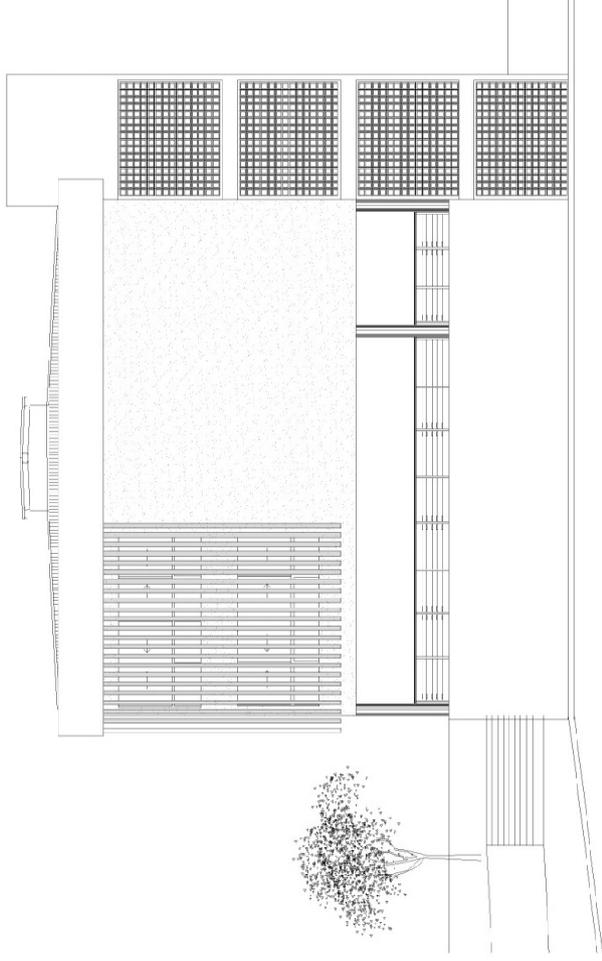
**CORTE 4 (BLOCO B)**





7b Fachada Norte Bloco A

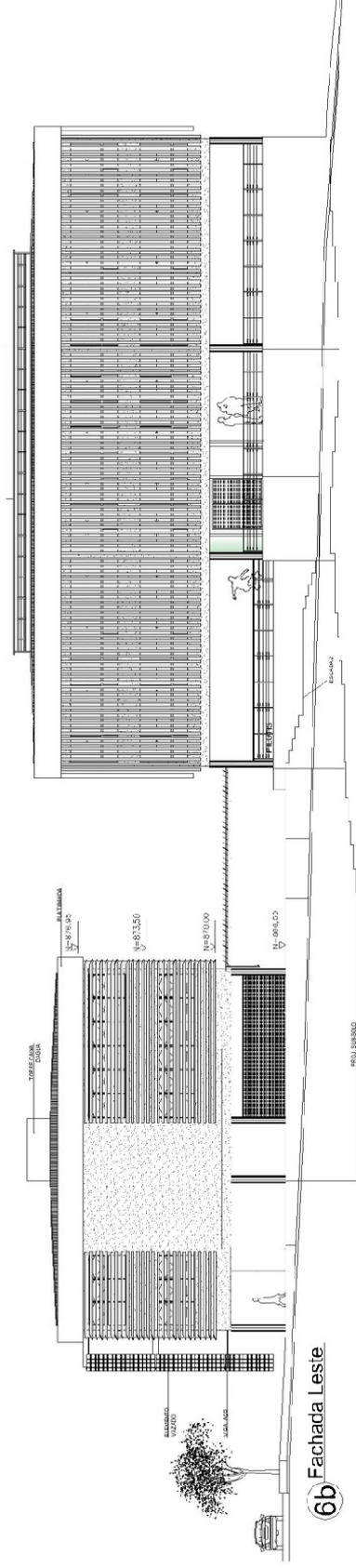
FACHADA NORTE BLOCO A



9b Fachada Norte Bloco B

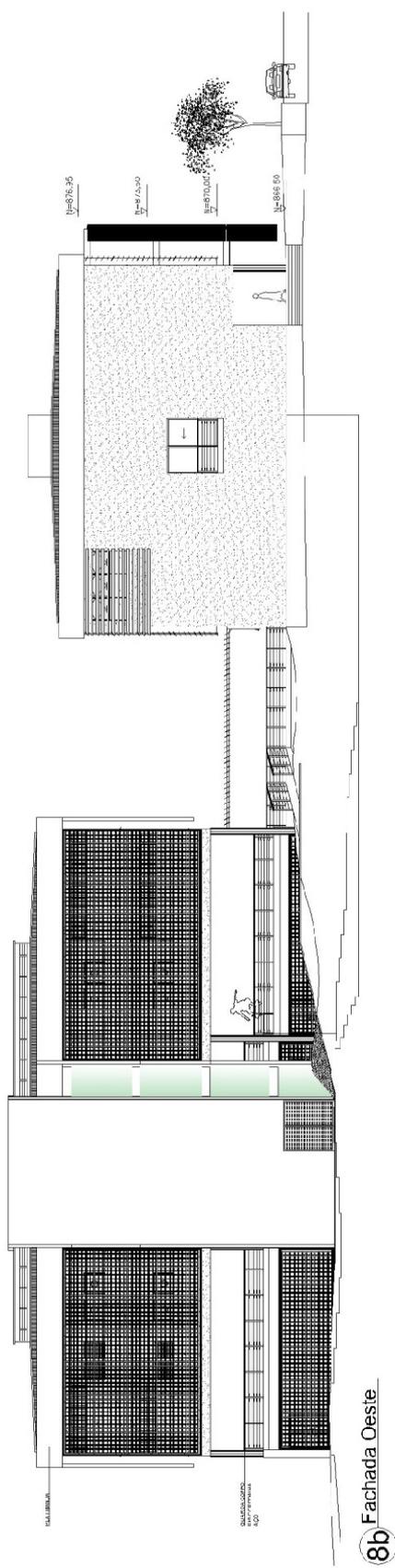
**FACHADA NORTE BLOCO B**





6b Fachada Leste

FACHADA LESTE (À ESQUERDA BLOCO A, À DIREITA BLOCO B)



FACHADA OESTE (À DIREITA BLOCO A, À ESQUERDA BLOCO B)