

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO
TÉRMICO DO INSTITUTO DE BIOLOGIA**

RÔMULO VALENTE CUSTÓDIO VIEIRA

ORIENTADOR:
PROF. DR. EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU

BRASÍLIA / DF: 08/12/2014

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO
TÉRMICO DO INSTITUTO DE BIOLOGIA**

RÔMULO VALENTE CUSTÓDIO VIEIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

**EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU, DR. (UnB)
(ORIENTADOR)**

**RICARDO SILVEIRA BERNARDES, PHD (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DARJA KOS BRAGA, MSC (Ambiente Eficiente Consultoria)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 05 DE DEZEMBRO DE 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

VIEIRA, RÔMULO VALENTE CUSTÓDIO
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO DO
INSTITUTO DE BIOLOGIA, 2014.

xii, 39p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2014)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de
Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

“Orientação: Evangelos Dimitrios Christakou”

1. Instituto de Biologia

2. Reforma

3. Conforto Térmico

4. Eficiência Energética

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIEIRA, R.V.C. (2014). Análise da Eficiência Energética e Conforto Térmico do Instituto de
Biologia

Monografia de Projeto Final, Publicação em 2014, Departamento de Engenharia Civil e
Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 39p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rômulo Valente Custódio Vieira

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise da Eficiência Energética e
Conforto térmico do Instituto de Biologia

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2014

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia
de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e
científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia
de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que me apoiaram e incentivaram durante toda esta jornada, os quais passaram os ensinamentos de maior valor para a formação de um engenheiro: a perseverança, responsabilidade e honestidade. Aos professores que contribuíram para a minha formação profissional, compartilhando seus conhecimentos e aguçando o interesse pelas matérias. Aos colegas que me acompanharam durante o curso e contribuíram para um ambiente amigável e acolhedor.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Justificativa	3
1.3 Descrição do Instituto de Biologia	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Panorama atual	5
2.2 Avaliação de eficiência energética na fase de projeto	6
2.2.1 Variáveis climáticas	7
2.2.2 Variáveis humanas	8
2.2.4 Variáveis arquitetônicas e constituintes	9
2.3 Bioclimatologia	21
2.4 Soluções adequadas para buscar a eficiência energética	26
2.5 Normatizações para eficiência energética em edifícios	27
3 METODOLOGIA	30
4 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: BLOCO 4 – BIOLOGIA CELULAR.....	31
4.1 Características do Bloco 4 – Biologia Celular	32
4.1.1 Variáveis arquitetônicas e constituintes	32
4.1.2 Variáveis humanas (ou de ocupação).....	35
4.2 Modelagem através do software <i>Design Builder</i>	37
4.2.1 Geometria da edificação	38
4.2.2 Dados climatológicos.....	41
4.2.3 Ocupação.	43
4.2.5 Materiais e aberturas.....	46
4.3 Simulação e análise de resultados	53
4.3.1 Análise 1: Anual da edificação como um todo	55
4.3.2 Análise 2: Semana mais quente no primeiro pavimento	56
4.3.3 Análise 3: Semana mais quente no pavimento térreo	57
4.3.4 Análise 4: Dia típico de verão na zona 6 do primeiro pavimento	58
4.3.5 Análise 5: Dia típico de inverno na zona 4 do térreo	59
4.3.6 Análise 6: Dia típico de verão na zona 6 do primeiro pavimento (sem equipamentos de laboratório)	61
4.4 Soluções propostas para redução de temperatura interna	62
4.4.1 Solução 1: Troca das telhas de fibrocimento por telhas termoisolantes.....	63
4.4.2 Solução 2: Instalação de películas nas janelas	66
4.4.3 Solução 3: Funcionamento adequado dos shafts de ventilação.....	68
4.4.4 Combinação das soluções 1, 2 e 3	69
5 CONCLUSÕES.....	70
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.3.1 – Localização do Instituto de Biologia.....	3
FIGURA 1.3.2 – Fachada do Instituto de Biologia.....	4
FIGURA 2.1.1 - Consumo elétrico por setor em 2013 (EPE, 2013).....	5
FIGURA 2.1.2 - Consumo interno de residências por aparelho (PROCEL, 2009).....	6
FIGURA 2.2.4.1 – Variação de forma em edifícios (RODRIGUES, 2014).....	9
FIGURA 2.2.4.1.1 – Visualização térmica da influência da cor do material (LAMBERTS, 2012).....	12
FIGURA 2.2.4.2.1 – Radiação incidente em fechamentos transparentes (SILVA <i>ET AL</i> , 2012).....	19
FIGURA 2.3.1 - Carta Bioclimática adotada para o Brasil (GOULART <i>ET AL.</i> , 1998).....	22
FIGURA 2.3.2 – Carta Bioclimática de Brasília (GOULART <i>ET AL.</i> , 1998).....	24
FIGURA 4.1 – Planta de situação do Bloco 4 do Instituto de Biologia (CEPLAN – UnB)	31
FIGURA 4.1.1.1 – Corte transversal do Bloco 4 (CEPLAN – UnB)	32
FIGURA 4.1.1.2 – Fachadas do Bloco 4 a) Nascente b) Poente	33
FIGURA 4.1.1.3 – Desenho esquemático de funcionamento dos shafts de ventilação	34
FIGURA 4.1.2.1 – Divisão dos cômodos por tipo de ocupação	35
FIGURA 4.1.2.2 – Excesso de equipamentos de laboratório ao longo do térreo	36
FIGURA 4.2.1 – Criação de um novo projeto	37
FIGURA 4.2.1.1 – Criação de um novo edifício	38
FIGURA 4.2.1.2 – Divisão interna dos cômodos	39
FIGURA 4.2.1.3 – Modelagem final do Bloco 4 a) Fachada poente b) Fachada nascente	40
FIGURA 4.2.2.1 – Entrada de dados climatológicos	42
FIGURA 4.2.3.1 – Definições de ocupação para laboratórios	43
FIGURA 4.2.3.2 – Ganhos térmicos com computadores e impressoras	44
FIGURA 4.2.3.3 – Ganhos térmicos com equipamentos de laboratório	44
FIGURA 4.2.3.4 – Ocupação em salas de professores	45
FIGURA 4.2.3.5 – Renovação do ar dos ambientes internos	45
FIGURA 4.2.3.6 – Dados de iluminação artificial	46
FIGURA 4.2.5.1 – Propriedades de envidraçamento	52
FIGURA 4.2.5.2 – Propriedades térmicas do vidro aplicado	52
FIGURA 4.2.5.3 – Propriedades dos brises da fachada nascente	52
FIGURA 4.2.5.4 – Renderização do modelo	53
FIGURA 4.3.1 – Escala de conforto térmico para o índice de Fanger PMV	54
FIGURA 4.3.1.1 – Análise anual da edificação como um todo	55
FIGURA 4.3.2.1 – Análise da semana mais quente no primeiro pavimento	56
FIGURA 4.3.3.1 – Análise da semana mais quente no pavimento térreo	57
FIGURA 4.3.4.1 – Localização da zona 6 do primeiro pavimento	58
FIGURA 4.3.4.2 – Análise do dia típico de verão na zona 6 do primeiro pavimento	58

FIGURA 4.3.4.1 – Localização da zona 4 do térreo	59
FIGURA 4.3.5.2 – Análise do dia típico de inverno na zona 4 do térreo	60
FIGURA 4.3.6.1 – Análise do dia típico de verão na zona 4 do térreo desconsiderando os equipamentos de laboratório (Fonte: Design Builder)	61
FIGURA 4.4.1 – Ganhos de calor separados por fonte	62
FIGURA 4.4.1.1 – Corte transversal de telha termoisolante (Fonte: Equipe de obra - PINI)	63
FIGURA 4.4.1.2 – Ganhos de calor separados por fonte com telha termoisolante	64
FIGURA 4.4.1.3 – Análise de temperatura interna com telha termoisolante	65
FIGURA 4.4.2.1 – Ganhos de calor separado por fonte com películas nos vidros	66
FIGURA 4.4.2.2 – Análise de temperatura interna com aplicação de película	67
FIGURA 4.4.3.1 – Aplicação de renovação de ar pelos shafts de ventilação	68
FIGURA 4.4.3.2 – Análise de temperatura interna com funcionamento dos shafts	68
FIGURA 4.4.4.1 – Análise de temperatura interna com combinação das soluções	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1.1 - Consumo de energia elétrica em 1992 e 2013 (EPE, 2013).....	5
TABELA 2.2.4.1 – Absortividade de materiais de acordo com a sua cor.....	12
TABELA 2.2.4.2 – Condutividade térmica de materiais (PROTOLAB).....	13
TABELA 2.2.4.3 – Resistência superficial interna (LAMBERTS <i>ET AL.</i> , 1997).....	14
TABELA 2.2.4.4 – Transmitância e atraso térmico de coberturas (SILVA <i>ET AL.</i> , 2012).....	16
TABELA 2.2.4.5 – Transmitância e atraso térmico em fechamentos (SILVA <i>ET AL.</i> , 2012).....	17
TABELA 2.2.4.2.1 – Fator solar em vidros (DIVINAL VIDROS).....	20
TABELA 2.3.1 – Estratégias para conforto térmico em Brasília (GOULART <i>ET AL.</i> , 1998).....	25
TABELA 4.1.1.1 – Tipologias construtivas do Bloco 4 do instituto de Biologia	32
TABELA 4.2.1.1 – Dimensões dos pavimentos do Bloco	38
TABELA 4.2.2.1 – Dias típicos de verão e inverno sugeridos pela norma (Fonte: NBR 15575 – 1) ...	41
TABELA 4.2.2.2 – Dias típicos de verão e inverno identificados no arquivo BRASILIA_TRY1962	42
TABELA 4.2.3.1 – Dissipação de calor por equipamentos (Fonte: NBR 16401 - 2)	43
TABELA 4.2.5.1 – Composição utilizada para modelagem de paredes externas	47
TABELA 4.2.5.2 – Composição utilizada para modelagem de paredes internas	48
TABELA 4.2.5.3 – Composição utilizada para modelagem da cobertura	49
TABELA 4.2.5.4 – Composição utilizada para modelagem de piso entre pavimentos	50
TABELA 4.2.5.5 – Composição utilizada para modelagem de telhas do depósito das condensadoras	51
TABELA 4.3.1 – Critérios de avaliação de desempenho térmico (Fonte: NBR 15575 – 1)	54
TABELA 4.4.1 – Contribuição de ganho de calor por fonte	63
TABELA 4.4.1.1 – Composição utilizada para modelagem de coberturas com telha termoisolante ...	64
TABELA 5.1 – Resumo dos resultados das análises	70

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ : refletividade
 α : absortividade
 τ : transmissividade
k: condutividade térmica
R: resistência térmica
Rsi: resistência superficial interna
Rse: resistência superficial externa
U: transmitância térmica
 ϕ : atraso térmico
Fs: fator solar

LISTA DE SIGLAS

ASHRAE: *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers*
BEN: Balanço Energético Nacional
BIM: *Building Information Modelling*
CEPLAN: Centro de Planejamento Oscar Niemeyer – Universidade de Brasília
DGI: Diretoria de Gestão de Infraestrutura – Universidade de Brasília
DXF: *Drawing Exchange Format*
IB: Instituto de Biologia
LEED: *Leadership Energy and Environmental Design*
NBR: Norma Brasileira
PCM: *Phase Change Materials*
RTQ – C: Requisitos Técnicos de Qualidade para Edificações
TRY: *Test Reference Year*

RESUMO

A eficiência energética é um estudo que pode ser estendido para as edificações, e é um assunto que vem se tornando mais importante com as novas exigências de sustentabilidade mundiais. Apresenta-se neste trabalho a análise que deve ser feita em uma edificação para que se possa atingir uma eficiência energética satisfatória, salientando a importância desta ser feita na etapa de desenvolvimento de projeto em função das variáveis do local. Primeiramente são analisados fatores climáticos, como a temperatura, radiação e vento. É então levado em consideração o padrão de conforto térmico e visual exigido pelo homem, o objetivo final a se atender neste estudo. Serão analisadas com mais detalhes as variáveis arquitetônicas que influenciam no conforto térmico dos usuários de uma determinada edificação, como a forma e os fechamentos, que podem ser opacos ou transparentes. São apresentadas novas tecnologias empregadas em fechamentos que visam diminuir a troca de calor com o meio externo como vedações que mudam de fase, coberturas frias, janelas eletrocromáticas e janelas fotoativas. É apresentado o estudo da Bioclimatologia, que tem por objetivo unir as variáveis climáticas e humanas em uma carta bioclimatológica que servirá de referência para o projetista tomar decisões que visem melhor o desempenho térmico da edificação. Para ressaltar a importância deste estudo serão apresentados o panorama atual de consumo energético no Brasil e as normatizações existentes no país, comparando-as com as de países desenvolvidos. A revisão bibliográfica introduzirá os conceitos importantes para a segunda etapa deste projeto, a aplicação deste estudo em um caso prático: a análise da eficiência energética do Instituto de Biologia da Universidade de Brasília, onde o prédio será estudado de maneira a se propor melhorias e soluções para esta edificação. A metodologia para esta análise consistirá na modelagem computacional do edifício com suas características geométricas e materiais constituintes. Através do processamento do edifício no software *Desgin Builder* será possível avaliar a sua eficiência energética, identificando locais em que o conforto térmico não é satisfatório, necessitando do posicionamento de elementos e mudança de materiais constituintes. Com a nova configuração o edifício será reprocessado para se realizar um comparativo do conforto térmico entre a primeira e a segunda situação.

1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, a humanidade seguiu três princípios básicos para a concepção de espaços habitáveis. De acordo com o arquiteto romano Vitruvius, o qual viveu no século I a.C., este deveria ter solidez, ou seja, a sua estrutura deveria ser capaz de se sustentar e suportar as cargas às quais essa edificação seria submetida. A moradia deveria ser projetada de maneira a cumprir o seu propósito de uso, protegendo os usuários de intempéries e oferecendo um espaço para repousar ou trabalhar, qual fosse o seu propósito. E por último, a edificação deveria ser bela, ou seja, ter um aspecto visual agradável e organizado, em alguns casos esta beleza foi solidificada em arquiteturas artísticas e singulares.

Com o passar do tempo, essas três exigências passaram a não serem suficientes para se ter uma edificação habitável no quesito de conforto térmico do usuário e eficiência energética. Aos poucos a humanidade passou a incorporar em suas edificações soluções que lhes proporcionassem um conforto térmico.

O conforto térmico pode ser compreendido como um resultado da eficiência energética de uma edificação, que pode ser definido segundo Lamberts *et al.* (1997) como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Foi incluso então na concepção das estruturas a necessidade de se criar artifícios que aproveitassem as condições naturais ao redor das edificações para mantê-las satisfatórias quanto à sua funcionalidade, protegendo usuários do frio, os aliviando de altas temperaturas e aproveitando a luz natural para iluminar seus interiores. A incorporação dos princípios bioclimáticos ao processo de projeto desde sua concepção permite a implantação de sistemas passivos, procurando exaurir todas as possibilidades que esses sistemas oferecem. Os sistemas passivos de resfriamento, segundo Givoni (1992), consistem em técnicas simples para a diminuição da temperatura interna através do uso de fontes de energia naturais, as quais serão discutidas neste trabalho.

Maciel (2002) destaca que durante o século XX começou a se desenvolver um novo estilo de concepção arquitetônica, a de prédios revestidos externamente em fachadas de vidro quase que em toda a sua superfície. Por motivos que ainda serão explicados neste trabalho, tal

tipo de edificação é destinada para locais com climas específicos em que se deseja reter o calor proveniente do exterior. Esse estilo de edificação internacionalizou-se, virando símbolo de poder e status para grandes centros empresariais e aglomerados de escritórios nos principais centros urbanos de todo o mundo. Porém, o estilo conhecido como “torre de vidro” mostrou-se inadequado para certos climas, criando verdadeiras estufas em seu interior que tentam ser compensadas pelo uso extensivo de aparelhos de ar-condicionado.

Para diminuição do consumo energético, a adequação da tipologia arquitetônica é o item que exige menores investimentos e proporciona uma das maiores economias de energia. Segundo o Balanço Energético Nacional - BEN, para a adequação arquitetônica o investimento exigido é de apenas 5% do total e proporciona uma das maiores economias de energia (23%). O rendimento é de 3 a 9 vezes superior ao dos outros investimentos, como a redução do desperdício, sistemas de controle e melhoria do rendimento de iluminação e ar condicionado.

Revela-se então a importância de aplicar o conceito de eficiência energética durante as etapas de projeto e escolhas de material de uma edificação, de maneira que não seja necessário corrigir defeitos de um projeto mal pensado quanto aos seus gastos de energia com soluções que requerem um grande consumo de energia elétrica para gerar aquecimento, resfriamento e iluminação.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo apresentar o tema de eficiência energética em edificações, analisando quais fatores são determinantes no desenvolvimento de um projeto eficiente energeticamente e quais medidas são eficazes para diferentes situações bioclimáticas, bem como apresentar os parâmetros de avaliação de eficiência energética normativos do Brasil e de outros países.

A modelagem de uma edificação do Instituto de Biologia terá como objetivo analisar como as variáveis arquitetônicas, climáticas e humanas interferem no desempenho térmico desta de maneira prática, através da modelagem de acordo com a configuração atual da edificação, e experimental, utilizando estratégias que visem aumentar o conforto térmico nos ambientes interiores. Para critério de avaliação do desempenho da edificação será utilizada a NBR 15575 – Edifícios Habitacionais – Desempenho.

1.2 Justificativa

O tema abordado é de grande importância por ser a ciência que estuda diretamente o conforto do usuário de qualquer edificação. Durante a elaboração de um projeto e o seu processo construtivo procura-se muitas vezes escolher os materiais com foco na estética, preço e facilidade construtiva. Esses aspectos são importantes e devem sempre ser levados em conta, mas não influem diretamente na sensação de conforto do usuário da edificação.

Esta área da engenharia é de extrema importância para momento atual do Brasil, visto que o país tem a oportunidade de focar no controle de consumo energético das edificações que virão a ser construídas, para evitar o problema mais complexo de reforma de edificações ineficientes no futuro, que é enfrentado atualmente por outras economias.

1.3 Descrição do Instituto de Biologia

As edificações que compõem o Instituto de Biologia foram inauguradas em 2010, possuem arquitetura e instalações modernas. O Instituto é formado por 13 blocos grandes e separados, os quais comportam salas de aula, laboratórios, auditórios e escritórios.



FIGURA 1.3.1 – Localização do Instituto de Biologia

O sistema construtivo é convencional, com estrutura de concreto armado e vedações externas em alvenaria. Um aspecto notável é a grande quantidade de elementos constituintes que regulam a entrada de luz solar, como brises e venezianas dispostas em frente às janelas e como extensões da cobertura como se observa da figura 1.3.2 a seguir:



FIGURA 1.3.2 – Fachada do Instituto de Biologia

O capítulo 4 deste trabalho entrará em mais detalhes sobre os elementos construtivos desta edificação avaliando o seu desempenho e interferência no conforto térmico de seus usuários. Para tal será analisado uma edificação específica, o bloco 4 da Biologia Celular, o qual teve motivos determinantes para ser escolhido como será detalhado mais adiante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama atual

Para o estudo em questão, é de extrema importância analisar a situação de consumo de energia elétrica do Brasil. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2014), o setor residencial e o de comércio e serviços são os responsáveis pelo maior consumo da energia produzida no país como mostra a tabela abaixo:

TABELA 2.1.1 - Consumo de energia elétrica em 1992 e 2013 (EPE, 2013)

Consumo de energia elétrica			
Setor	Consumo em TWh		Variação (%)
	1992	2013	
Residencial	52,67	124,85	137
Comércio e serviços	43,51	83,71	92
Industrial	91,60	184,60	102
Outros	41,22	70,57	71
Total	229,00	463,73	103

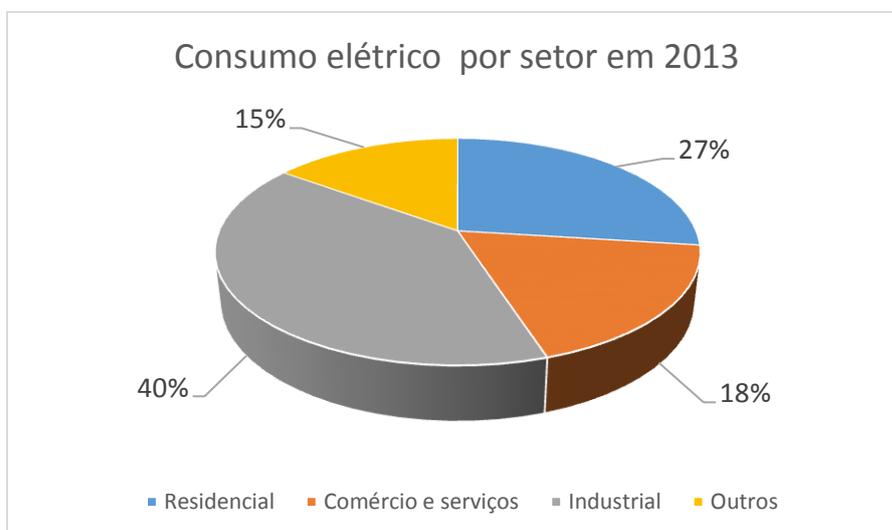


FIGURA 2.1.1 - Consumo elétrico por setor em 2013 (EPE, 2013)

Como indicado na tabela acima, o setor que mais cresce em consumo é o residencial, o qual requer uma atenção especial para a elaboração de soluções de eficiência energética. Provavelmente, este setor não teria um consumo tão elevado se todas as suas edificações fossem projetadas visando diminuir a dependência de ar-condicionado e iluminação artificial, componentes que representam uma grande parcela do consumo interno de uma residência, como levantado pela PROCEL (2009) no gráfico a seguir:

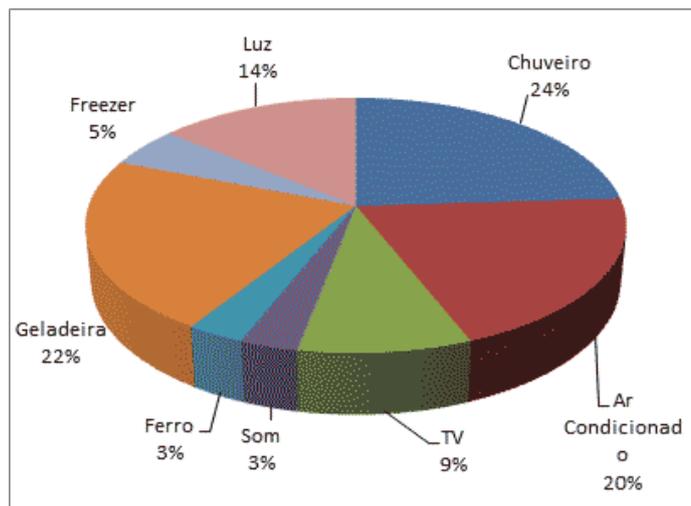


FIGURA 2.1.2 - Consumo interno de residências por aparelho (PROCEL, 2009)

No setor comercial, as parcelas de consumo de energia elétrica por iluminação e ar condicionado são ainda maiores, do consumo total, 24% se refere à iluminação artificial e 48% aos sistemas de ar-condicionado.

A NBR 15575 (Edificações Habitacionais – Desempenho) entrou em vigor em julho de 2013 e estabelece requisitos para edificações residenciais. Ela abrange, além do desempenho energético, a segurança e a qualidade do ar, acústica e estrutural. No entanto, estudos indicam que esta norma é ainda bastante permissiva e pouco eficiente em solucionar os problemas de conforto térmico e, conseqüentemente, de eficiência energética em edificações. Nos Estados Unidos, China e União Europeia estes requisitos já são obrigatórios. O caso americano é um exemplo neste aspecto. Nos Estados Unidos, cada Estado deve ter um código obrigatório que seja tão exigente quanto, ou mais que o AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, ASHRAE Standard 90.1. A fiscalização do cumprimento a estes códigos é feita por órgãos governamentais específicos para tal tarefa, ou pelos mesmos organismos de aprovação de projetos de segurança e incêndios. Por vezes, a fiscalização é dividida entre o município e Estado, caso em que um órgão estadual avalia o projeto e o órgão municipal avalia o edifício construído. Este assunto de normatizações será abordado com detalhadamente mais adiante.

2.2 Avaliação de eficiência energética na fase de projeto

A concepção do projeto de uma edificação deve levar em conta aspectos arquitetônicos, constituintes, mecânicos e elétricos. Cabe ao engenheiro civil e arquiteto

especificarem quais os melhores tipos de materiais para construir a edificação, os quais exigem a compreensão destes profissionais sobre como cada sistema construtivo funciona e quais as suas propriedades. O tipo de material possui grande influência sobre o desempenho energético de uma edificação, variando entre concreto, blocos cerâmicos, madeira, placas cerâmicas, vidros, estruturas metálicas, dentre outros.

Segundo Lamberts *et al.* (1997), a etapa de concepção de todos os projetos do edifício deve levar em conta três variáveis:

- Variáveis climáticas: temperatura, vento, radiação e umidade do local da edificação, que deverão servir como fatores a se evitar, corrigir ou aproveitar nas edificações.
- Variáveis humanas: exigências humanas para se obter conforto térmico em ambientes com diferentes funcionalidades.
- Variáveis arquitetônicas e constituintes: materiais de construção usados nos fechamentos e formato do edifício.

2.2.1 Variáveis climáticas

De acordo com Lamberts *et al.* (1997) “antes de iniciar a concepção do projeto, deve-se ter como premissa um estudo do clima e do local do projeto. Este estudo é tão importante quanto o programa de necessidades fornecido pelo cliente”. Um projeto bem elaborado deve responder à análise climática com soluções arquitetônicas e estruturais para aproveitar os melhores fatores do ambiente e evitar que os usuários sofram com as condições térmicas indesejáveis. Ferreira (1965) aponta que as condições do clima externo à uma edificação pode corresponder à um microclima interior à edificação bem diferenciado, para melhor ou pior, dependendo dos materiais utilizados e da forma da edificação.

Lamberts *et al.* (1997) faz a observação de que a eficiência luminosa da luz natural proveniente do sol é de longe maior do que todas as alternativas de iluminação artificial desenvolvidas pelo homem. Este fato se reflete na sua taxa de iluminação por energia dissipada na forma de calor (lúmens/watt), apontando a vantagem de se aproveitar este tipo de iluminação ao mesmo tempo em que reduz a carga de resfriamento de um ambiente, sem contar com o fator de ser uma iluminação sem custo.

Além de analisar a iluminação proveniente do sol, deve-se levar em consideração a sua radiação incidente. O tipo de radiação solar que incide diretamente sobre um edifício é

majoritariamente composta de ondas curtas, as quais viajam a distâncias maiores e atravessam superfícies mais facilmente. Os materiais que absorvem e se aquecem com estas ondas curtas, as reemitem no formato de ondas longas, as quais provavelmente não atravessarão de volta a superfície pela qual a radiação original adentrou. Isto causa o chamado efeito estufa, que acumula radiação em ondas longas em seu interior elevando a temperatura ambiente. Lamberts *et al.* (1997) afirma que a radiação solar direta (ondas curtas) constitui uma variável climática, que geram consequências à edificação de acordo com a sua orientação e os materiais que a constitui. O vidro é um elemento constitutivo que merece atenção especial em relação a esse fator por ser um meio que não oferece resistência à entrada de ondas curtas e é praticamente opaco às ondas longas, superaquecendo os ambientes interiores.

A capacidade de um material refletir ondas curtas é definida pelo seu albedo. Segundo o *Earth and Space Research - ESR* (2014), “albedo é a fração de energia solar refletida por um material ao meio externo, é uma medida de refletividade da superfície de um material”. Quanto maior o albedo de um material, maior a sua capacidade de refletir ondas curtas, o que torna interessante escolher materiais e revestimentos com albedos elevados.

Para a temperatura, pode-se obter dados contendo temperaturas mínimas, médias e máximas durante o ano em diversas regiões, o que deve servir de base para tomar decisões que evitem o desconforto térmico em cada época do ano. É importante ressaltar que a sensação térmica varia também de acordo com variáveis como o vento, que intensifica o frio, e a umidade, que intensifica o calor.

De uma maneira geral, a concepção do edifício deve levar em consideração essas variáveis climáticas do local do projeto, afim de se tornar possível identificar os períodos de mais desconforto térmico onde se faz importante a intervenção na fase de projeto.

2.2.2 Variáveis humanas

Esta talvez seja a variável mais importante ao se analisar a eficiência energética de uma edificação pelo simples fato de que as nossas exigências de conforto térmico e visuais são as exigências finais a se atender.

De acordo com ASHRAE (2010), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de

calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

A exigência de conforto térmico varia de edificação para edificação visto que cada uma é utilizada para atividades diferentes. Por exemplo, o conforto térmico exigido para um ambiente para repouso é diferente do de um ambiente de trabalho, visto que o ser humano possui diferentes níveis de metabolismo para cada uma destas atividades, além de se vestir de maneira diferente para cada uma destas. Os níveis diferentes de gasto calórico e do isolamento das suas roupas prevê necessidades diferentes de resfriamento ou aquecimento do ambiente. Portanto, a finalidade de uma edificação influi bastante ao se considerar soluções de eficiência energética.

O conforto visual é o objetivo final da iluminação de um edifício. De acordo com Lamberts *et al.* (1997) “conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes”. A iluminação adequada deve ter direção adequada, intensidade necessária para que o usuário seja capaz de desenvolver as atividades visuais no ambiente em que está, o qual deve ser iluminado com contrastes adequados, evitando situações de ofuscamento.

2.2.4 Variáveis arquitetônicas e constituintes

Cabe ao engenheiro e arquiteto definir quais são os materiais constituintes da edificação, os locais de aberturas, a disposição das fachadas, e o seu próprio formato. Estes fatores influem de forma significativa na absorção de radiação, retenção de calor e circulação de ar de um edifício.

Para um mesmo volume de espaço interno, podemos ter variadas formas e aspectos visuais. O formato do edifício influi significativamente na incidência de radiação solar na sua superfície, influenciando diretamente na temperatura do ambiente interno.

Diversas técnicas podem ser usadas para aproveitar a forma de uma edificação para isolar o seu interior ou expô-lo às condições do ambiente externo. Formas que possuem uma menor área de superfície como as semi-esféricas e arredondadas, acabam realizando uma troca menor de calor com o ambiente, conservando o seu microclima interior mais estável

apesar das mudanças climáticas. No caso de prédios com fachadas planas e dispersas como prédios em “L” ou com vários módulos deslocados, a área de contato com o exterior acaba sendo maior, tornando a edificação mais suscetível às trocas térmicas com o exterior.



FIGURA 2.2.4.1 – Variação de forma em edifícios (RODRIGUES, 2014)

De acordo com Lamberts *et al.* (1997), a análise da influência da forma pode ficar mais clara se fizermos a comparação entre um único prédio e um grupo de casas que somadas apresentam o mesmo volume do primeiro. Neste caso a absorção de calor pela cobertura das casas é muito maior que a do prédio, o qual possui apenas uma única cobertura para um volume interior maior. É importante ressaltar que não se pode determinar qual das duas situações é a mais vantajosa, visto que para locais diferentes, deseja-se obter relações diferentes de trocas térmicas com o ambiente.

A envoltória de uma edificação é composta por todos os elementos que separam o ambiente interno do ambiente externo. Por ser o limite entre estes dois ambientes, a envoltória é responsável pelas trocas térmicas entre eles. As trocas ocorrem por radiação, convecção e condução. Rodrigues (2014) afirma que os materiais e formas das envoltórias podem facilitar ou dificultar estas trocas. O tipo de envoltória mais adequada para cada situação depende muito das características climáticas do local onde está situada a edificação.

A etiquetagem individual dos componentes da envoltória é importante no controle de suas propriedades físicas que interferirão no desempenho energético da edificação. Esta etiquetagem comunica as propriedades do componente, possibilitando a escolha consciente ao construtor ou usuário da edificação. Exemplos de etiquetagem de componentes são o *National Fenestration Rating Council* (NFRC), que etiqueta aberturas, e o *Cool Roof Rating Council*, que etiqueta coberturas frias.

Os fechamentos podem ser divididos em opacos e transparentes, que devem ser estudados isoladamente.

2.2.4.1 Fechamentos opacos

A transmissão de calor em fechamentos opacos se dá quando existir uma diferença de temperatura entre as suas superfícies interna e externa, gerando um fluxo de calor sempre no sentido da menor temperatura. Portanto em climas quentes, deve-se prever fechamentos que minimizem a entrada de calor para o interior, e em climas frios, deve-se escolher materiais que absorvam a radiação solar para aquecer o ambiente e que previna a perda do calor acumulado para o exterior.

O fluxo de calor de um material opaco pode ser dividido em três fases: troca de calor com o meio externo, condução térmica pelo fechamento e troca de calor com o meio interno.

Na primeira fase, a energia radiante incidente sobre um corpo é parte refletida e parte absorvida através do corpo. A energia incidente se divide nessas duas parcelas, dependendo das condições de incidência, superfície, massa e transmissividade. Segundo Rodrigues (2014), a energia radiante absorvida por um corpo se transforma em calor, contribuindo para aumentar sua temperatura e se transformando em uma onda curta. No entanto a parcela refletida não sofre mudança em seu comprimento de onda.

A primeira fase da transmissão de calor é dada pela incidência de radiação e convecção. A superfície se aquecerá dependendo da sua resistência superficial externa (R_{se}), simplificada adotada como $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$. Da radiação incidente, uma parte será refletida e outra será absorvida, cujos valores são relacionados às variáveis adimensionais de refletividade ou albedo (ρ) e absortividade (α), respeitando a seguinte relação:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (1)$$

O principal determinante da absortividade e refletividade de um material é a sua cor, como segue na tabela a seguir.

TABELA 2.2.4.1 – Absortividade de materiais de acordo com a sua cor

Cor	Exemplos	Absortividade (α)	
Escuras		Pastilhas escuras; Granitos pretos; Pinturas escuras; Madeiramento escuro	0,7 a 0,9
Médias		Tijolo e bloco cerâmico aparentes; Madeiramento claro; Concreto aparente; Pastilhas e granitos de claridade média	0,5 a 0,7
Claras		Pastilhas brancas; Mármore claro; Pinturas claras; Granito branco	0,2 a 0,5

Na figura abaixo pode-se notar claramente a influência da cor do material na sua temperatura.

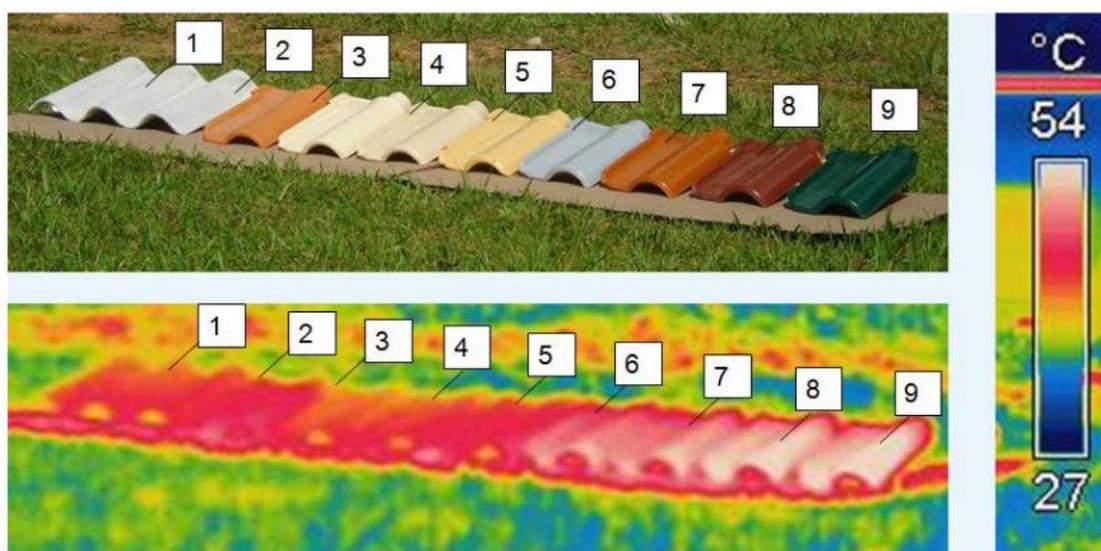


FIGURA 2.2.4.1.1 – Visualização térmica da influência da cor do material (LAMBERTS, 2012)

Condução térmica pelo fechamento é a transmissão de calor molécula a molécula, consequentemente havendo a necessidade de um meio material, ocorrendo sempre de um ponto de maior temperatura para um de menor temperatura.

De acordo com Rodrigues (2014), “a quantidade de calor que flui através de um elemento opaco é função do material que o constitui, da espessura do elemento e do gradiente de temperatura”. A grandeza física que caracteriza se um material é melhor ou pior condutor de calor chama-se condutividade térmica (k), a qual varia com a densidade do material e representa a capacidade de condução de calor por unidade de tempo de um material, como mostrado em alguns exemplos da tabela 2.2.4.2. Quanto maior o valor de k, maior será quantidade de calor transferida entre os extremos do material.

TABELA 2.2.4.2 – Condutividade térmica de materiais (PROTOLAB)

Grupo	Material	Massa específica (kg/m ³)	Condutividade térmica k (W/mK)
Metal	Alumínio	2800	204
	Aço, ferro	7800	52
	Zinco	7200	110
Pedra natural	Basalto, granito	3000	3.5
	Calcário, mármore	2700	2.5
Alvenaria	Tijolo	1700	0.6
	Bloco cerâmico	1900	0.9
	Bloco de concreto	1200	0.5-0.7
Concreto	Concreto leve	1700	0.7-0.9
	Concreto celular	1200	0.35-0.5
Inorgânico	Vidro	2500	0.8
	Lã de Vidro	150	0.04
	Telhas	2000	1.2
Madeira	Folhosa	800	0.17
	Madeira leve	550	0.14
Espuma sintética	Espuma de poliuretano	80	0.025-0.035
	PVC-espuma	35	0.035
Ar	Ar	1.2	0.023

Além da condutividade térmica, deve-se levar em consideração a espessura (L) dos materiais que constituem o fechamento. Com estes dois parâmetros é possível determinar a resistência térmica (R) do material através da fórmula:

$$R = \frac{L}{k} \left(\frac{m^2 K}{W} \right) \quad (2)$$

Utilizando-se materiais com condutividades baixas e comprimentos maiores pode-se diminuir consideravelmente a troca de calor entre o ambiente interno e o externo. É interessante se utilizar múltiplas camadas para constituir os fechamentos, combinando as vantagens de isolamento térmico de alguns materiais e o preço de outros. Comumente aprisiona-se camadas de ar dentro dos fechamentos para que além de economizar material, diminua-se a transmissão de calor por condução, como é o caso do *Dry Wall*.

Similarmente à primeira fase de troca de calor, as trocas de calor com o meio interior ocorrem por convecção e radiação. Na situação de climas quentes, a temperatura da superfície interior do fechamento irá aumentar em relação à do ar do ambiente interno. Esta última transmissão de calor é determinada pela resistência superficial interna do fechamento (R_{si}), que varia de acordo com a direção do fluxo de calor como indica a tabela:

TABELA 2.2.4.3 – Resistência superficial interna (LAMBERTS ET AL., 1997)

Rsi (m ² .K/W)		
Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,1	0,17

Somando a Resistência superficial externa (R_{se}), as resistências de cada componente do fechamento (R) e a resistência superficial interna (R_{si}), obtém-se a resistência térmica total (R_{tot}) do fechamento em questão. O inverso deste parâmetro fornece a sua transmitância térmica (U).

$$R_{tot} = R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_n + R_{si} \quad (3)$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (W/m^2K) \quad (4)$$

A transmitância térmica é o parâmetro que se deseja obter para avaliar o comportamento do fechamento como um todo, incluindo os materiais do seu interior e seus revestimentos.

O RTQ – C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos), do Brasil, exige valores máximos de transmitância térmica (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMERCIO EXTERIOR, 2010). Uma alta resistência térmica torna o ambiente interno

menos dependente das variações do ambiente externo. As paredes convencionais possuem valores de resistência térmica relativamente baixos, por isso é necessário quase sempre a adição de mais material para aumentar estes valores. Os materiais isolantes utilizados têm baixas condutividades térmicas por natureza. A quantidade em que estes materiais são aplicados também influencia na resistência da envoltória, como será visto adiante.

Existem formas de intervenção para aumentar o isolamento térmico das paredes de uma edificação. Nos Estados Unidos e Europa, predominam sistemas de isolamentos internos e externos para reformas de edificações existentes, que são feitas adicionando-se materiais isolantes nas cavidades interiores das paredes já existentes. Esta solução é possível em edificações que possuem paredes duplas (com espaçamento entre as paredes) ou ocas (como as de *Woodframe*), mas raramente pode ser aplicada em edificações já existentes no Brasil, que possuem paredes de alvenaria predominantemente. Mesmo em países em que as edificações já são naturalmente preparadas para enfrentar climas adversos, esta limitação pode ser um problema. Os materiais usados para isolamento variam; os mais comuns são: lã de rocha, lã de vidro, fibra de plástico, poliestireno expandido e poliuretano expandido. Para novas edificações, o isolamento interno ou externo deve ser considerado ainda na fase de projeto, o que evita que mais material precise ser adicionado posteriormente segundo Pessoa (2013).

O isolamento externo, em reformas de edificações existentes, é mais complexo, pois exige que um novo revestimento seja colocado, além da camada de isolante térmico, externo à parede já existente. Em uma parede de alvenaria única, isto é, que não seja uma parede dupla com espaçamento no interior (o mais comum no Brasil), esta é a única solução possível. As principais complicações deste sistema são a fixação de um novo revestimento à parede e complicações com a impermeabilização.

Um outro parâmetro a se analisar na escolha do fechamento é o atraso térmico (ϕ) que, segundo Silva *et al.* (2012), “é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”. Ao conduzir o calor de um lado para o outro do fechamento, este retém uma parte no seu interior, decorrido da sua massa térmica. Quanto maior a sua massa térmica, maior o calor retido, sendo possível devolvê-lo ao ambiente quando a temperatura interna do ambiente for menor que a do fechamento. Pode-se tirar proveito deste fenômeno em locais em que o clima oscila muito entre altas e baixas

temperaturas durante o dia, utilizando-se os fechamentos para durante o dia reter o calor que será usado para esquentar a casa à noite. Abaixo seguem os dados da transmitância térmica e atraso térmico de alguns tipos de fechamento.

TABELA 2.2.4.4 – Transmitância e atraso térmico de coberturas (NBR 15220)

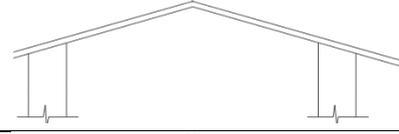
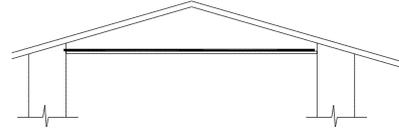
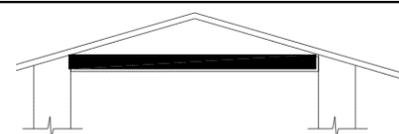
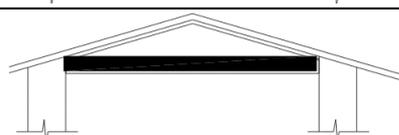
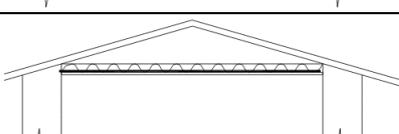
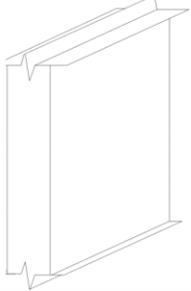
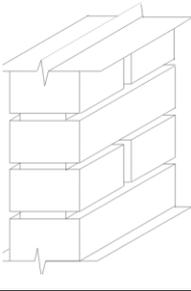
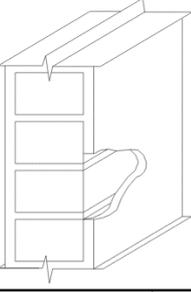
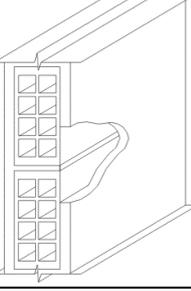
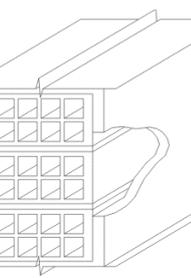
Fechamento	Descrição	U [W/(m ² K)]	φ (horas)
	Cobertura de telha de barro sem forro	4,55	0,3
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira de 1 cm	2	1,3
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 10 cm	1,92	3,6
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 10 cm	1,09	5,4
	Cobertura de telha de barro com cobertura de lã de vidro sobre forro de madeira	0,95	2,3

TABELA 2.2.4.5 – Transmitância e atraso térmico em fechamentos (NBR 15220)

Fechamento	Descrição	U [W/(m²K)]	φ (horas)
	Parede de concreto maciço (5 cm)	5,04	1,3
	Parede de tijolos maciços aparentes (10 cm)	3,7	2,4
	Parede de tijolos maciços rebocados (15 cm)	3,13	3,8
	Parede de blocos cerâmicos assentados na menor direção e rebocados (14 cm)	2,49	3,3
	Parede de blocos cerâmicos assentados na maior direção e rebocados (14 cm)	1,8	5,5

Com os valores de transmitância térmica (U) e a diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo (Δt) obtemos o fluxo de calor (q) que atravessa o fechamento em W/m^2 , dado pela seguinte relação:

$$q = U \cdot \Delta t \quad (5)$$

Pesquisas em novos materiais para a envoltória estão sendo realizadas. Uma destas linhas de pesquisa investiga materiais que mudam de fase (*phase change materials*, ou PCMs) quando expostos às variações de temperaturas do ambiente, que ocorrem durante o dia, a noite e ao longo do ano. Como a temperatura destes materiais se mantém constante durante a mudança de fase, o ambiente interno da edificação sofre uma menor variação de temperatura, o que reflete em economia no consumo de energia para climatização artificial. Experimentos feitos com a aplicação de um destes materiais na envoltória de edificações, mostraram uma economia de 8% no consumo de energia relacionado ao resfriamento artificial necessário para compensar os ganhos de calor pelas paredes. A economia de energia que pode ser alcançada depende da zona bioclimática em que a edificação está inserida, da orientação solar, da fachada analisada e de outros fatores como a posição do material dentro da parede. Quando analisada apenas a fachada oeste, a economia de energia para resfriamento chega a 84% com o uso do material, considerando a zona bioclimática específica em que foi testada a edificação Pessoa et. al (2013). Os estudos de custo/benefício da aplicação de PCMs em envoltórias de edificações, demonstram que o retorno financeiro seria dado após um período de 7 a 10 anos, a depender de fatores como condições bioclimáticas. Espera-se reduzir o custo dos PCMs no futuro com o desenvolvimento da pesquisa nesta área Kosny *et al*, (2013).

O tipo de cobertura de uma edificação influencia tanto no seu desempenho energético quanto na formação de ilhas de calor, no contexto urbano. Em locais de climas quentes, é recomendada a construção de coberturas frias, que são coberturas com alta refletância solar e alta emitância de radiação. No contexto de mercado, estes modelos já são viáveis e com preços similares a outras opções. Estas coberturas mantêm o ambiente interno menos dependente das condições climáticas externas. Isto reduz os gastos com energia para equipamentos de ar-condicionado da mesma forma que os isolamentos em geral para envoltória. Além disto, devido ao efeito de ilha de calor, a cobertura fria reduz a temperatura do ambiente externo, se aplicada em um grande número de edificações. A redução de temperatura que pode ser alcançada, entretanto, não foi medida e validada. Para climas frios, coberturas frias não são recomendadas, porque dificultam o ganho de calor pela edificação.

2.2.4.2 Fechamentos transparentes

Os fechamentos transparentes são responsáveis pela maioria das trocas térmicas de uma edificação, que se propagam por condução, convecção e radiação. No caso das duas primeiras situações, estes fechamentos se comportam similarmente aos opacos, tendo ainda a vantagem de se regular a entrada e saída de calor simplesmente abrindo-se a janela. As janelas mais simples são compostas apenas por uma folha de vidro e as esquadrias, o que permite trocas de calor sem oferecer muita resistência. Janelas mais complexas são compostas por duas ou mais folhas de vidro, um espaçador que separa estas folhas e um gás isolante preenchendo o vazio entre elas, além das esquadrias. Elas podem contar ainda com películas de baixa emissividade e outros tratamentos especiais nos vidros. Estas janelas oferecem mais resistência às trocas térmicas entre o ambiente interno e externo.

Fechamentos transparentes permitem a entrada direta de uma parcela da radiação incidente, dependente de um terceiro fator além da absorvidade e da refletividade, a transmissividade (τ), completando o conjunto de características ópticas deste fechamento. A entrada de calor nesses fechamentos varia de acordo com a sua orientação e tamanho da abertura, o tipo de vidro e o uso de proteções solares.

De maneira geral, a inclinação da radiação incidente afeta o quanto um vidro é capaz de refleti-la ou transmiti-la para o seu interior. A sua absorvidade transforma a incidência solar composta por ondas curtas em ondas longas, aquecendo a sua superfície, a sua refletividade, devolve uma parcela da radiação no mesmo formato de onda para o exterior. A transmissividade será responsável por deixar adentrar no ambiente a radiação solar de onda curta após atravessá-lo.

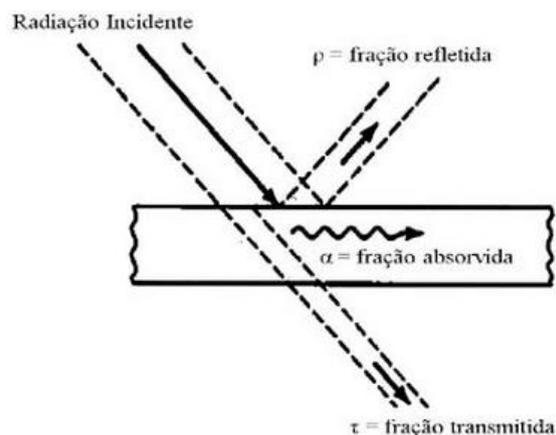


FIGURA 2.2.4.2.1 – Radiação incidente em fechamentos transparentes (SILVA ET AL, 2012)

Para analisar a quantidade de calor proveniente de radiação que adentra no ambiente, é útil ter como referência o fator solar de um fechamento transparente. Segundo Lamberts *et al.* (1997), “o fator solar de uma abertura pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide”. Este parâmetro é adimensional e varia de acordo com a inclinação da incidência solar. Deve-se atentar para o fato de que vidros com baixo fator solar utilizados com o objetivo de evitar o aquecimento de um cômodo e conseqüentemente contribuir para uma economia no uso de ar-condicionado, aumentarão a necessidade de iluminação artificial dentro do mesmo. O fator solar de um vidro é determinado pela fórmula:

$$F_s = (\tau + \alpha/2) \quad (6)$$

Os tipos e composições de vidros evoluíram bastante ao longo do tempo, sendo desenvolvidos tipos específicos para cada situação, seja para evitar o calor ou retê-lo. Nessa busca da especificação correta e adequada de um vidro, procura-se atingir um ponto de equilíbrio entre três componentes principais e objetivos: conforto visual, conforto térmico e economia, além da consideração estética, de caráter subjetivo e até certo ponto imponderável.

Hoje em dia, contamos com vidros de composição comum até vidros com camadas pirolíticas, as quais produzem o efeito visual de um espelho sem a necessidade de películas, com as camadas fundidas aos vidros. Abaixo, um comparativo do fator solar de vidros com e sem camada pirolítica.

TABELA 2.2.4.2.1 – Fator solar em vidros (DIVINAL VIDROS)

Tipo de vidro	Fator Solar F_s	
	Comum	Pirolítico
Médio desempenho		
Incolor	0,94	0,8
Azurlite	0,58	0,62
Azul Escuro	0,69	0,44
Verde	0,68	0,44
Alto desempenho		
Esmeralda	0,61	0,35
Preto	0,52	0,34

Atualmente, estão sendo desenvolvidas metodologias padronizadas para a avaliação de tecnologias mais avançadas de controle térmico em aberturas, como janelas eletrocromáticas, fotoativas, isoladas a vácuo e fotovoltaicas. As janelas eletrocromáticas são aquelas capazes de mudar suas propriedades físicas como transmitância térmica, transmitância visível e coeficiente de ganho solar, de acordo com o acionamento de uma corrente elétrica. As fotoativas são capazes de mudar estas propriedades de acordo com a incidência de raios solares. As isoladas a vácuo têm o ar removido do interior de suas folhas de vidro, proporcionando maior isolamento térmico. As fotovoltaicas têm uma película de células que geram eletricidade a partir dos raios solares, e são transparentes (Departamento de Energia dos Estados Unidos, 2013).

Sobre a relação entre área de aberturas e a área de fachada, segundo Ghisi *et. al* (2005) verifica-se que a área ideal de abertura envidraçada está, geralmente, entre 10% e 40% da área de fachada, podendo em alguns casos exceder esta faixa. A proporção ideal varia de acordo com as dimensões do ambiente analisado, a orientação solar da fachada e a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Esta proporção ideal tende a aumentar em fachadas com menos exposição ao sol. Também tende a aumentar com o aumento da profundidade do ambiente em relação à largura, e com o aumento de todas as dimensões do ambiente proporcionalmente. Obedecendo a esta proporção ideal entre a área de aberturas envidraçadas e a área de fachada, é possível obter o menor consumo energético dos sistemas de ar condicionado e iluminação artificial. A proporção exata para cada caso deve ser obtida por simulação computacional.

2.3 Bioclimatologia

Ao se juntar as variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, pode-se compreender as necessidades e o comportamento de um edifício no quesito eficiência energética. A partir destas informações é que se deve estudar soluções e alternativas para considerar no projeto as condições de conforto térmico dos usuários. O estudo da relação do clima com o conforto térmico do homem é chamado de bioclimatologia, e é de grande utilidade para se saber como as sensações de frio e calor do homem variam de acordo com a temperatura e umidade do ar.

A partir da década de 60, os irmãos Olgyay passaram a aplicar o estudo da bioclimatologia na concepção de edificações, criando a expressão projeto bioclimático, que incorporou o fator conforto térmico de forma direta e objetiva na concepção dos projetos de edificações. Com o

passar dos anos o estudo bioclimático nos projetos foi sendo aprimorado, passando a considerar variáveis do microclima interno da edificação. Porém, as condições de temperatura e umidade não refletem os padrões de conforto térmico igualmente para todas as pessoas, pois dependendo da região em que moram, os habitantes se sentem mais confortáveis em condições climáticas diferentes. Givoni (1992) explica que “o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes”, ou seja, os parâmetros de conforto térmico de cada pessoa são determinados pela aclimatação à que foi submetida. Givoni desenvolveu cartas bioclimáticas para vários tipos de climas específicos aos quais as pessoas estão acostumadas, inclusive para países em desenvolvimento como o Brasil. O modelo da carta bioclimática é construído por cima de um diagrama psicrométrico, relacionando temperatura e umidade relativa em cada eixo.

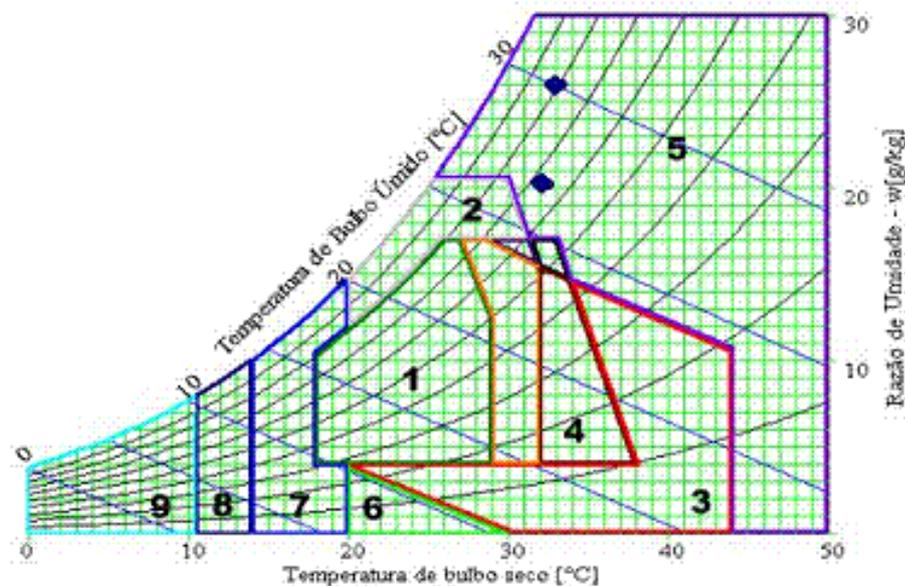


FIGURA 2.3.1 - Carta Bioclimática adotada para o Brasil (GOULART ET AL., 1998)

Cada delimitação de área do diagrama indica uma medida a ser tomada para satisfazer o conforto térmico do usuário, como segue:

1. Zona de conforto: nas combinações de temperatura e umidade incidentes dentro desta área, o usuário se sentirá confortável termicamente, não sendo necessário o condicionamento ou aquecimento de ar por fontes artificiais. Esta zona está compreendida entre 18°C e 29°C, com uma umidade relativa inferior à 80% e uma razão de umidade entre 4g/kg e 17g/kg.

2. Zona de Ventilação: Em temperaturas acima de 29°C ou umidade relativa superior à 80%, a ventilação é uma estratégia satisfatória para proporcionar o conforto térmico ao usuário. Nestes casos é aconselhável prever aberturas que façam uma ventilação cruzada no ambiente interno.
3. Zona de Resfriamento evaporativo: Em ambientes secos e quentes, a evaporação da água contribui para a diminuição da temperatura e o aumento da umidade. Um exemplo de resfriamento evaporativo é a evapotranspiração de vegetais em jardins.
4. Zona de massa térmica para resfriamento: Para temperaturas acima de 29°C e umidade inferior a 17g/kg, faz-se necessário o resfriamento do ambiente sem a necessidade de reduzir a umidade. Este efeito pode ser obtido aproveitando-se a inércia térmica dos fechamentos da edificação, que esfria durante a noite retira o calor do ambiente ao longo do dia.
5. Zona de ar-condicionado: Em temperaturas elevadas combinadas com umidade elevada as alternativas de resfriamento passivo não são suficientes para garantir o conforto térmico dos usuários, sendo necessário recorrer ao uso de aparelhos de ar-condicionado.
6. Zona de umidificação Para temperaturas amenas abaixo de 27° e umidade muito baixa, o usuário sentirá desconforto térmico pela secura do ar. Para estes casos recomenda-se o uso de umidificadores de ar ou até algumas estratégias passivas como recipientes de água expostos dentro do ambiente.
7. Zona de massa térmica e aquecimento solar: Para temperaturas entre 14°C e 20°C, é necessário combater a sensação de frio sentida pelo usuário. Nesta faixa faz-se suficiente o aquecimento solar com isolamento térmico para evitar a perda de calor acumulada no interior do ambiente, deve-se aproveitar também a inércia térmica dos fechamentos para acumular calor durante o dia e esquentar o interior na edificação à noite.
8. Aquecimento solar passivo: para temperaturas entre 10°C e 14°C a exposição da edificação ao aquecimento proveniente do sol se faz ainda mais importante, sendo necessário ter um isolamento térmico mais rigoroso para acumular o calor no interior e o posicionamento de fechamentos opacos que estejam expostos à radiação solar a maior parte do dia possível.

9. Aquecimento artificial: para temperaturas abaixo de 10° o aquecimento passivo sozinho já não se mostra viável para garantir o conforto térmico dos usuários, passa a ser necessário a utilização de aquecimento artificial.

Goulart *et al* (1998) expande o uso da carta bioclimática desenvolvida por Givoni (1992), fazendo uso do *Test Reference Year* (TRY) ou ano climático de referência, que seria o ano real que mais se aproxima da normal climatológica, segundo Pietrobon (1999). Desta maneira, foram definidas através da carta estratégias bioclimáticas específicas para 14 cidades brasileiras, incluindo Brasília. Aplicando os dados das normais climatológicas ou do TRY à carta bioclimática desenvolvida por Givoni é possível conhecer o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar em cada localidade ao longo do ano identificando os períodos com maior probabilidade de desconforto e o percentual das estratégias mais indicadas para a edificação.

Aplicando a metodologia descrita acima, a montagem da carta climática com o TRY de Brasília tem-se:

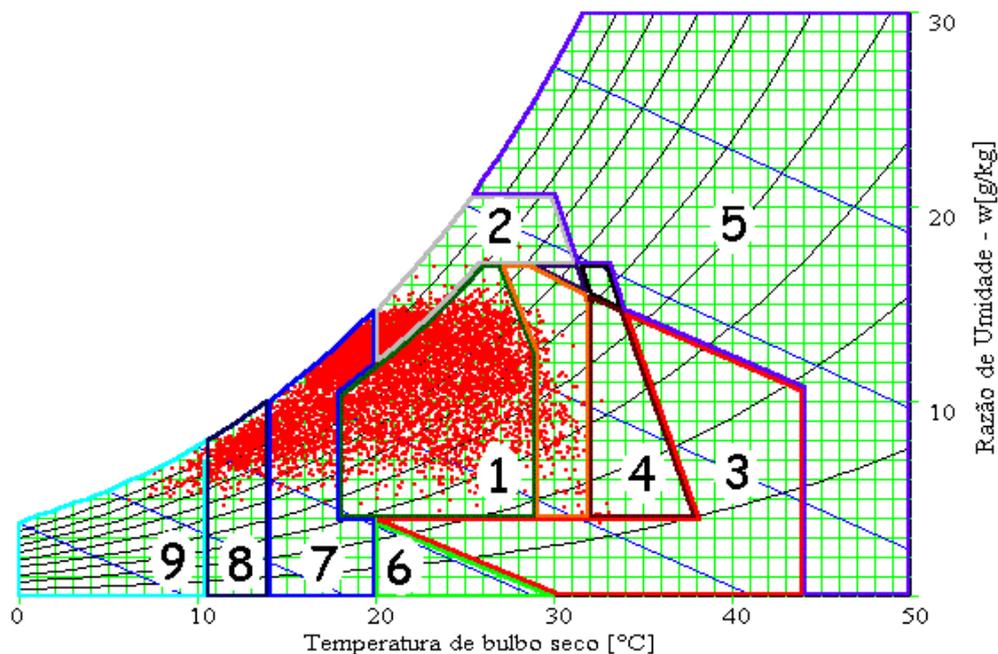


FIGURA 2.3.2 – Carta Bioclimática de Brasília (GOULART ET AL., 1998)

Analisando-se a carta bioclimática de Brasília, percebe-se que uma grande porcentagem das ocorrências climáticas situa-se dentro da região de conforto térmico, sendo a cidade mais confortável segundo o estudo do TRY das 14 estudadas na publicação de Goulart (1998). O desconforto principal é advindo do frio e da secura, surgindo como estratégias mais

adequadas para essa cidade a massa térmica para aquecimento, a ventilação e o aquecimento solar como indicado na tabela abaixo:

TABELA 2.3.1 – Estratégias para conforto térmico em Brasília (GOULART *ET AL.*, 1998)

Situação		Uso indicado da estratégia (%)	
Conforto		43,6	
Desconforto	Calor	Ventilação	12,6
		Massa térmica para resfriamento; resfriamento evaporativo	2,5
	Frio	Massa térmica para aquecimento	33,9
		Aquecimento solar	6,1
		Aquecimento artificial	0,9

A carta bioclimática de Brasília aponta para um fato muito interessante. Se a concepção de projeto das edificações da capital levassem em conta estes dados, não seria necessário o uso de ar-condicionado, visto que a utilização de massa térmica para resfriamento ou ventilação adequada resolveria o desconforto térmico proporcionado pelo calor. Porém, o uso destes aparelhos acaba fazendo-se necessário em edificações que priorizaram o embelezamento de fachadas com peles de vidro criando verdadeiras estufas em seus interiores. A ventilação nas edificações em Brasília pode ser aproveitada com a disposição adequada de aberturas, devendo-se tomar cuidados para não exagerar na quantidade, pois no período frio estas iriam se tornar um problema ao invés de uma solução.

Lamberts *et al.* (1997) faz a seguinte observação sobre a análise bioclimática: “Deve-se observar que boa parte das horas mais frias do ano se apresenta em horários noturnos, quando o nível de atividade das pessoas é bem reduzido e a tolerância a temperaturas mais baixas é maior quando se dorme (devido ao isolamento térmico proporcionado pelo cobertor e colchão)”.

O Brasil possui uma diversidade climática muito extensa se for feita a análise da combinação de cartas bioclimáticas com os TRYs de cada cidade. Contradizendo esta diversidade, os edifícios brasileiros acabam sendo projetados de maneira padronizada, espalhando uma mesma tipologia por cidades de comportamentos climáticos distintos.

Concluindo esta análise, a concepção dos projetos de edificações deveriam levar em conta as especificidades climáticas da cidade em que se situará, de maneira que possam ser

incorporadas as estratégias mais adequadas à edificação para proporcionar o conforto térmico do usuário com uma eficiência energética satisfatória.

2.4 Soluções adequadas para buscar a eficiência energética

Para cada região da carta bioclimática faz-se necessário o uso de uma estratégia diferente. A seguir serão detalhadas as soluções para cada uma destas.

Quando se fizer necessária a utilização da ventilação, deve-se aproveitar a forma e orientação da edificação de modo à maximizar a sua exposição aos ventos do período de verão. Deve-se também dimensionar os ambientes e fechamentos de uma maneira que o ambiente interno como um todo seja um espaço fluido que favoreça a circulação do ar. Outro ponto importante a se observar é o acúmulo de ar quente nos tetos das edificações, o que pode ser evitado com aberturas nos telhados que proporcionem uma saída para este.

Para locais onde é necessária a umidificação ou resfriamento evaporativo, é indicada a utilização de plantas e gramados que elevarão a umidade do ambiente através da evapotranspiração. Outra estratégia recomendada é o uso de telhas cerâmicas não vitrificadas em telhados, pois a sua porosidade absorve a água da chuva (e da molhagem direta que pode ser feita pelo usuário com uma mangueira nos dias mais quentes), sendo posteriormente evaporada, reduzindo a temperatura do telhado. Uma solução moderna é a utilização de telhados verdes, constituídos de jardins suspensos em lajes impermeabilizadas.

Onde se fizer necessário o aproveitamento da massa térmica, tanto para resfriamento ou aquecimento, a solução está na constituição dos fechamentos da edificação. A massa térmica pode acumular o calor recebido pela parede durante o dia e devolvê-lo ao interior somente à noite, quando as temperaturas tendem a ser mais amenas.

Para se aproveitar o aquecimento solar passivo, pode-se obter o aquecimento desejado diretamente através de aberturas e fechamentos transparentes, gerando um efeito estufa quando desejado. Pode-se aproveitar este recurso indiretamente, aliando a incidência solar à paredes de alta inércia térmica, que esquentarão o ambiente com o calor acumulado.

Nos locais em que o ar-condicionado é essencial, deve-se garantir a estanqueidade do ambiente para que a energia gasta pelo aparelho seja utilizada para resfriar o ambiente da maneira mais eficiente possível. Deve-se utilizar os aparelhos mais eficientes e com a taxa de BTU's (*British Thermal Unit*) adequada ao tamanho do ambiente. Estes requisitos também se

aplicam a ambientes em que o aquecimento artificial se faz necessário, onde deve-se utilizar fechamentos que não permitam a entrada de ar externo nem a saída do ar já aquecido.

2.5 Normatizações para eficiência energética em edifícios

Os incentivos à eficiência energética em edificações têm como objetivo principal reduzir o uso desnecessário de energia neste setor. As ações para se alcançar as metas de eficiência podem ser tomadas pelas autoridades governamentais ou privadas. Estes incentivos podem ser feitos de maneira a reduzir os custos relacionados aos produtos e serviços de eficiência energética ou através de normatizações que contenham pré-requisitos obrigatórios de desempenho de edificações.

O Brasil possui uma norma que impõe requisitos mínimos para edifícios habitacionais, a NBR 15575, de caráter obrigatório e que regulamenta os níveis de desempenho térmico de edifícios habitacionais no Brasil, prescrevendo áreas mínimas de abertura para ventilação, sombreamento de aberturas e métodos de simulação usados para avaliar a eficiência térmica do edifício.

Existem normatizações específicas para o desempenho térmico dos fechamentos. No Brasil, o RTQ-C (Requisitos técnicos da qualidade para edificações) estabelece dois pré-requisitos para a avaliação de edificações como itens necessários para se obter uma classificação mínima, sendo valores de transmitância térmica e absorvidade máximos, específicos para cada zona bioclimática brasileira. Além desses pré-requisitos, o RTQ-C utiliza como critério de avaliação o índice de consumo, calculado através das seguintes variáveis:

1. Fator de forma: dado pela relação entre área da envoltória e volume total da edificação (m^2/m^3);
2. Fator de altura: dado pela relação entre área de projeção da cobertura e área total construída (%);
3. Percentual de aberturas na fachada: dado pela relação entre área total de abertura nas fachadas e área total das fachadas (%);
4. Fator solar de vidros: dado pela relação entre o ganho de calor através de aberturas e radiação solar incidente nas aberturas;
5. Ângulos de sombreamento vertical e horizontal gerados por proteções externas nas aberturas.

O código ASHRAE 90.1, elaborado pelo *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (2010) é um dos códigos de normatização mais aceitos nos Estados Unidos e é usado como referência para adaptações em outros países. Este código define parâmetros mínimos de desempenho energético aceitáveis para edificações. No que diz respeito aos fechamentos, o ASHRAE 90.1 estabelece:

1. Valores de resistência e transmitância térmica aceitáveis para o fechamento opaco e translúcido, medindo o isolamento térmico da envoltória e sua capacidade de ganhar calor por condução.
2. Valores máximos de permeabilidade ao ar para todos os componentes do fechamento.
3. Valores mínimos de refletividade e emissividade para coberturas.
4. Valores máximos de absortividade para aberturas.
5. Para edificações no hemisfério norte, a área de abertura vertical da edificação com orientação para o sul deve ser maior que a área de abertura orientada para o leste e maior que a área de abertura orientada para o oeste. Para edificações no hemisfério sul, a área de abertura vertical da edificação com orientação para o norte deve ser maior que a área de abertura orientada para o leste e maior que a área de abertura orientada para o oeste. Esta disposição favorece que a edificação receba iluminação natural com qualidade aceitável.
6. Valor máximo permitido para a relação entre área de abertura e área total das paredes, de 40%, bem como para a relação entre área de aberturas de cobertura, de 5%.

Comparando-se os requisitos do RTQ-C do Brasil e os da ASHRAE 90.1 norte americanos, fica claro que o segundo baseia-se no princípio de isolamento total da edificação, para que esta seja condicionada artificialmente, fazendo o isolamento das infiltrações de ar exigidos, impedindo a ventilação natural dos edifícios. Já o RTQ-C dá preferência para a ventilação natural da edificação, estabelecendo como critérios de avaliação as aberturas com permissão ao fluxo de ar e sombreamento das fachadas. Tal diferença entre métodos de avaliação ocorre devido à diferença de clima entre o Brasil e os EUA, sendo que no primeiro o condicionamento natural do ar é, na maioria das vezes, suficiente para a manutenção do conforto humano.

Além das duas regulamentações descritas acima, não podemos deixar de citar a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), criada nos Estados Unidos em 1999. Esta certificação é disseminada no mercado mundial, contendo versões

adaptadas para diversos países, moldado para ser facilmente absorvido pela construção civil de maneira voluntária, que acaba indiretamente sendo fator determinante na concorrência do mercado da construção. Para obter a certificação, deve-se cumprir diversos requisitos como: canteiros de obra sustentáveis, eficiência no uso de água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade ambiental interna, inovação no design e prioridades regionais.

O LEED avalia a sustentabilidade do empreendimento como um todo, considerando o ponto de vista ecológico, o conforto ambiental e até aspectos socioeconômicos. Quanto à eficiência energética, a avaliação para obtenção da certificação envolve uma simulação energética computacional de todo o edifício, sendo necessário demonstrar 10% da redução de desempenho energético em novas construções ou 5% em reformas de prédios existentes. Um estudo mostrou que edificações com certificação LEED consomem em média entre 28% e 39% menos energia que edificações sem a certificação.

Considera-se que no Brasil, as normatizações e exigências de eficiência energética estão em um nível bem abaixo dos países desenvolvidos como Estado Unidos e membros da União Europeia. De acordo com o Centro de Gestão e Estudos Energéticos (2012), “o Brasil precisa, prioritariamente, comunicar e divulgar os programas de eficiência energética em edificações e capacitar profissionais aptos a lidar com o tema da sustentabilidade em edificações, tanto gestores quanto técnico-administrativos e projetistas. Atenta-se também para a necessidade de desenvolver critérios e métodos para medição de propriedades higrotérmicas de materiais usados na construção civil, adequados ao caso brasileiro, bem como um banco de dados destas propriedades; estimular parcerias público-privadas entre universidades e empresas; criar organismos de inspeção acreditados; facilitar financiamentos; estabelecer obrigatoriedade da etiquetagem; capacitar mão de obra técnica para atender a soluções construtivas modulares e industrializadas, bem como tornar estas soluções mais vantajosas que as artesanais, através da redução da carga de impostos; interferir nos hábitos dos usuários para redução do consumo energético; facilitar a introdução dos softwares de projeto integrado (BIM), que simulam diversos aspectos da edificação”.

3 METODOLOGIA

A análise da eficiência energética da edificação do Instituto de Biologia é embasada nos conceitos teóricos estudados na revisão bibliográfica, a qual será realizada nas seguintes etapas:

- 1) Familiarização e estudo do *software Design Builder*;
- 2) Modelagem 3D da edificação na plataforma do software a partir dos dados de projeto e *as-built*;
- 3) Estudo dos materiais empregados nos fechamentos, observando o comportamento térmico destes;
- 4) Realizar a simulação computacional da situação atual da edificação e analisar os resultados obtidos;
- 5) Sugestão de alternativas para melhorar os resultados obtidos, remodelando o edifício com as alterações propostas;
- 6) Realizar a simulação computacional da edificação com as devidas modificações e analisar os resultados obtidos;
- 7) Comparar os resultados e verificar se as alternativas escolhidas são satisfatórias.
- 8) Apresentação dos resultados obtidos.

4 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: BLOCO 4 – BIOLOGIA CELULAR

O estudo da eficiência energética e análise de conforto térmico do Instituto de Biologia foi avaliado em apenas uma edificação do complexo, o Bloco 4, destinado aos estudos de Biologia Celular. Os blocos do IB possuem uma concepção arquitetônica semelhante entre si, onde são empregados os mesmos materiais, e os mesmos formatos de edificação, alterando-se apenas a divisão de cômodos em seu interior. Neste caso as variáveis e arquitetônicas e climáticas pouco diferem de bloco a bloco.

As variáveis humanas (ou de ocupação), variam de acordo com a atividade designada à cada bloco, onde encontram-se salas de aula, salas de computador, laboratórios, salas de professores, dentre outros. O bloco da Biologia Celular foi escolhido para essa análise por se tratar de um caso extremo no quesito de ocupação, onde a alta concentração de máquinas e computadores colabora para o aumento da temperatura interna de forma considerável. Vale salientar que caso deseje-se avaliar a eficiência energética e o conforto térmico de outros blocos do Instituto de Biologia, deve-se realizar outro estudo com as especificidades de ocupação de cada bloco.

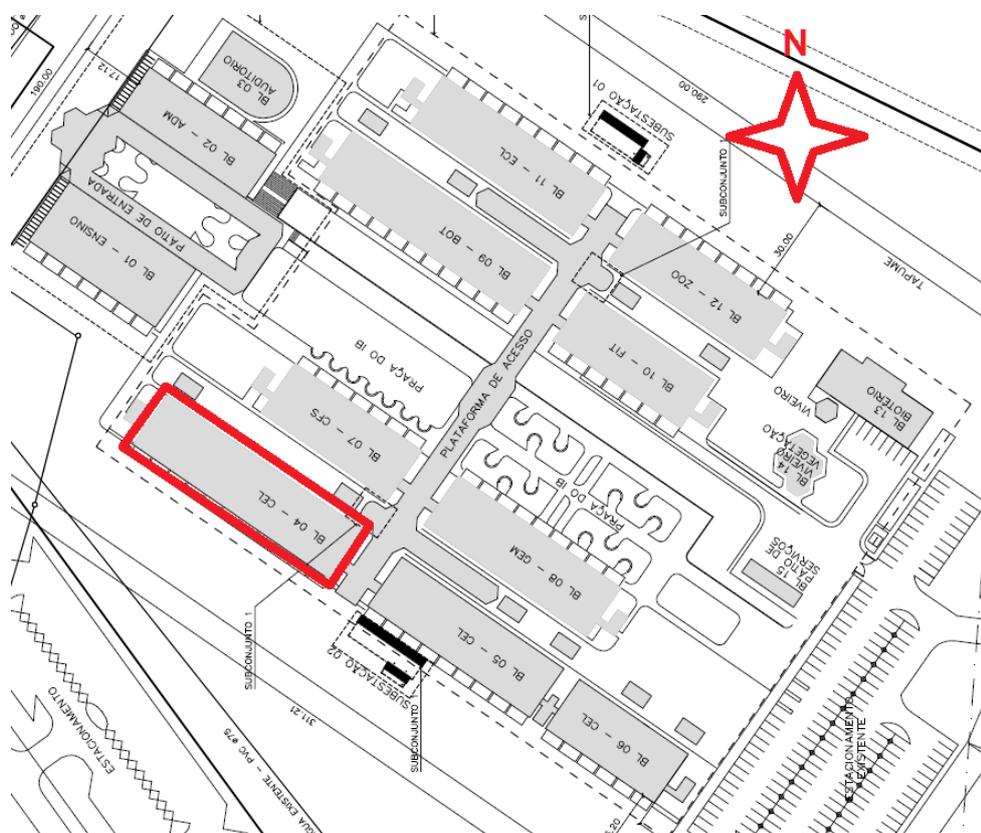


FIGURA 4.1 – Planta de situação do Bloco 4 do Instituto de Biologia (CEPLAN – UnB)

4.1 Características do Bloco 4 – Biologia Celular

4.1.1 Variáveis arquitetônicas e constituintes

Esta edificação é composta por um pavimento térreo e um primeiro andar, nos quais se situam laboratórios, salas de professores e salas de computação, além de espaços de circulação e banheiros. Acima do primeiro pavimento, há uma espécie de domo onde são armazenadas as condensadoras dos aparelhos de ar-condicionado do tipo *split*.

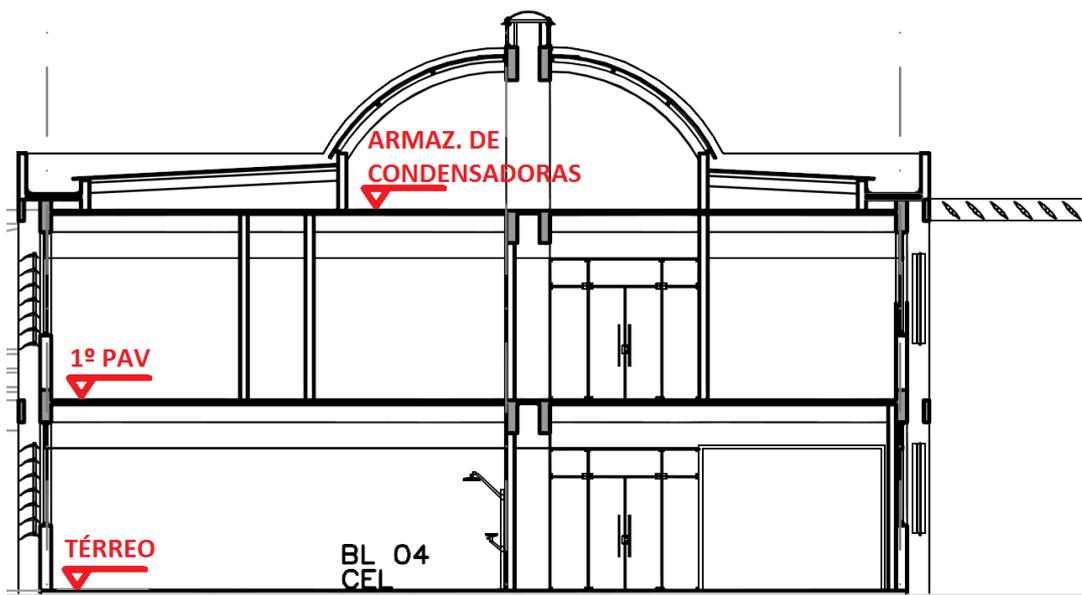


FIGURA 4.1.1.1 – Corte transversal do Bloco 4 (CEPLAN – UnB)

A edificação é constituída por materiais convencionais e possui brises distribuídos em todas as suas janelas como medida de bloqueio do aquecimento direto pela luz solar, como indicado na tabela 4.1.1.1 e figura 4.1.1.2.

TABELA 4.1.1.1 – Tipologias construtivas do Bloco 4 do instituto de Biologia

Elemento	Material
Paredes externas	Alvenaria de bloco cerâmico rebocado e pintado com tinta branca em ambos os lados (esp. total 23 cm)
Paredes internas	Alvenaria de bloco cerâmico rebocado e pintado com tinta branca em ambos os lados (esp. total 13 cm)
Janelas	Folhas de vidro de abertura horizontal, sem película
Piso	Concreto armado com camada de contrapiso e placas de concreto polido
Telhas sobre laje	Fibrocimento
Cobertura do domo	Telha de zinco galvanizada
Brisés	Metálico



FIGURA 4.1.1.2 – Fachadas do Bloco 4 a) Nordeste b) Sudoeste

Os materiais apresentados aqui foram obtidos através de verificação no local e serão mais bem detalhados quanto à espessura e propriedades térmicas mais adiante da descrição da modelagem computacional, a qual analisará o desempenho da envoltória em proporcionar o conforto térmico desejado dentro da edificação.

Ao conversar com professores e funcionários do local foi obtida a informação de que o projeto desta edificação foi feito com o intuito de praticamente anular a necessidade do uso de ar-condicionado (com exceção dos laboratórios onde é necessário um rigoroso controle de temperatura), o que na prática não é verdade segundo os usuários. Isso se deve ao fato de que a edificação conta com um artifício estratégico para aliviar os ganhos de calor dentro de cada cômodo mas que atualmente não é utilizado.

Ao longo dos corredores e salas estão distribuídos *shafts* ventilados por venezianas, os quais conectam o térreo e o primeiro pavimento ao domo de armazenamento das condensadoras como indicado na figura 4.1.1.3. A intenção do projeto era que as condensadoras ficassem posicionadas nas saídas destes *shafts* no último piso, de onde sugariam o ar necessário para o funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado instalados

nas salas em que estes são indispensáveis. Esta tomada de ar de dentro dos *shafts* induziria uma circulação de ar constante, renovando o ar de dentro das salas para amenizar os acúmulos de calor.

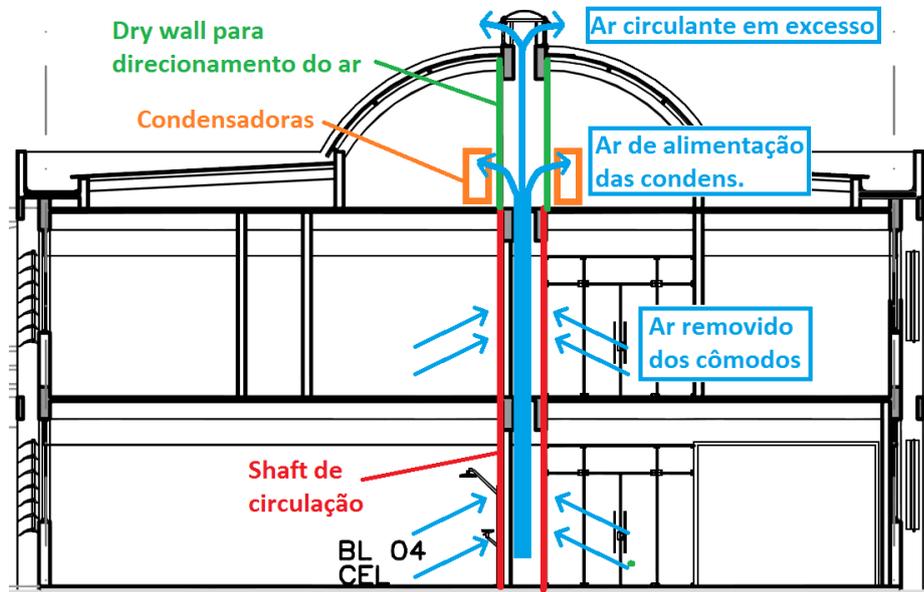


FIGURA 4.1.1.3 – Desenho esquemático de funcionamento dos shafts de ventilação

Este sistema não é utilizado pelo fato da empresa contratada para a instalação das condensadoras não as posicionou como previsto em projeto, todas elas estão instaladas com a direção errada (empurrando o ar quente do domo para dentro dos cômodos), ou longe das saídas dos *shafts*. Em alguns locais sequer está montada a parede de *drywall* para direcionar o fluxo de ar para as condensadoras (figura 4.1.1.4).



FIGURA 4.1.1.4 – a) Shaft de ventilação b) Local de armazenamento das condensadoras

4.1.2 Variáveis humanas (ou de ocupação)

Ambos os pavimentos são divididos basicamente entre salas de professores ou de reunião e laboratórios, onde variam a taxa de ocupação de pessoas, quantidade de computadores, instrumentos e máquinas.

As salas de professores se caracterizam por uma ocupação baixa e ganhos internos de calor provenientes de iluminação, computadores e equipamento de escritório. Os laboratórios caracterizam-se por uma ocupação média e ganhos elevados de calor provenientes de computadores e máquinas utilizadas nos experimentos, como geladeiras, agitadores, centrífugas, estufas e congeladores. Na figura 4.1.2.1 segue a planta baixa de cada pavimento com as divisões de atividade por cômodo, indicando em quais foram identificados equipamentos de ar-condicionado do tipo *split*, utilizando uma escala de cor para diferenciar os locais mais frios dos mais quentes.

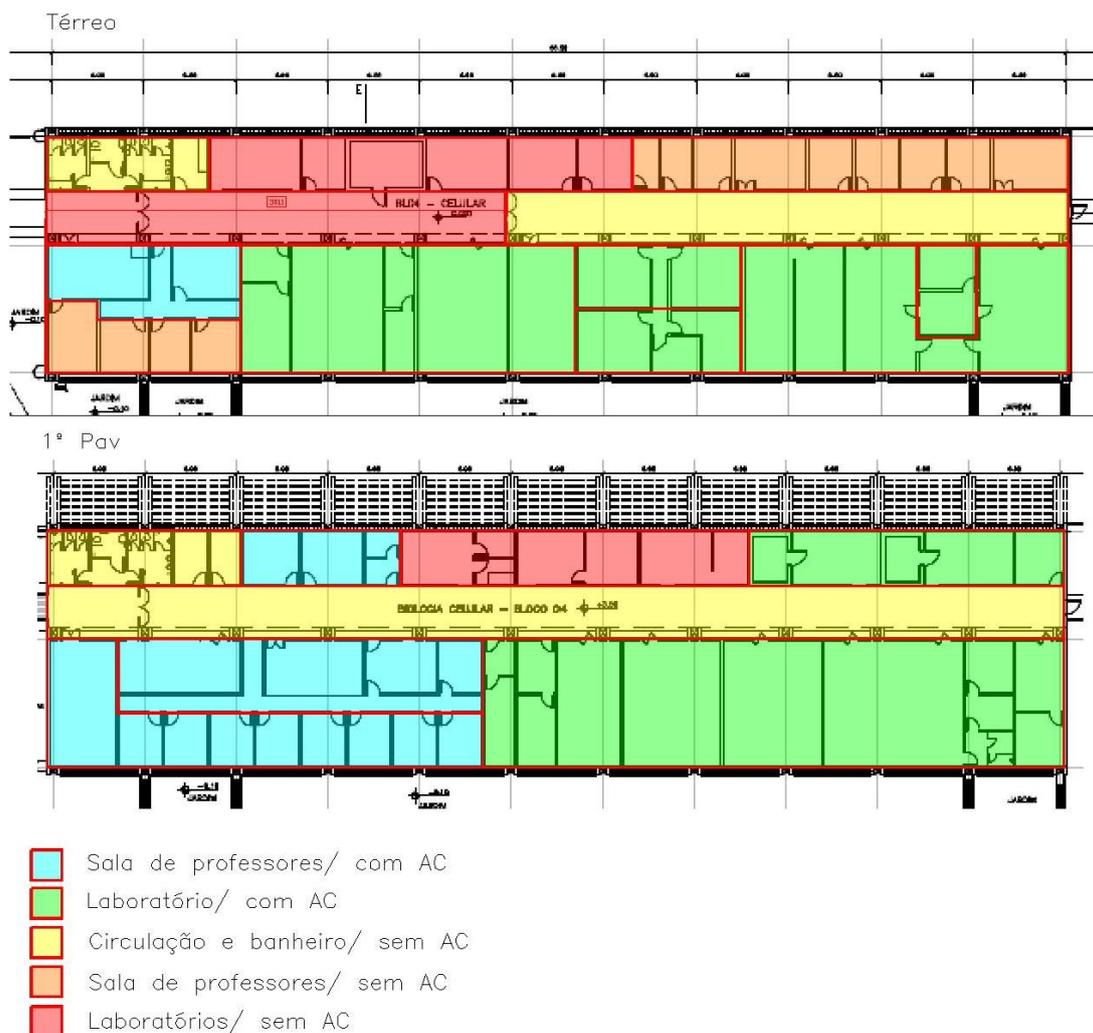


FIGURA 4.1.2.1 – Divisão dos cômodos por tipo de ocupação

Observa-se que uma parte da circulação do térreo está classificada como “Laboratório/sem AC”. Isto se deve ao fato de que não há espaço suficiente nos laboratórios para abrigar todas as máquinas necessárias, sendo assim, grande parte delas são alocadas em funcionamento ao longo dos corredores, aquecendo excessivamente o ar nestes locais (figura 4.1.2.2).



FIGURA 4.1.2.2 – Excesso de equipamentos de laboratório ao longo do térreo

Apesar de ter sido feito o mapeamento das salas que contém aparelhos de ar-condicionado, é importante salientar que neste trabalho não será analisado o dimensionamento desta rede.

4.2 Modelagem através do software *Design Builder*

Para realizar a simulação computacional do Bloco 4 do Instituto de Biologia foi utilizado o software *Design Builder*, o qual permite a modelagem da edificação de maneira ilustrativa e unido ao *Energy Plus*, fornece os resultados desejados.

A modelagem foi possível através de plantas de situação, plantas baixas e cortes fornecidos pelo CEPLAN da UnB com autorização do DGI. Além da utilização de plantas, foram realizadas inspeções in loco com o intuito de colher informações que não constam em projetos, como os materiais empregados e a utilização de cada ambiente.

A modelagem realizada tem o intuito de representar a edificação com todas as suas características necessárias para avaliar o conforto térmico da edificação. Vale ressaltar que esta modelagem não é perfeita visto que algumas simplificações tiveram de ser feitas, as quais são necessárias para reduzir a complexidade e tempo de simulação, sem comprometer de forma significativa o estudo do conforto térmico da edificação.

Inicialmente, criou-se um novo projeto no software denominado “IB – Bloco 4”, situado no *template* “BRASILIA (AEROPORTO)”, já existente. Mais adiante serão esclarecidas modificações feitas aos dados climatológicos fornecidos pelo *Design Builder* para Brasília.

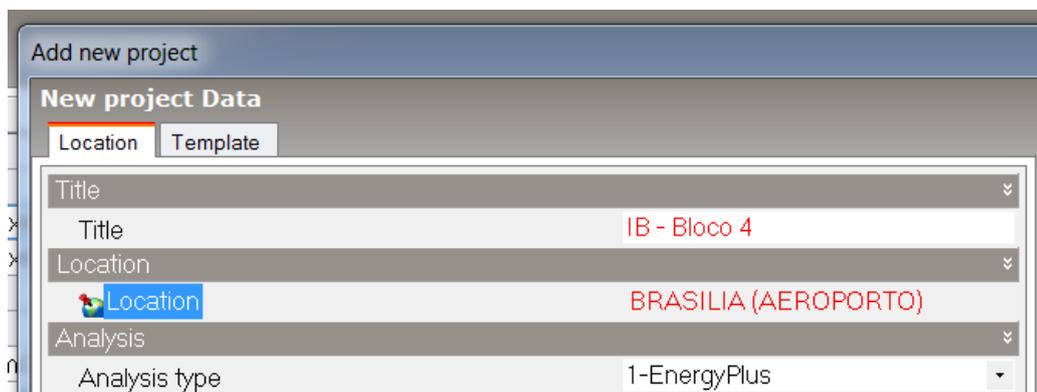


FIGURA 4.2.1 – Criação de um novo projeto (Fonte: *Design Builder*)

4.2.1 Geometria da edificação

Depois de criado o projeto, deve-se adicionar a edificação a ser modelada. Para tal, ao selecionar o botão “Add new building”, determina-se dados gerais da edificação e a convenção utilizada para a entrada das medidas das paredes.

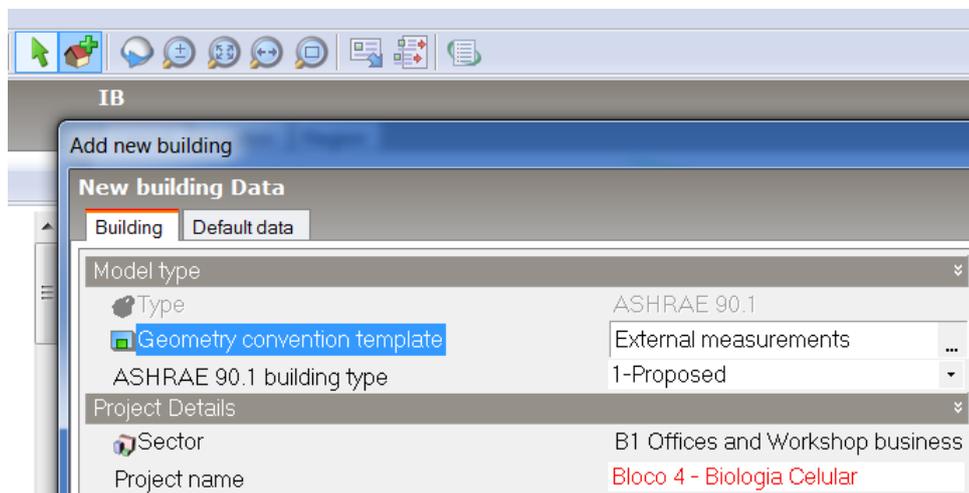


FIGURA 4.2.1.1 – Criação de um novo edifício (Fonte: *Design Builder*)

Foi então exportada a planta baixa em DXF para o novo projeto e realizado o ajuste de escala para a modelagem representar o edifício em dimensões reais. Guiado pelo projeto inicia-se o dimensionamento dos blocos constituintes da edificação através da ferramenta “Add new block”, os quais foram classificados como “Building blocks”. Neste caso dividiu-se em três blocos: o pavimento térreo, primeiro pavimento e o domo de armazenamento das condensadoras. Nesta etapa é definido o pé direito de cada pavimento ao extrudar seus respectivos blocos.

TABELA 4.2.1.1 – Dimensões dos pavimentos do Bloco 4

Bloco	Largura (m)	Profundidade (m)	Pé direito (m)
Térreo	16,10	66,00	3,50
1º Pavimento	16,10	66,00	3,50
Condensadoras	7,50	66,00	3,25/ Var

Definidas as dimensões externas, procede-se à divisão interna dos cômodos utilizando a ferramenta “Draw Partitions”, realizando a divisão do pavimento por zonas. Nesta etapa uma pequena simplificação foi feita: cômodos paralelos pequenos (como salas de professores) onde são realizadas atividades idênticas, foram considerados como uma única zona, visto que as paredes que os dividem pouco interferem na distribuição de ganhos de calor. Esta medida é

aconselhada pelo próprio tutorial oficial do software, tendo em vista a redução da complexidade da posterior simulação.

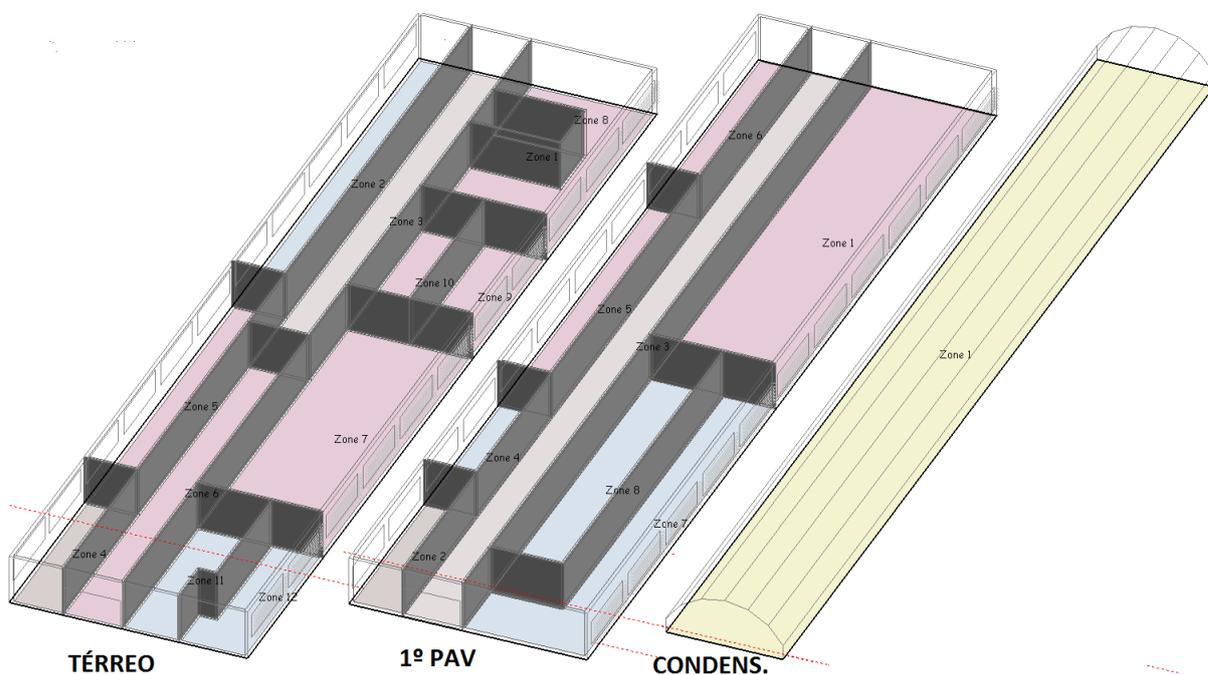


FIGURA 4.2.1.2 – Divisão interna dos cômodos (Fonte: Design Builder)

Após a divisão das zonas em cada pavimento, os blocos são encaixados em seus respectivos lugares, representando as áreas ocupáveis da edificação como um todo.

É necessário ainda modelar os componentes externos à edificação, os quais contribuem para o sombreamento desta. Quando estes elementos forem não ocupáveis, no caso dos brises distribuídos ao longo das janelas e na cobertura, a sua modelagem deve ser feita com a ferramenta “Add new block”, alterando a sua classificação para “Component block”. O posicionamento destes elementos é essencial para a análise da edificação uma vez que reproduzem o sombreamento responsável pela redução de ganho de calor nos ambientes. Por limitações do software, os brises das janelas do lado sudoeste indicados na Figura 4.2.1.3a tiveram de ser modelados como “Component Blocks” pelo fato de serem verticais. Para brises horizontais, como na Figura 4.2.1.3b, a sua modelagem é mais simplificada, visto que são adicionados automaticamente alterando as propriedades das janelas, como será detalhado mais adiante.

Modelada a geometria da edificação, procede-se a dar a orientação correta a ela. O Bloco 4 do Instituto de Biologia possui um azimute de 304° em relação ao norte verdadeiro, medida obtida através das plantas fornecidas e por verificação no sítio do Google Maps.

Definida a orientação, pode-se concluir quais fachadas recebem incidência solar nascente e poente.

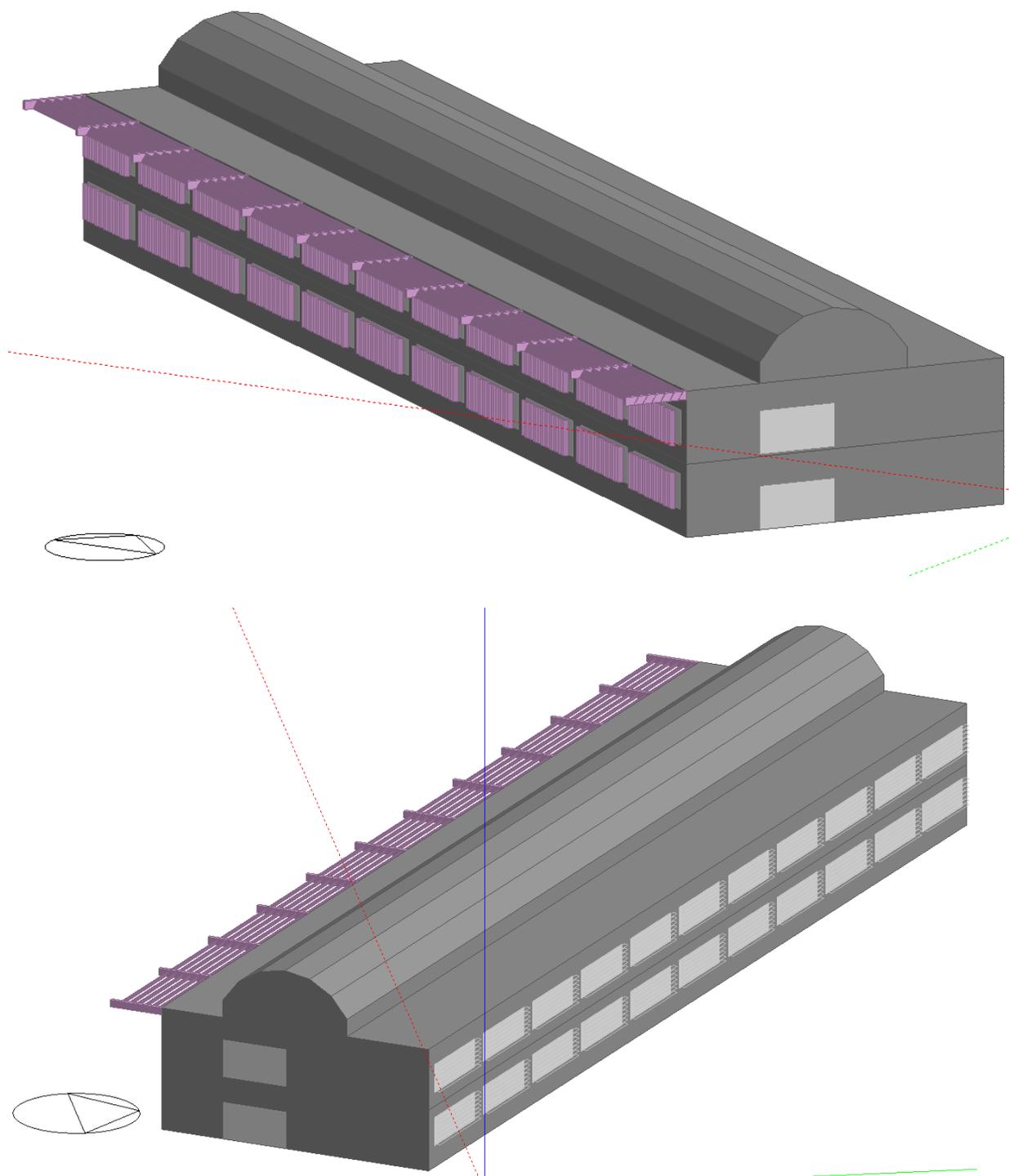


FIGURA 4.2.1.3 – Modelagem final do Bloco 4 a) Fachada sudoeste b) Fachada nordeste (Fonte: *Design Builder*)

4.2.2 Dados climatológicos

A NBR 15575 – Edifícios Habitacionais - Parte 1 – Requisitos Gerais apresenta dados climatológicos de referência a serem usados para simulações em algumas cidades brasileiras, onde são previstas temperaturas de um dia típico de verão e um dia típico de inverno. De acordo com a NBR 15575 – 1, “dia típico de verão é definido como um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos”. A definição de dia típico de inverno é análoga à definição citada.

TABELA 4.2.2.1 – Dias típicos de verão e inverno sugeridos pela norma (Fonte: NBR 15575 – 1)

Dia típico	Temperatura crítica diária °C	Amplitude diária de temperatura	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m ²	Nebulosidade décimos
Verão	Máx: 31,2	12,5	20,9	4625	4
Inverno	Mín: 10	12,2	14,8	4246	3

Portanto, a análise de conforto térmico da edificação deve ser feita considerando o dia mais quente e o mais frio de Brasília. Ocorre que os dados climatológicos padrão fornecidos pelo *Design Builder* para Brasília não possuem dias com temperaturas próximas às exigidas pela norma para o dia típico de verão, sendo necessário substituir o arquivo climatológico padrão por um que se aproxime mais aos requisitos da norma.

O arquivo utilizado foi obtido através de *download* pelo sítio do LABEEE, denominado BRASILIA_TRY1962, o qual foi inserido na pasta *Weather Data* da pasta de instalação do *Design Builder*. Para determinar este arquivo como referência nas simulações, é necessário criar uma nova referência climatológica no input “*Hourly weather data*”, como indicado nas Figura 4.2.2.1.

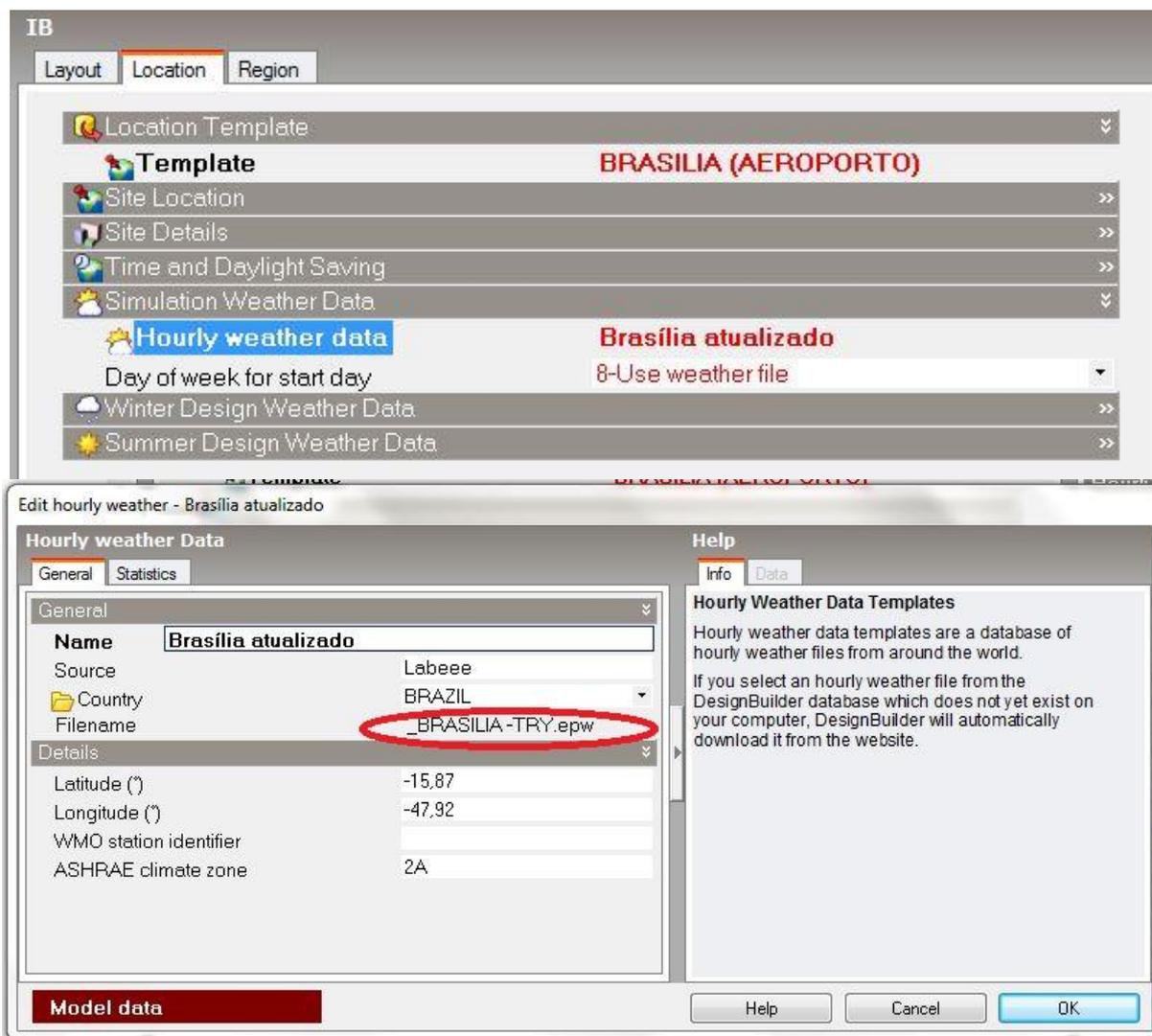


FIGURA 4.2.2.1 – Entrada de dados climatológicos (Fonte: Design Builder)

Neste arquivo foram encontrados dois dias cujas temperaturas máximas e mínimas são satisfatórias para realizar a simulação atendendo aos dias típicos de verão e de inverno impostos pela NBR 15575 – 1, sendo o dia 11 de Setembro o dia mais quente do ano, com máxima de 31,2°C, e 11 de Junho o dia mais frio, com temperatura mínima de 10°C. Esses dias servirão como referência para a análise do conforto térmico do Bloco 4 do Instituto de Biologia. É interessante ressaltar que no caso particular de Brasília, o dia típico de verão situa-se na estação de inverno, e o dia típico de inverno na estação do outono.

TABELA 4.2.2.2 – Dias típicos de verão e inverno identificados no arquivo BRASILIA_TRY1962

Dia típico	Temperatura crítica diária °C	Amplitude diária de temperatura	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m ²	Nebulosidade décimos
Verão (11/09)	Máx: 31,2	13	19,2	2802	5
Inverno (11/06)	Mín: 12,5	14,6	12	1327	1

4.2.3 Ocupação.

A divisão da edificação em diferentes zonas de ocupação foi feita conforme indicado no item 4.1.2 Variáveis humanas (ou de ocupação). Este tópico apresentará quais os parâmetros aplicados a cada zona, como taxa de ocupação e ganho de calor proveniente de equipamentos. Essas informações são inseridas na aba “Activity” da zona que se deseja caracterizar.

Para zonas de laboratório foi utilizada a caracterização padrão “ASHRAE 62.1 – Educational Facilities – Laboratories (Universities)”, a qual considera uma média de 0,25 pessoa/m² utilizando o laboratório ao longo do dia, exercendo atividades manuais leves.

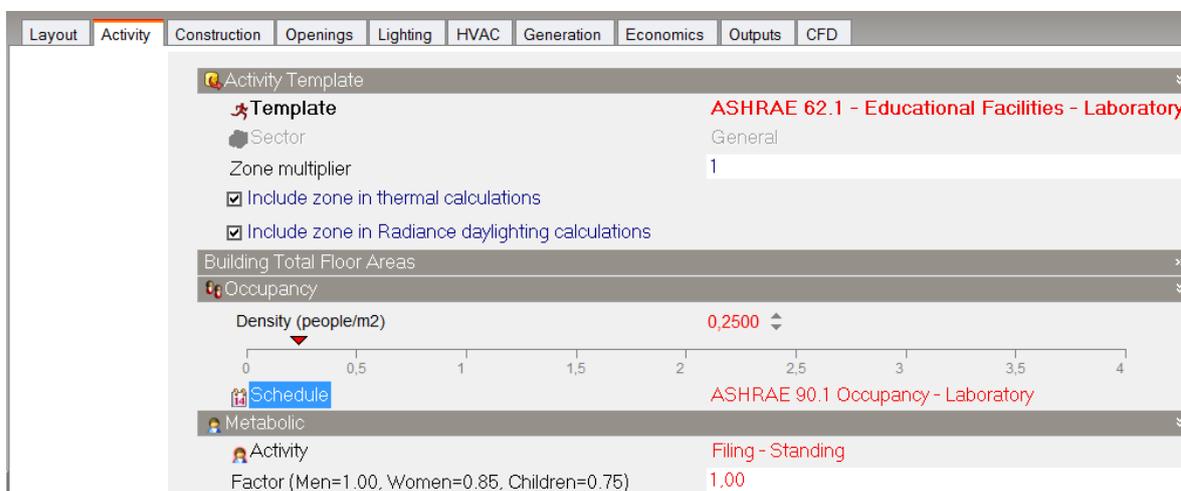


FIGURA 4.2.3.1 – Definições de ocupação para laboratórios (Fonte: Design Builder)

Laboratórios são locais caracterizados pela vasta utilização de equipamentos como geladeiras, agitadores, centrífugas, estufas e congeladores, além de computadores. Para estimar o calor dissipado por estes equipamentos foi consultada NBR – 16401 2013- Instalações de ar-condicionado, a qual indica valores de dissipação de calor para diversos tipos de equipamentos.

TABELA 4.2.3.1 – Dissipação de calor por equipamentos (Fonte: NBR 16401 - 2)

Equipamento	Uso contínuo (W)	Uso moderado (W)
Computador e Monitor	95	55
Impressoras	100	65
Geladeira/ congelador	540	540
Centrífuga	137	87
Microscópio fluorescente	150	143
Incubadora/ estufa	515	451

De acordo com a verificação no local e consulta às dimensões dos cômodos em projeto, pode-se generalizar o funcionamento de um computador e uma impressora a cada 12 m² com utilização moderada, o equivalente a 10 W/m² de calor dissipado.

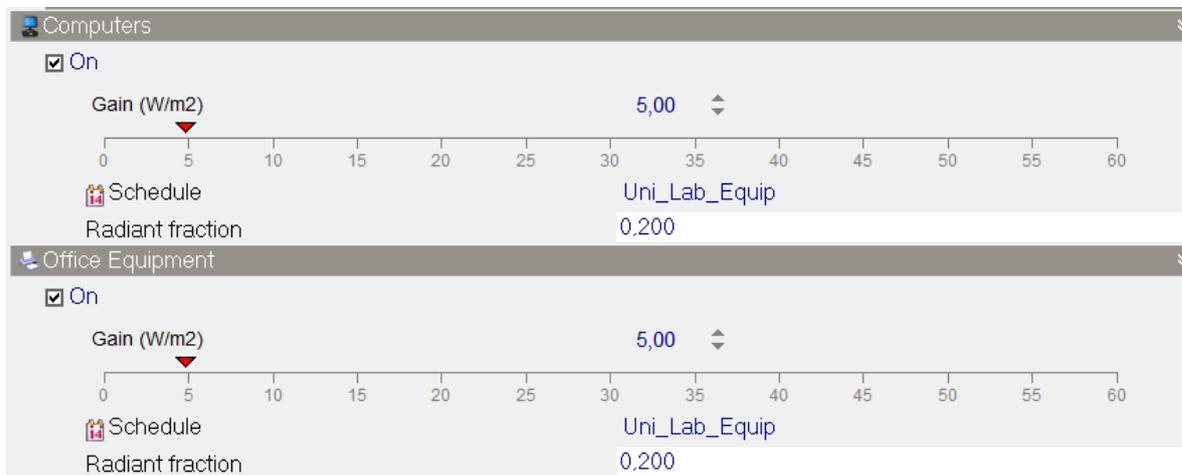


FIGURA 4.2.3.2 – Ganhos térmicos com computadores e impressoras (Fonte: Design Builder)

Quanto aos equipamentos de laboratório, foi considerada a distribuição de uma geladeira, uma centrífuga, um microscópio e uma estufa a cada 20 m², distribuição subjetiva tomada como base a observação do local e da dimensão dos laboratórios em planta. Esta distribuição totaliza 60 W/m² de calor dissipado nas áreas de laboratório. Tais ganhos foram classificados na aba “Miscellaneous” como indica a Figura 4.2.3.3.

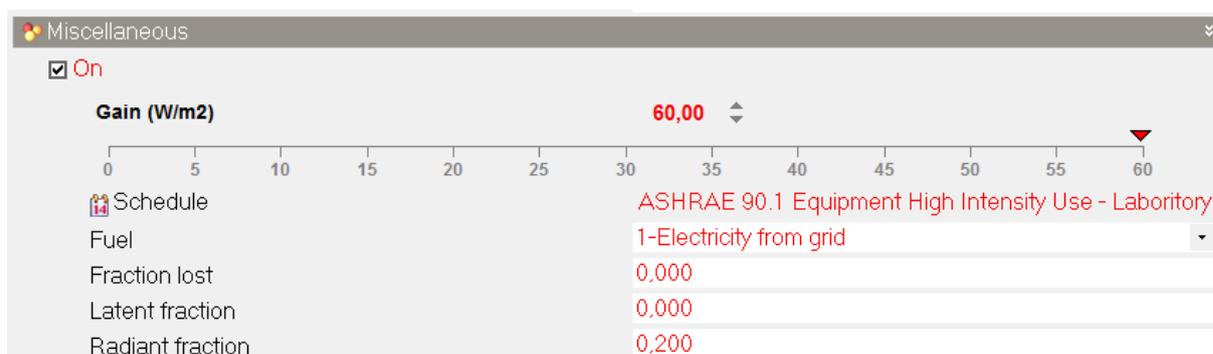


FIGURA 4.2.3.3 – Ganhos térmicos com equipamentos de laboratório (Fonte: Design Builder)

Para zonas de salas de professores, foi utilizada a caracterização padrão “ASHRAE 62.1 – Office Buildings – Office Enclosed”, a qual considera uma média de 0,1 pessoa/m² utilizando a sala ao longo do dia, exercendo atividades de digitação e leitura. Foi considerada uma dissipação de 10 W/m² oriunda apenas de computadores e impressoras, visto que não existem equipamentos de laboratório dentro destas salas.

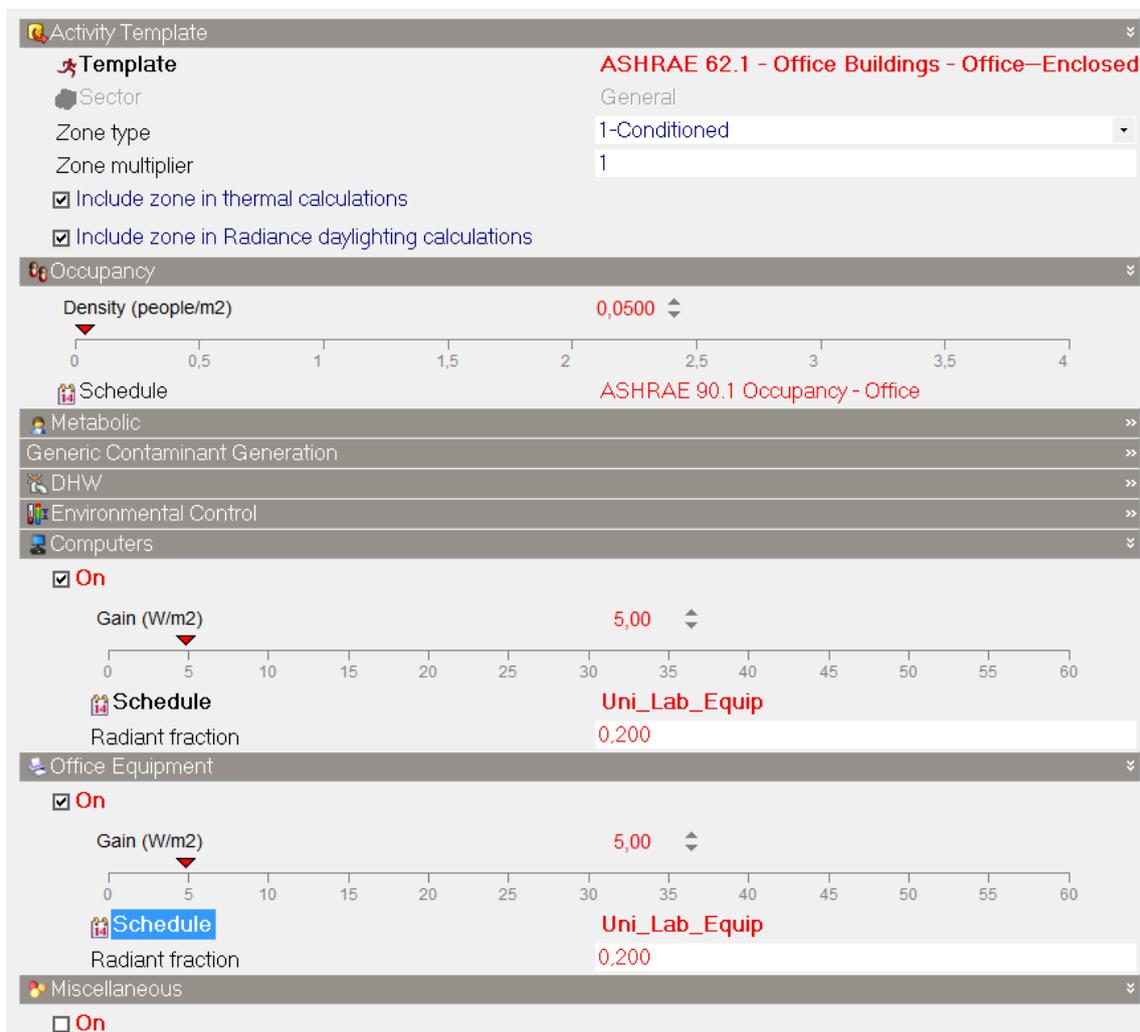


FIGURA 4.2.3.4 – Ocupação em salas de professores (Fonte: Design Builder)

As zonas de circulação e banheiro tiveram suas caracterizações definidas como “Universities and College – Circulation Areas” e “Universities and College – Toilet” respectivamente. Seus demais dados foram mantidos como padrão fornecido pelo software para cada caso, e não serão detalhados neste trabalho por não serem o alvo da análise.

Nesta etapa também deve ser inserida a taxa de renovação do ar dos cômodos. A NBR 15575 – 1 recomenda-se que a simulação seja feita considerando uma taxa de 1 ren/h, valor considerado crítico do ponto de vista térmico. Desta forma, foi inserido este valor de renovação de ar para todos os cômodos em “Airtightness”, na aba “Construction”.



FIGURA 4.2.3.5 – Renovação do ar dos ambientes internos (Fonte: Design Builder)

Finalizando a entrada dos dados de ocupação, deve-se definir a distribuição e tipo de iluminação artificial da edificação. Estes dados são úteis para fornecer a energia gasta com iluminação de toda a edificação, bem como considerar mais uma fonte de calor dentro dos cômodos.

A iluminação artificial do Bloco 4 é toda feita por lâmpadas fluorescentes, e não foi possível obter mais especificações técnicas acerca destas. Foi adotado um padrão de iluminação já fornecido pelo software, considerando uma iluminação de fonte fluorescente de 3,80 W/m², com uma programação de operação compatível com laboratórios.

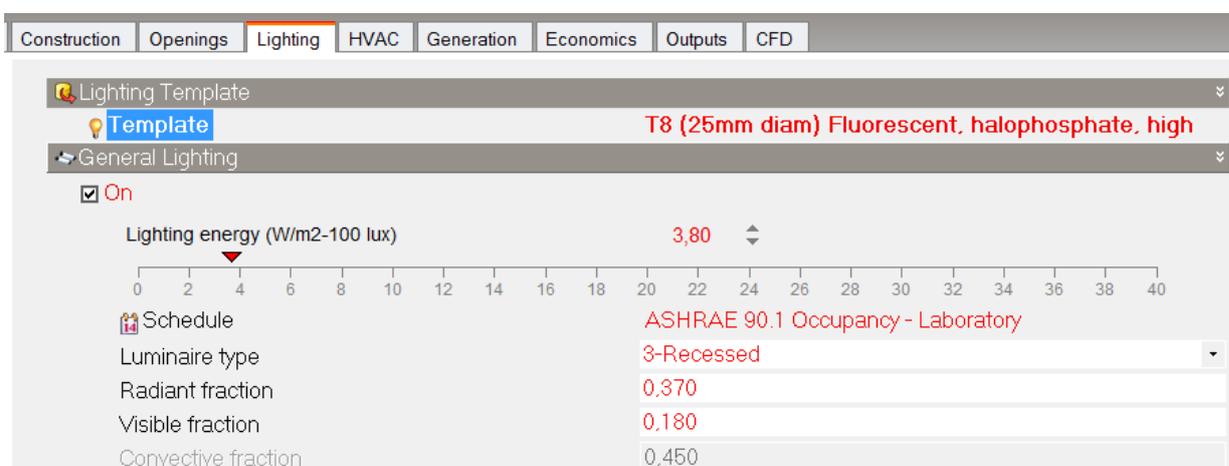


FIGURA 4.2.3.6 –Dados de iluminação artificial (Fonte: Design Builder)

4.2.5 Materiais e aberturas

Nesta etapa é realizada uma modelagem intrínseca à modelagem geométrica, onde são determinados todos os materiais constituintes da edificação. O software *Design Builder* conta com uma grande lista de materiais e suas combinações que podem vir a serem úteis em alguns casos, porém é aconselhável criar cada tipo de fechamento que se deseja empregar na edificação, de maneira que seja possível fixar valores das propriedades térmicas desses fechamentos, como a densidade, resistência e calor específico, ou até mesmo a resistência térmica final. A NBR 15220 – Desempenho térmico em edificações de 2003 sugere valores de propriedades térmicas a alguns materiais, os quais serão apresentados nas tabelas a seguir. A partir destes valores, foram criados novos materiais no software com as propriedades sugeridas pela norma. Combinando a espessura e a disposição em camadas desses materiais foram montados fechamentos com características mais próximas dos empregados no Brasil. Também foi comparado a transmitância térmica de cada fechamento, com o valor limite imposto pela norma NBR 15575 – 4 para a região de Brasília.

- Paredes externas: possuem uma espessura total 23 cm, sendo constituída de alvenaria de blocos cerâmicos de oito furos assentados em uma vez, rebocados (2 cm) e com pintura branca em ambos os lados.

TABELA 4.2.5.1 – Composição utilizada para modelagem de paredes externas

Materiais					
Camada	Espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(mK))	c (kJ/(kg K))	R (m ² K/W)
Reboco (2x)	2 (x2)	1900	1,15	1	0,205
Bloco cerâmico	19	-	-	-	0,464
Fechamento					
Fechamento	Espessura total (cm)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U limite NBR 15575 (W/m ² K)	
Parede externa	23	0,669	1,495	3,700	
Ilustração					
<p>Outer surface</p> <p>20,00mm Reboco</p> <p>190,00mm Bloco cerâmico</p> <p>20,00mm Reboco</p> <p>Inner surface</p>					

- Paredes internas: possuem uma espessura total 13 cm, sendo constituída de alvenaria de blocos cerâmicos de oito furos assentados em meia vez, rebocados (2 cm) e com pintura branca em ambos os lados.

TABELA 4.2.5.2 – Composição utilizada para modelagem de paredes internas

Materiais					
Camada	Espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(mK))	c (kJ/(kg K))	R (m ² K/W)
Reboco (2x)	2 (x2)	1900	1,15	1	0,205
Bloco cerâmico	9	-	-	-	0,232
Fechamento					
Fechamento	Espessura total (cm)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U limite NBR 15575 (W/m ² K)	
Parede interna	13	0,437	2,288	3,700	
Ilustração					
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center; color: blue;">Outer surface</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p style="text-align: center;">20,00mm Reboco</p>  <p style="text-align: center;">90,00mm Bloco cerâmico em pe</p> <p style="text-align: center;">20,00mm Reboco</p> </div> <p style="text-align: center; color: blue;">Inner surface</p> </div>					

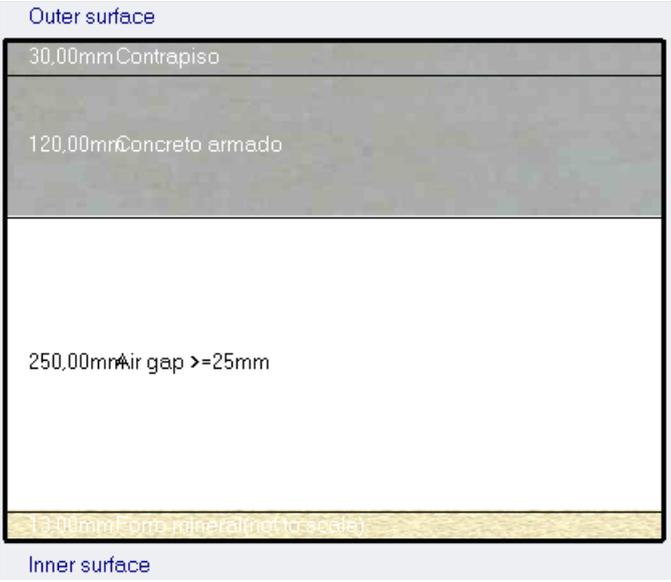
- Cobertura: Acima do 1º pavimento, ao lado do domo de depósito das condensadoras, a última laje é coberta por telhas de fibrocimento e revestida com forro na parte inferior, com as seguintes propriedades:

TABELA 4.2.5.3 – Composição utilizada para modelagem da cobertura

Materiais					
Camada	Espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(mK))	c (kJ/(kg K))	R (m ² K/W)
Telha fibrocimento	0,5	1700	0,65	0,84	-
Ar (ventilado)	35	-	-	-	0,09
Contrapiso	3	1900	1,15	1	-
Manta asfáltica	1	1050	0,23	1,4	-
Concreto armado	12	2300	1,75	1	-
Ar	25	-	-	-	0,18
Forro mineral	1,3	244	0,055	0,9	-
Fechamento					
Fechamento	Espessura total (cm)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U limite NBR 15575 (W/m ² K)	
Forro, laje e telhado	77,8	0,800	1,250	2,300	
Ilustração					
<p>Outer surface</p> <p>10,00mm Fibro-cimento(not to scale)</p> <p>10,00mm Copy of 2010 NCM Cavity ventilated(not to scale)</p> <p>30,00mm Contrapiso</p> <p>10,00mm Manta asfáltica(not to scale)</p> <p>120,00mm Concreto armado</p> <p>250,00mm Air gap >=25mm</p> <p>13,00mm Forro mineral(not to scale)</p> <p>Inner surface</p>					

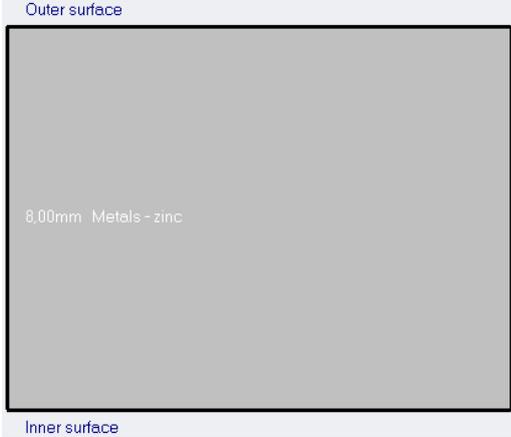
- Laje entre pavimentos: semelhante ao fechamento anterior, porém sem a telha de fibrocimento e a manta asfáltica.

TABELA 4.2.5.4 – Composição utilizada para modelagem de piso entre pavimentos

Materiais					
Camada	Espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(mK))	c (kJ/(kg K))	R (m ² K/W)
Contrapiso	3	1900	1,15	1	-
Concreto armado	12	2300	1,75	1	-
Ar	25	-	-	-	0,18
Forro mineral	1,3	244	0,055	0,9	-
Fechamento					
Fechamento	Espessura total (cm)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U limite NBR 15575 (W/m ² K)	
Forro e laje	41,3	0,651	1,536	2,300	
Ilustração					
					

- Telha da cobertura do domo das condensadoras: telha de zinco com espessura de 0,8 cm e pintada de branco no exterior.

TABELA 4.2.5.5 – Composição utilizada para modelagem de telhas do depósito das condensadoras

Materiais					
Camada	Espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(mK))	c (kJ/(kg K))	R (m ² K/W)
Zinco	0,8	7000	113	390	-
Fechamento					
Fechamento	Espessura total (cm)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U limite NBR 15575 (W/m ² K)	
Telha de zinco	0,8	0,140	7,139	2,300	
Ilustração					
					

Observa-se que a transmitância térmica do fechamento de telha de zinco não atende ao requisito da norma, porém podemos desconsiderar esta extrapolação visto que o domo de depósito das condensadoras não é um espaço ocupado por pessoas e só é acessado para fins de manutenção e instalação de novas condensadoras.

Após a definição dos materiais dos fechamentos opacos, prossegue-se a definir a disposição de envidraçamentos, aberturas e suas propriedades. O software disponibiliza duas opções de modelagem de fechamentos transparentes: Aplicando uma taxa de envidraçamento por área de parede, ou inserindo manualmente cada janela. Neste trabalho optou-se por inserir cada janela individualmente para representar a edificação mais fidedignamente.

A edificação possui uma padronização de janelas, sendo todas de 5,00 x 1,70 metros, distribuídas a cada 70 cm. O vidro utilizado é de uma camada de 6 mm e não possui películas. As janelas da fachada nascente possuem brises horizontais ao longo de toda a sua superfície, os quais são inseridos na aba “*shading*”. Como citado anteriormente, as janelas da fachada

poente possuem brises verticais, dado que não é possível de inserir nas propriedades das janelas e foram modelados externamente à cada janela.

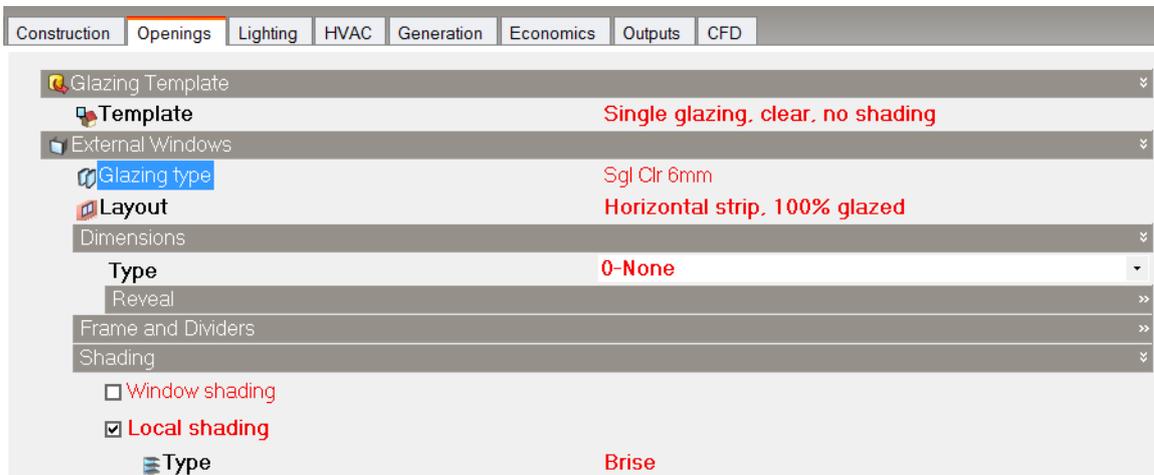


FIGURA 4.2.5.1 – Propriedades de envidraçamento (Fonte: Design Builder)

Glazing Data		
Layers	Calculated	Cost
Calculated Values		
Total solar transmission (SHGC)	0.819	
Direct solar transmission	0.775	
Light transmission	0.881	
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	5.718	
U-Value (ISO 15099 / NFRC) (W/m2-K)	5.778	

FIGURA 4.2.5.2 – Propriedades térmicas do vidro aplicado (Fonte: Design Builder)

Local shading Data

General Louvres Sidefins Overhangs Cost

Louvre Blade Geometry

- Louvres
- Number of blades: 7
- Vertical spacing (m): 0.250
- Angle (°): 15.000
- Distance from window (m): 0.150
- Blade depth (m): 0.200
- Vertical offset from window top ...: 0.000
- Horizontal window overlap (m): 0.000

Help

Info Data

Louvres

Enter details on the louvres, if fitted.

FIGURA 4.2.5.3 – Propriedades dos brises da fachada nascente (Fonte: Design Builder)

Após a inclusão de todos os materiais, é possível renderizar o modelo para visualizar a distribuição dos materiais e suas respectivas cores, o que influencia diretamente na absorção de radiação solar.



FIGURA 4.2.5.4 – Renderização do modelo (Fonte: Design Builder)

4.3 Simulação e análise de resultados

Finalizada a modelagem do Bloco 4 do Instituto de Biologia, são iniciadas as simulações do *software*. Serão analisados os ganhos de calor e o conforto térmico dentro da edificação através de *outputs* em formato de gráficos e tabelas fornecidos pelo *software*.

É necessário consultar a NBR 15575 e analisar os seus requisitos quanto ao conforto térmico para classificar os resultados obtidos como satisfatórios ou não. Vale a pena ressaltar que esta norma define requisitos para edificações habitacionais, porém neste trabalho será utilizada para uma edificação pública devido à inexistência de uma norma mais específica para o caso. A norma citada estabelece que a edificação deve apresentar condições térmicas no interior do edifício melhores ou iguais às do ambiente externo tanto para dias típicos de verão como de inverno. Sintetizando, durante o dia mais quente do ano, o ambiente interno deve ter temperatura inferior ou igual à temperatura externa do ar, e durante o dia mais frio do ano, este deve ter temperatura superior ou igual à temperatura externa do ar. A NBR 15575 divide as principais cidades brasileiras em zonas climáticas, as quais possuem certos critérios a serem atendidos. A Tabela 4.3.1 foi formulada unindo as temperaturas de dia típico de inverno e verão fornecidas para Brasília, junto aos critérios estabelecidos para a sua zona climática.

TABELA 4.3.1 – Critérios de avaliação de desempenho térmico (Fonte: NBR 15575 – 1)

	Dia típico	
	Verão	Inverno
Critério de avaliação de desempenho térmico (zona 4)	$T_i, \max \leq T_e, \max$	$T_i, \min \geq T_e, \min + 3^\circ\text{C}$
Critério de avaliação de desempenho térmico (Brasília)	$T_i, \max \leq 31,2^\circ\text{C}$	$T_i, \min \geq 13^\circ\text{C}$

Adicionalmente à estes critérios fornecidos pela NBR 15575, será utilizada o índice de Fanger PMV (Predicted Mean Vote). Esta escala é considerada como uma das mais reconhecidas em termos de avaliação de conforto térmico, classificando a sensação dos ocupantes em uma escala de -3 a 3. Seus valores de escala são fixados baseados em combinações de condições térmicas como temperatura do ar, umidade, roupa e atividade executada pelo usuário. Os valores do índice de Fanger obtidos nesta simulação serão comparados ao da Figura 4.3.1. Considera-se como condição ideal de conforto térmico um índice entre -0,5 e 0,5.

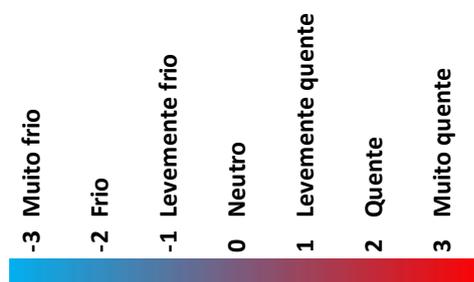


FIGURA 4.3.1 – Escala de conforto térmico para o índice de Fanger PMV

O item 11.5.1 da NBR 15575 – 1 impõe: “Simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos, dormitórios e salas”. Portanto a simulação da edificação deve ser feita como um todo, e a análise dos resultados deve ser feita separadamente para cada ambiente.

A seguir serão apresentados os resultados de simulações em períodos anuais e diários, realizados para a edificação como um todo, para cada pavimento e para um cômodo separadamente como exige a NBR 15575. É importante ressaltar que todas as simulações envolvem as trocas térmicas entre todas as partições do edifício.

A análise de temperatura é feita comparando a temperatura externa de bulbo seco com a temperatura operativa, obtida pela média da temperatura radiante e temperatura interna.

4.3.1 Análise 1: Anual da edificação como um todo

A simulação anual de toda a edificação é uma análise muito generalizada, mas nos permite verificar como a combinação de todos os fechamentos estão trabalhando para manter o ambiente interior confortável termicamente ao longo de todo ano. A partir desta análise é possível identificar quais os meses mais críticos para focar em análises mais direcionadas.

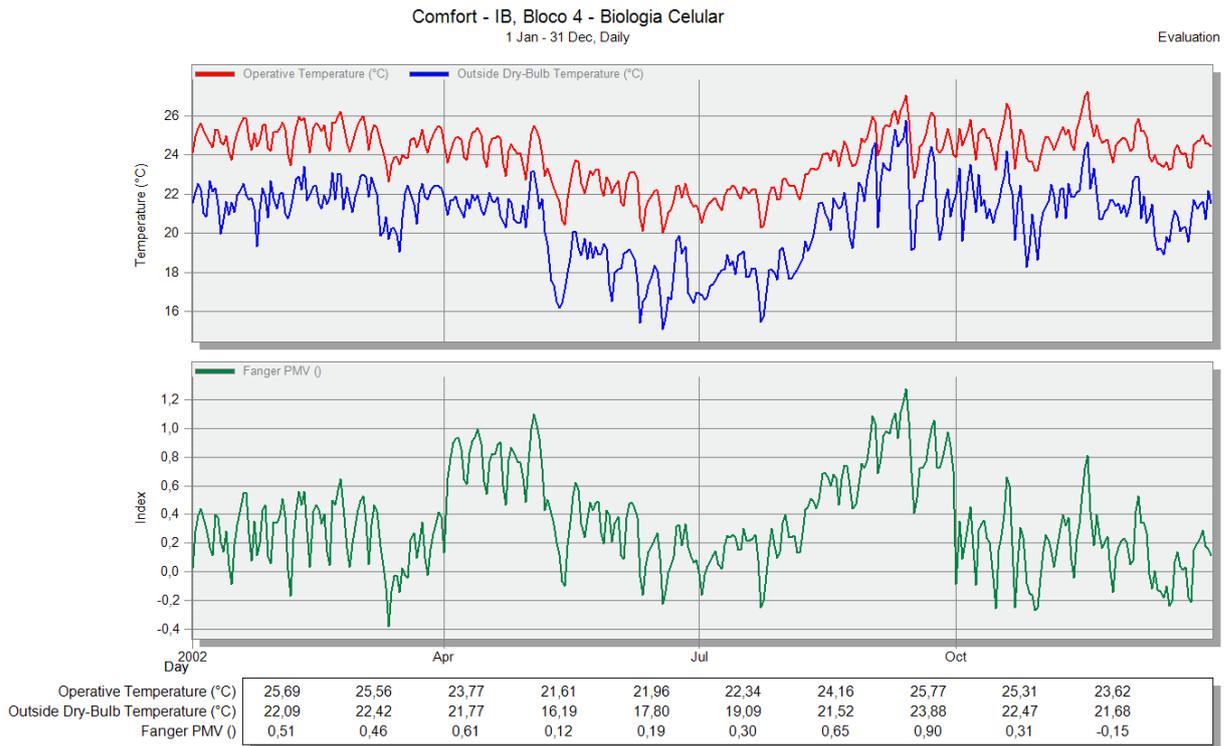


FIGURA 4.3.1.1 – Análise anual da edificação como um todo (Fonte: Design Builder)

O primeiro gráfico da Figura 4.3.1.1 é montado com a temperatura média diária de cada dia do ano, tanto interna quanto externa ao edifício. Observa-se que a temperatura interna da edificação está acima da temperatura externa durante todos os dias do ano, nos levando a concluir que a edificação como um todo possui um desempenho desfavorável ao exigido pela NBR 15575. O índice de Fanger PMV encontra-se dentro da zona de conforto ideal entre -0,5 e +0,5 em 73% dos dias do ano, não apresentando resultados de desconforto em relação ao frio. Em relação ao calor, o usuário sente desconforto térmico entre Abril e Maio e principalmente entre Agosto e Outubro.

Como citado anteriormente, esta análise é generalizada, não devendo ser tomada como principal parâmetro de referência para avaliar o desempenho térmico de uma edificação.

4.3.2 Análise 2: Semana mais quente no primeiro pavimento

A análise da semana mais quente nos permite visualizar o desempenho térmico da edificação em uma situação mais direcionada, excluindo situações de frio, as quais foram consideradas na última análise. A semana identificada como mais quente do ano está entre os dias 8 e 14 de Setembro. É interessante dividir esta análise para cada pavimento, visto que ganhos de calor através da cobertura do primeiro pavimento alteram consideravelmente o desempenho térmico deste. Essa divisão em pavimentos nos permite avaliar a influência que a cobertura tem no ganho térmico de um ambiente, possibilitando o foco em soluções direcionadas exclusivamente para fechamentos horizontais.

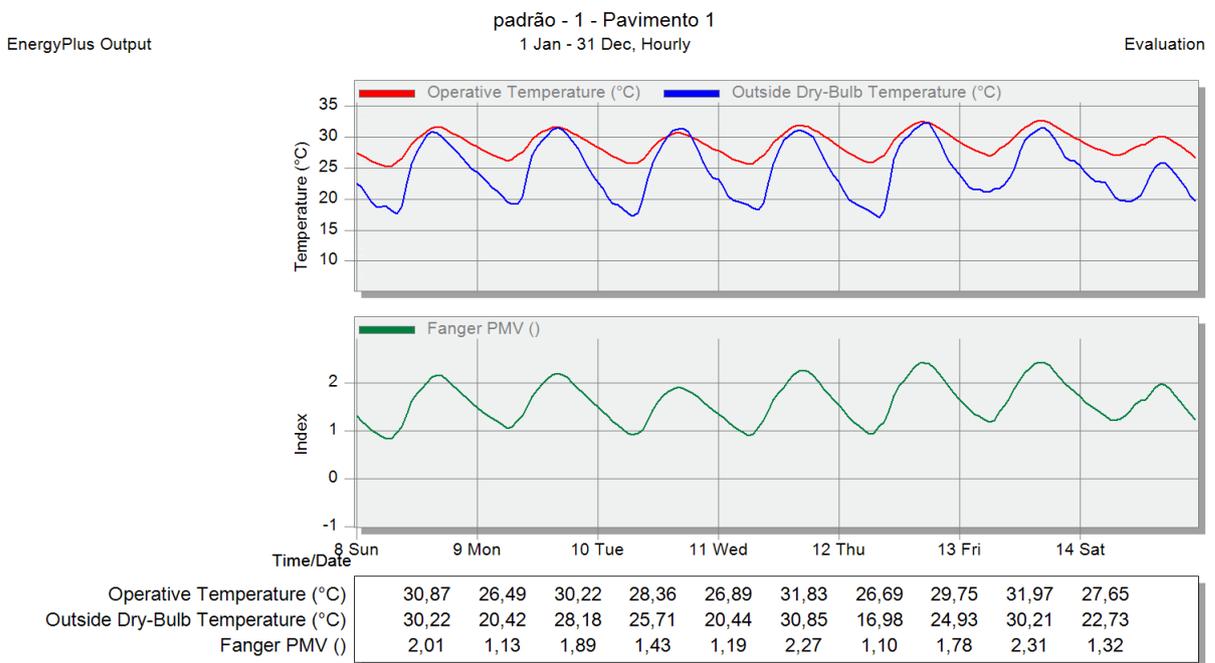


FIGURA 4.3.2.1 – Análise da semana mais quente no primeiro pavimento (Fonte: Design Builder)

A Figura 4.3.2.1 nos permite concluir que durante a semana mais quente do ano a temperatura interna do primeiro pavimento tende a se igualar à temperatura externa nas horas mais quentes do dia. O ideal seria o usuário experimentar uma sensação de conforto térmico melhor dentro da edificação do que fora dela, o que não ocorre neste caso. É importante ressaltar que o gráfico apresenta valores de temperatura médios entre todos os cômodos do pavimento.

O desconforto térmico presenciado pelos usuários nesta semana do ano fica evidenciado com a análise do índice de Fanger PMV, o qual atinge valores superiores a 2 nas horas mais quentes do dia, classificando a temperatura ambiente entre quente e muito quente.

4.3.3 Análise 3: Semana mais quente no pavimento térreo

Similar à análise anterior, porém considerando os ganhos térmicos de um pavimento sem coberturas em contato com o exterior.

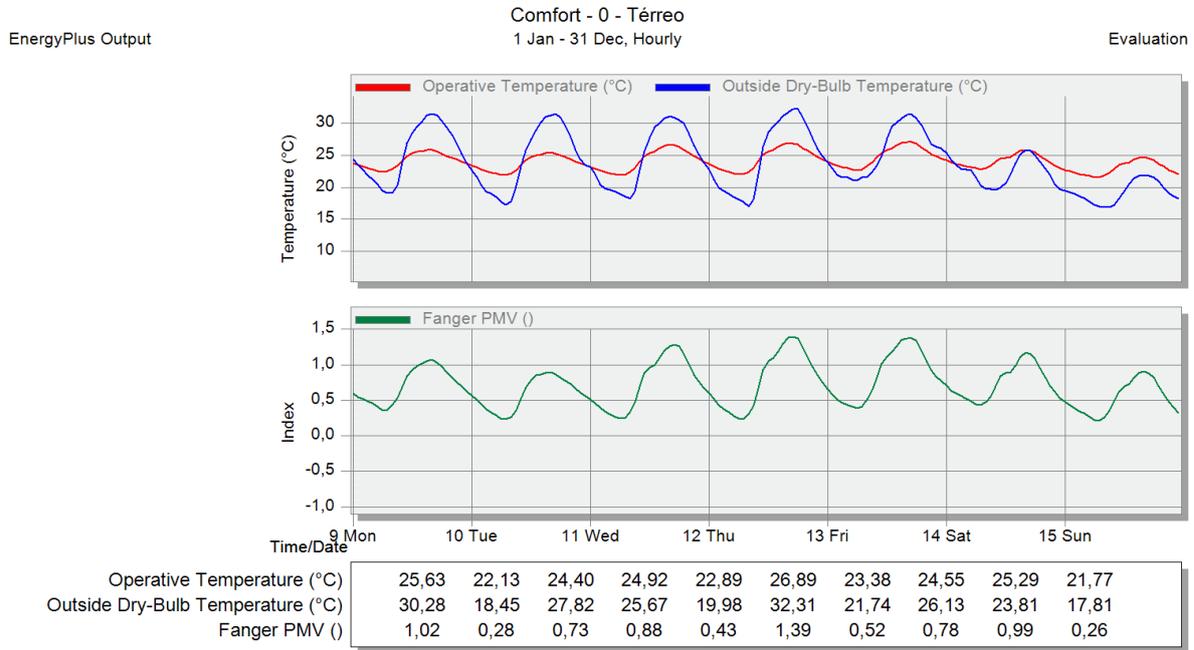


FIGURA 4.3.3.1 – Análise da semana mais quente no pavimento térreo (Fonte: Design Builder)

Nesta análise verifica-se que durante a semana mais quente no pavimento térreo, as temperaturas internas encontram-se abaixo da temperatura externa durante as horas mais quentes do dia. Este é um resultado satisfatório, pois proporciona ao usuário um conforto térmico superior ao de estar fora da edificação. É importante ressaltar que esta análise é relativa, pois ao analisar o índice de Fanger PMV variando de 1 a 1,5 nas horas mais quentes, conclui-se que apesar de o interior da edificação proporcionar melhores temperaturas do que as externas, o usuário ainda sente um certo desconforto térmico, classificado como levemente quente a quente.

Comparando as análises 2 e 3 fica clara a diferença proporcionada pela última laje nos ganhos térmicos de um pavimento, e conseqüentemente no conforto térmico do usuário como era esperado, visto que o último pavimento possui uma superfície de contato maior com o ambiente externo.

Conforme a NBR 15575 para o caso de Brasília, quando a temperatura alcançar 31,2°C, deve-se ter uma temperatura interna inferior à esta. De acordo com a Figura 4.3.4.2 tal temperatura ocorre às 16h, e a temperatura interna do ambiente neste horário alcança os 34°C, não satisfazendo a recomendação da norma. Observa-se que o índice de Fanger PMV quase alcança o seu limite de 3, considerado muito quente.

Vale ressaltar que este é um caso crítico, em que a análise é feita com as combinações mais desfavoráveis ao conforto térmico, unido o fechamento com mais radiação incidente, abaixo da cobertura, e com ganhos térmicos consideráveis provenientes de equipamentos de laboratório. Portanto é correto afirmar que uma solução encontrada para melhorar o conforto térmico deste cômodo também resolverá os problemas de ganho de calor em outros cômodos.

4.3.5 Análise 5: Dia típico de inverno na zona 4 do térreo

Assim como no caso do verão, a NBR 15575 – 1 também recomenda a análise do cômodo mais crítico do ponto de vista térmico durante o inverno, o qual pode ser identificado de acordo com a seguinte especificação: “janela do dormitório ou da sala de estar voltada para sul e a outra parede exposta voltada para o leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para sul”.

Verifica-se que o cômodo que mais se encaixa no perfil sugerido pela norma é a zona 4 do pavimento térreo, correspondente aos banheiros.

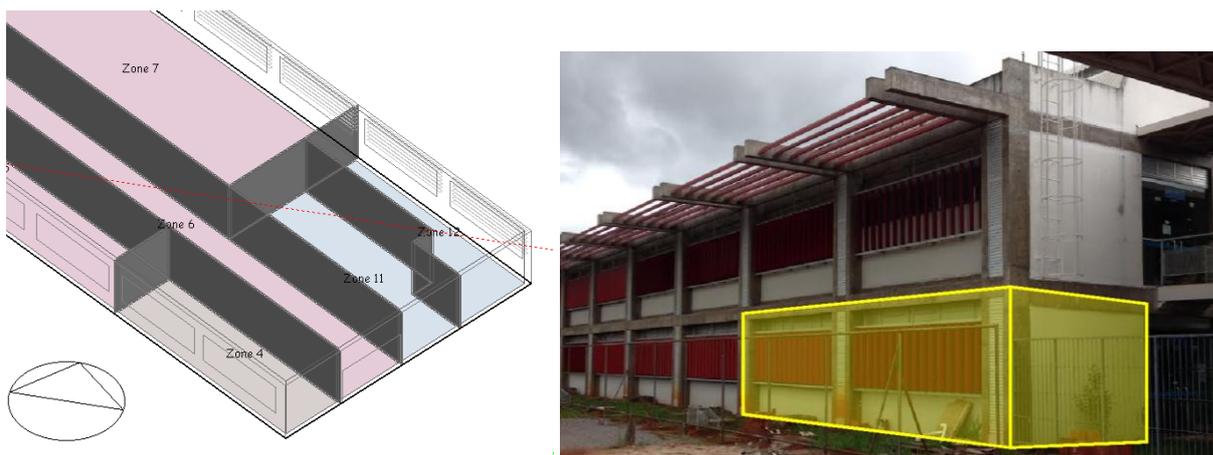


FIGURA 4.3.4.1 – Localização da zona 4 do térreo

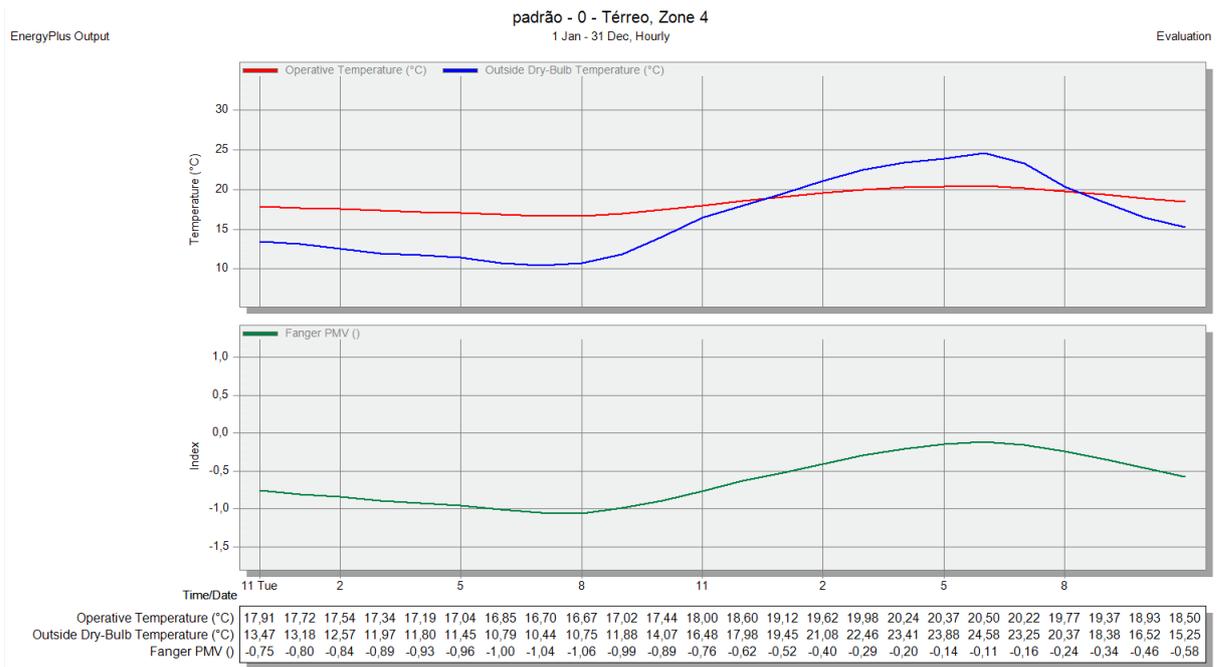


FIGURA 4.3.5.2 – Análise do dia típico de inverno na zona 4 do térreo (Fonte: Design Builder)

Conforme a NBR 15575 para o caso de Brasília, quando a temperatura alcançar 13°C, deve-se ter uma temperatura interna superior à esta. Tal temperatura ocorre às 9h e de acordo com a Figura 4.3.5.2, a temperatura interna do ambiente neste horário situa-se em 17,5°C, satisfazendo a recomendação da norma. Pelo índice de Fanger PMV variando de -1 a 0, conclui-se que a sensação térmica do usuário é de levemente frio durante o dia, presenciando o conforto térmico ideal a partir de 12h.

Como a zona escolhida para essa análise separada é considerada um caso crítico para temperaturas baixas, pode-se concluir que os demais ambientes também atendem à norma no quesito dia típico de inverno.

4.3.6 Análise 6: Dia típico de verão na zona 6 do primeiro pavimento (sem equipamentos de laboratório)

Esta é uma análise complementar e hipotética que visa avaliar o desempenho dos fechamentos da edificação desconsiderando o ganho de calor dissipado por equipamentos de laboratório. Para tal, estes ganhos que eram de 60 W/m² foram reduzidos a 0 W/m².

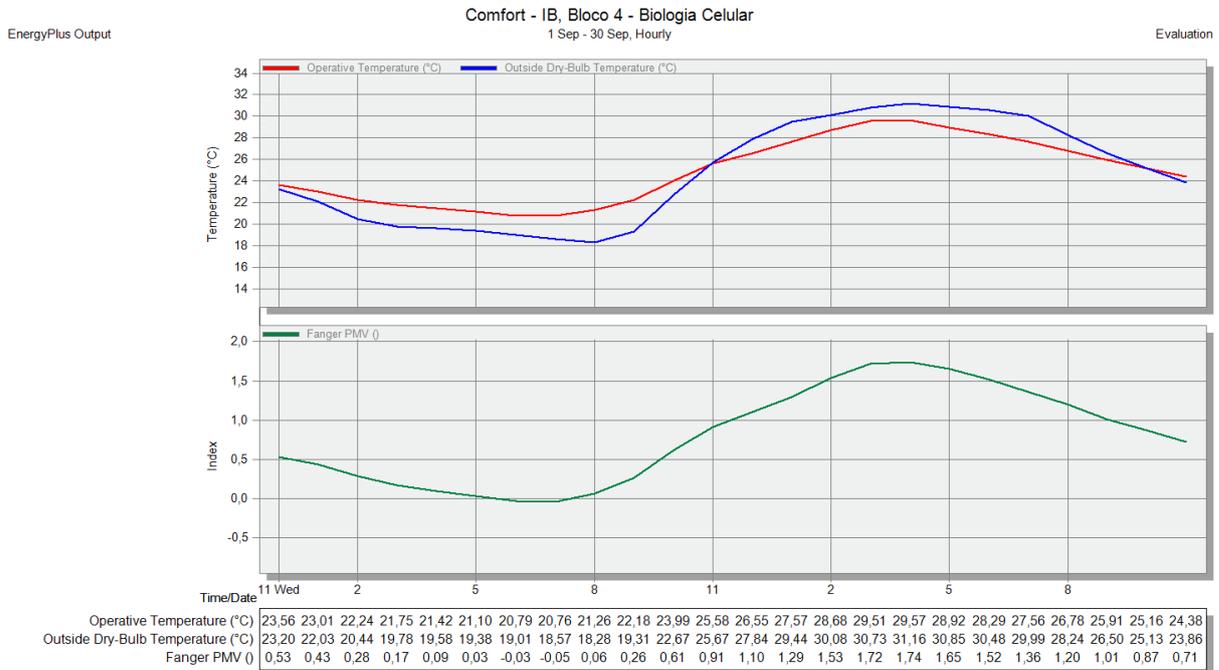


FIGURA 4.3.6.1 – Análise do dia típico de verão na zona 4 do térreo desconsiderando os equipamentos de laboratório (Fonte: Design Builder)

Esta análise nos permite visualizar a influência dos equipamentos de laboratório no aquecimento do interior da edificação, nos levando a concluir que os fechamentos do bloco 4 são satisfatórios para conter o calor externo. Esta hipótese possui o requisito de desempenho da NBR 15575 atendido, visto que durante a hora mais quente do dia, 31,2°C às 16h, a temperatura interna do cômodo é 29,6°C, sendo 4,4°C menor do que na situação real. O índice de Fanger porém, indica que o conforto térmico ideal ainda não foi atingido.

4.4 Soluções propostas para redução de temperatura interna

Após realizadas as análises de conforto térmico para diferentes períodos de tempo e partes da edificação, serão propostas soluções que visam diminuir o ganho de calor interno do Bloco 4 do Instituto de Biologia.

Complementando as análises realizadas, o *Design Builder* permite gerar um relatório que separa os ganhos de calor da edificação por cada tipo de fonte, como paredes, coberturas, janelas, equipamentos e metabolismo dos ocupantes. Nesta análise complementar, foi escolhido o dia mais quente do ano (11 de Setembro) para avaliar ganhos térmicos individualmente em toda a edificação.

10.63

EnergyPlus Output

Internal Gains + solar - IB, Bloco 4 - Biologia Celular

1 Sep - 30 Sep, Daily

Evaluation

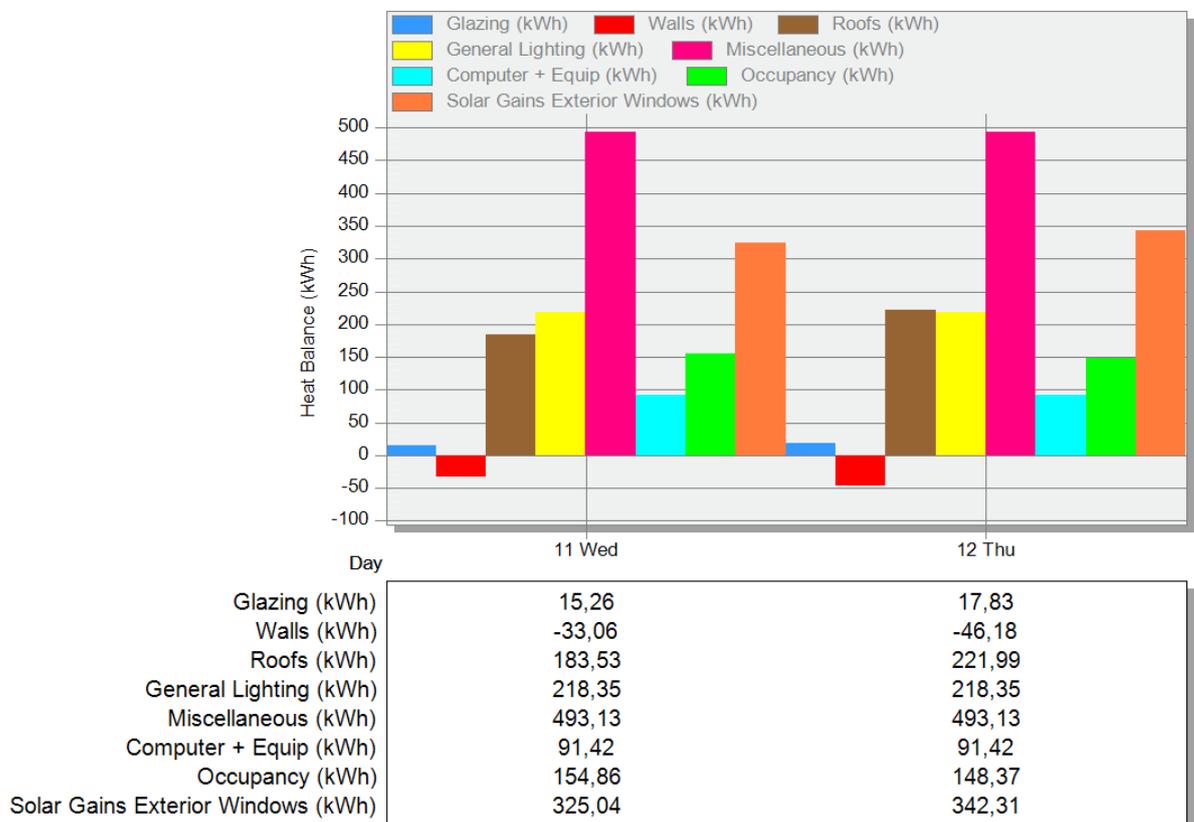


FIGURA 4.4.1 – Ganhos de calor separados por fonte (Fonte: Design Builder)

Através da imagem, é possível concluir que a maior parte de ganhos térmicos é proveniente da dissipação de calor dos equipamentos de laboratório, vastamente empregados por toda a edificação. Os demais ganhos significativos de calor são provenientes de entrada de luz solar através das janelas e iluminação artificial.

TABELA 4.4.1 – Contribuição de ganho de calor por fonte

Fonte de calor	Contribuição (%)
Vidros (condução)	1,0%
Cobertura	12,6%
Iluminação	15,0%
Equipamentos de laboratório	33,8%
Computadores e equipamentos de escritório	6,3%
Ocupação	8,8%
Luz solar	22,5%

A partir destes dados é possível direcionar as soluções para reduzir as fontes de calor mais significativas. No caso da edificação em estudo, equipamentos de laboratório, computadores e equipamentos de escritório e ocupação não podem ser alterados visto que são a essência da função do edifício, os estudos em laboratórios. A iluminação apesar de possuir uma parcela de contribuição significativa, não será alterada visto que não é o foco deste trabalho. Também não serão consideradas alterações nas paredes externas e no material das janelas, visto que somados representam menos de 1% do ganho térmico da edificação.

Portanto os enfoques principais serão em alterações na cobertura e na entrada de luz solar através das janelas. Também será realizada uma simulação da edificação caso os *shafts* de ventilação citados anteriormente funcionassem como previsto, renovando o ar interior e absorvendo constantemente o calor dissipado por equipamentos.

4.4.1 Solução 1: Troca das telhas de fibrocimento por telhas termoisolantes

Atualmente o mercado da construção oferece uma opção de cobertura que combinam telhas metálicas com materiais isolantes como espuma de poliuretano, reduzindo as trocas de calor com o ambiente externo.

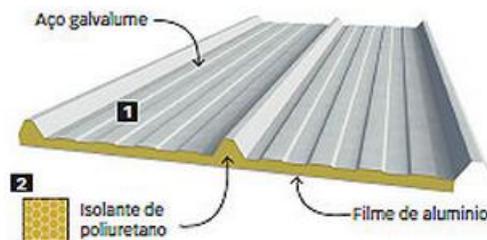


FIGURA 4.4.1.1 – Corte transversal de telha termoisolante (Fonte: Equipe de obra - PINI)

Esta solução substituirá as telhas de fibrocimento da cobertura por telhas termoisolantes de aço galvalume e uma camada de 5 cm de poliuretano.

TABELA 4.4.1.1 – Composição utilizada para modelagem de coberturas com telha termoisolante

Materiais					
Camada	Espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(mK))	c (kJ/(kg K))	R (m ² K/W)
Aço Galvalume	0,5	7500	49	0,39	-
Espuma poliuretano	5	30	0,03	1,67	-
Ar	25	-	-	-	0,18
Contrapiso	3	1900	1,15	1	-
Manta asfáltica	1	1050	0,23	1,4	-
Concreto armado	12	2300	1,75	1	-
Ar	25	-	-	-	0,18
Forro mineral	1,3	244	0,055	0,9	-

Fechamento				
Fechamento	Espessura total (cm)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	U limite NBR 15575 (W/m ² K)
Forro, laje e telhado	72,8	2,520	0,397	2,300

Ilustração

194.93
EnergyPlus Output

Internal Gains + solar - IB, Bloco 4 - Biologia Celular
1 Sep - 30 Sep, Daily

Evaluation

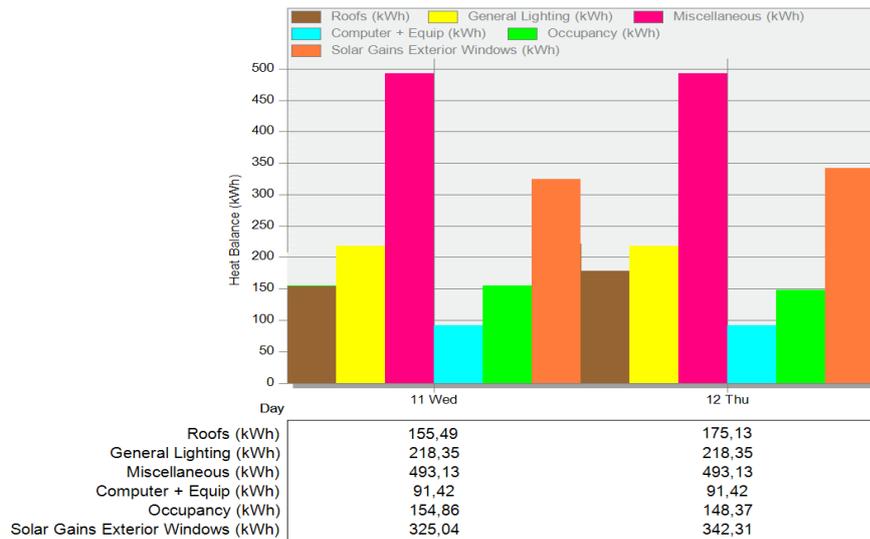


FIGURA 4.4.1.2 – Ganhos de calor separados por fonte com telha termoisolante (Fonte: Design Builder)

A mudança de telha de fibrocimento para uma telha termoisolante reduziu o ganho de calor através dos telhados de 183 kWh para 155,49kWh. É necessário realizar a análise da temperatura interna da edificação para verificar qual o impacto desta alteração, neste caso, será avaliada a zona 6 do primeiro pavimento.

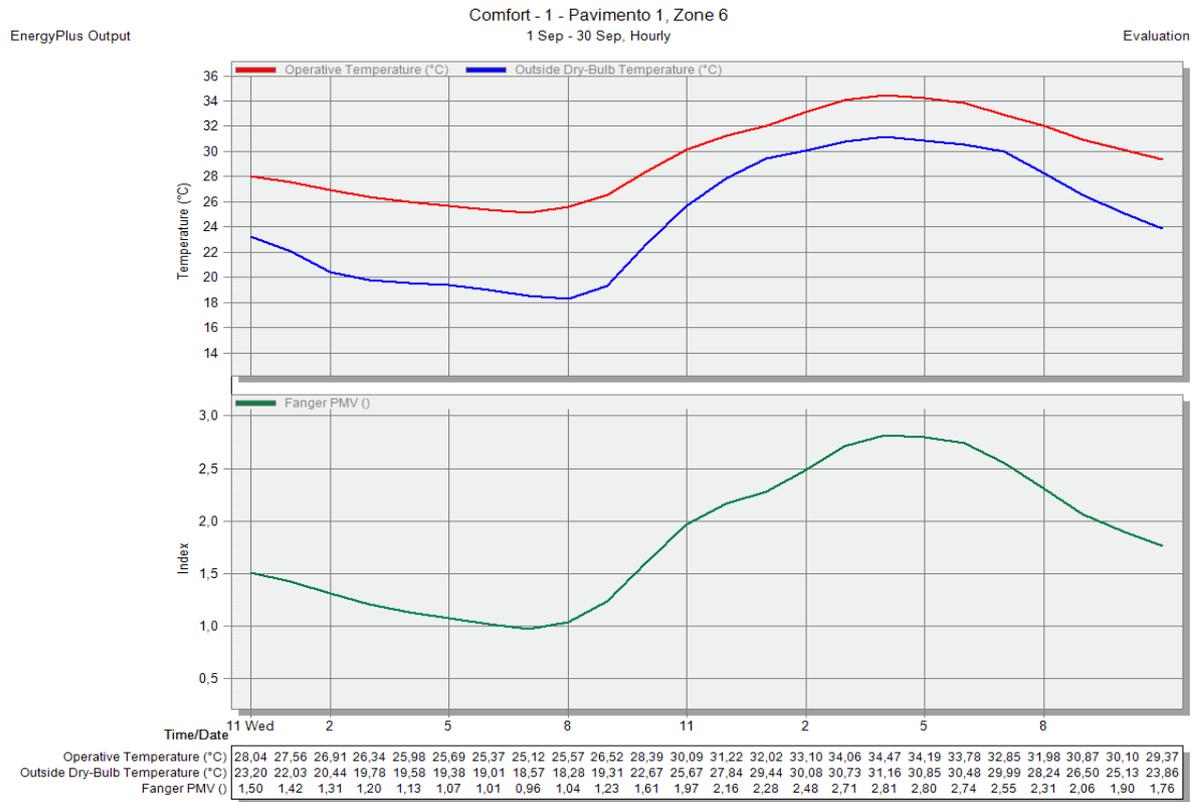


FIGURA 4.4.1.3 – Análise de temperatura interna com telha termoisolante (Fonte: Design Builder)

Observa-se que a alteração da cobertura não na temperatura interna do ambiente. Este resultado pode se dar ao fato de que a cobertura original já está trabalhando muito termicamente para conter a entrada de calor em uma região crítica da edificação, de maneira que pequenas alterações em sua transmitância pouco influenciaram nos resultados.

4.4.2 Solução 2: Instalação de películas nas janelas

Com o intuito de reduzir o ganho de calor proveniente do sol que adentra nos ambientes, as janelas foram remodeladas com uma película preta de transmissividade 0,25.

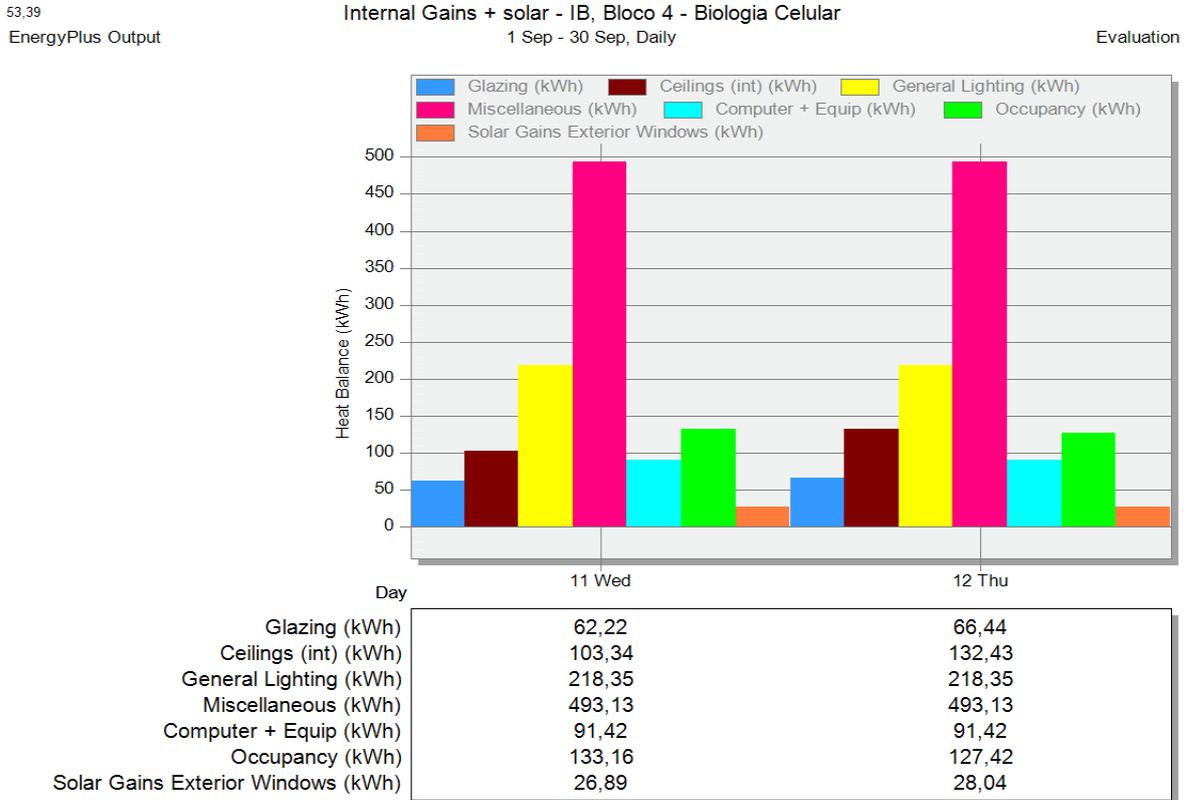


FIGURA 4.4.2.1 – Ganhos de calor separado por fonte com películas nos vidros (Fonte: Design Builder)

A aplicação de películas nas janelas produziu um resultado satisfatório, reduzindo a parcela de ganho de calor por luz solar de 328,18 kWh para 26,89 kWh. Como consequência observa-se que o ganho de calor por condução do vidro (denominado de *Glazing* no gráfico), aumentou levemente, visto que o tom escuro do vidro absorve mais calor por ser uma cor de elevada absorvidade. Este pequeno ganho de calor não reduz a eficiência da aplicação da película nos vidros.

Para concluir se esta diminuição de ganho de calor implica em reduções significantes de temperatura interna, é avaliada o conforto crítico da edificação, a zona 6 do 1º pavimento.

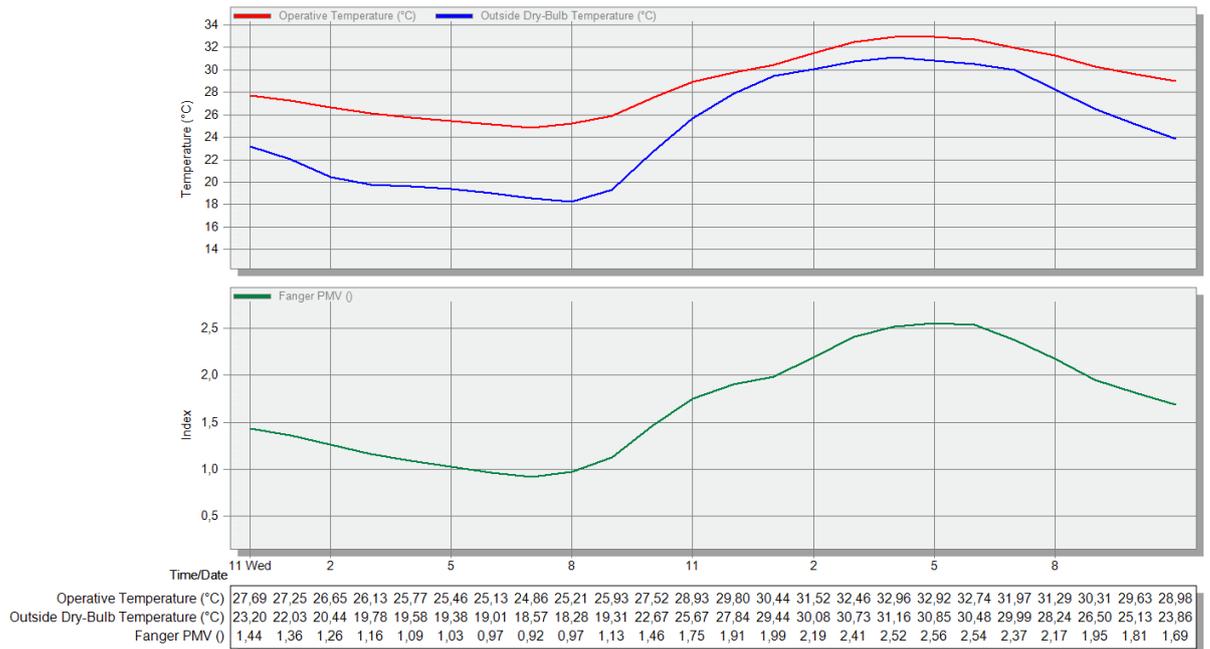


FIGURA 4.4.2.2 – Análise de temperatura interna com aplicação de película (Fonte: Design Builder)

Nota-se que a durante o período mais quente do dia a temperatura interna alcança os 32,9°C, redução de 1,2°C em relação ao modelo sem películas (34,1°C). Esta redução de temperatura não é muito significativa, mas reduz muito a parcela de ganhos de calor pelos fechamentos verticais com uma medida simples.

4.4.3 Solução 3: Funcionamento adequado dos shafts de ventilação

Esta medida visa analisar como seria o desempenho térmico da edificação se os shafts de ventilação funcionassem como previsto em projeto. Para simular esta ventilação, foi alterada a taxa de renovação de ar de todos os cômodos, elevando a ren/h sugerida pela NBR 15575 de 1 ren/h para 12 ren/h, renovação de ar recomendada para laboratórios pela companhia de projetos sustentáveis *Aircuity*. Esta modificação deve ser feita na aba “HVAC”, em “Natural ventilation”.

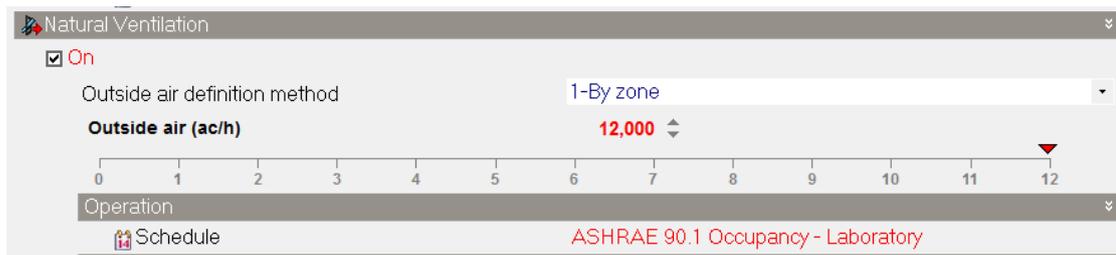


FIGURA 4.4.3.1 – Aplicação de renovação de ar pelos shafts de ventilação (Fonte: Design Builder)

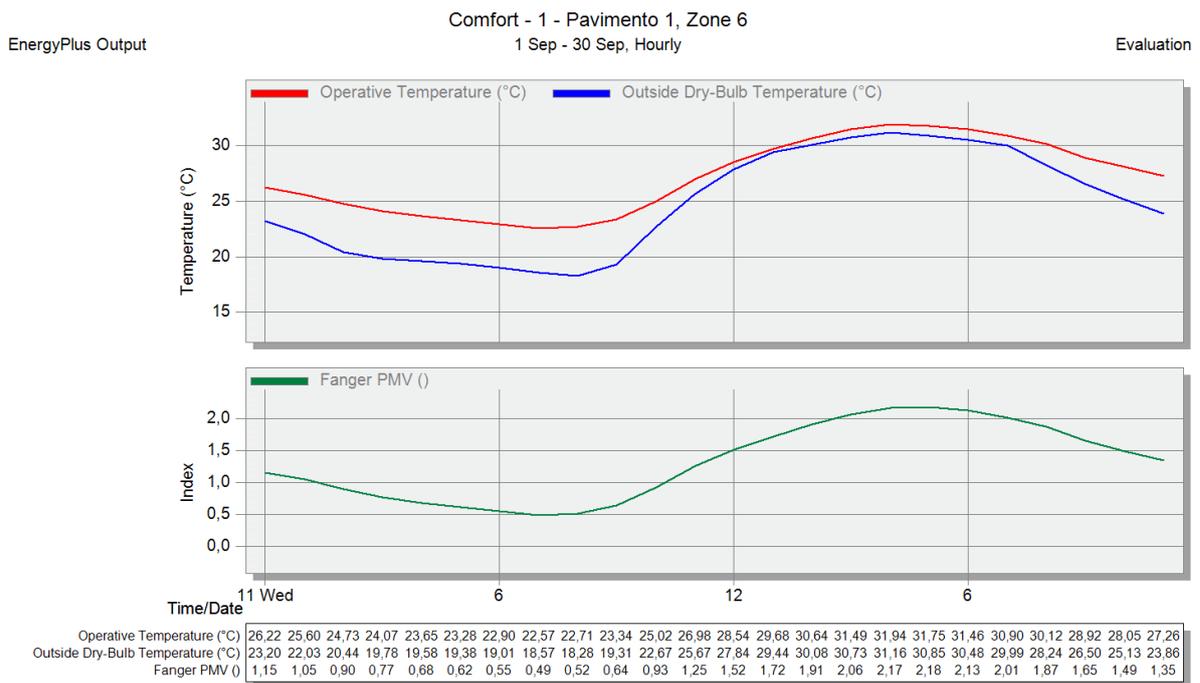


FIGURA 4.4.3.2 – Análise de temperatura interna com funcionamento dos shafts (Fonte: Design Builder)

Com o correto funcionamento dos shafts de ventilação, percebe-se uma melhora evidente na temperatura interna da Zona 6 do primeiro pavimento. A temperatura máxima neste cômodo foi reduzida de 34,1°C para 31,9°C, uma diferença significativa de 2,2°C. O índice de Fanger PMV também foi reduzido de 3 para 2,18. Este resultado mostra como a renovação de ar em uma edificação pode reduzir as cargas térmicas consideravelmente.

4.4.4 Combinação das soluções 1, 2 e 3

Como estratégia final, o edifício foi remodelado com todas as soluções apresentadas, substituindo as telhas de fibrocimento por telhas termoisolantes, aplicando uma película preta de baixa transmissividade nas janelas e considerando o correto funcionamento dos *shafts* de ventilação. Novamente, o cômodo a ser analisado é a zona 6 do primeiro pavimento durante o dia típico de verão. O resultado dessa combinação é mostrado a seguir na Figura 4.4.4.1

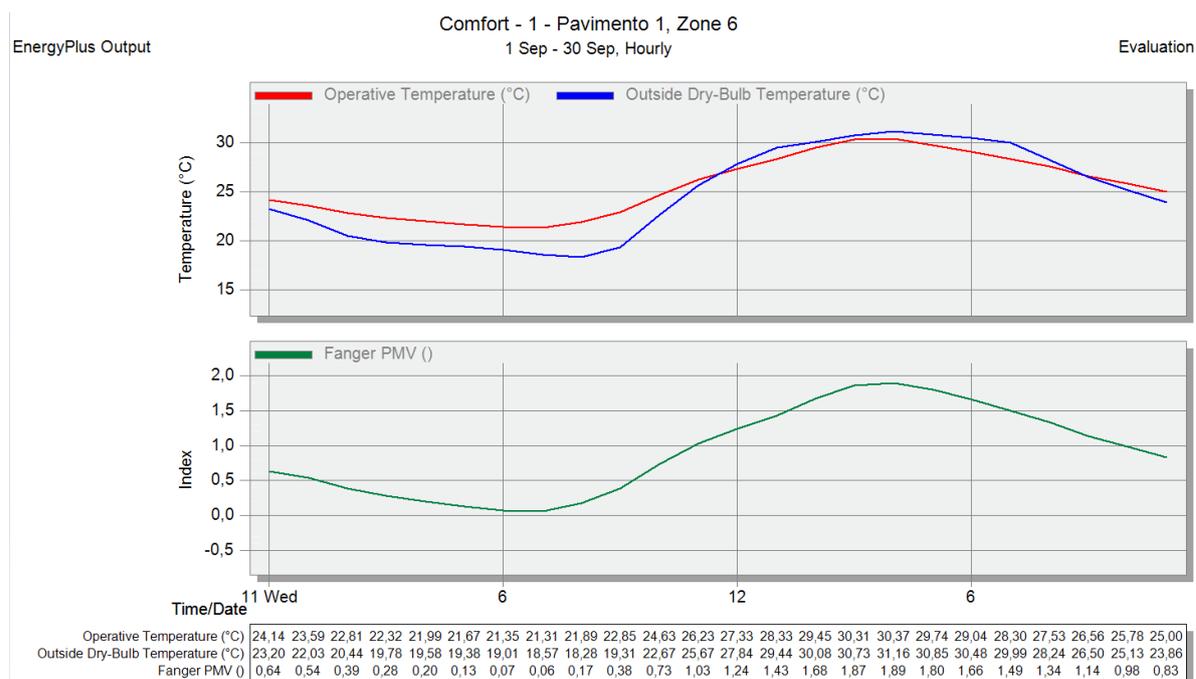


FIGURA 4.4.4.1 – Análise de temperatura interna com combinação das soluções (Fonte: Design Builder)

Observa-se que a combinação das estratégias apresentou resultado satisfatório, ou seja, durante as horas mais quentes do dia, a temperatura interna (30,3°C) é menor do que a externa (31,2°C), atendendo ao requisito básico para desempenho térmico de edificações da NBR 15575. O índice de Fanger PMV não ultrapassa a margem de 2, propiciando ao usuário a sensação térmica entre levemente quente e quente.

Este resultado mostra claramente que ao ter a temperatura interna inferior à externa, o usuário não necessariamente se sente confortável termicamente, sendo necessário fazer a análise complementar do índice de Fanger PMV.

5 CONCLUSÕES

O tema estudado revela a importância de se levar em consideração o desempenho de uma edificação quanto à sua eficiência energética. As variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas são determinantes para esta análise, a qual deve ser feita na fase de projeto para que o conforto térmico dos usuários seja satisfatório.

Ao conceber um projeto temos a possibilidade de direcionar as variáveis arquitetônicas para trabalharem ao nosso favor. Tendo isto em vista, os projetistas devem escolher cuidadosamente os melhores tipos de fechamentos da envoltória da edificação, de maneira que ele desempenhe a sua função de isolar ou expor o ambiente às variáveis climáticas.

Para avaliar o desempenho térmico de edificações, o software *Design Builder* mostrou-se extremamente satisfatório. É uma ferramenta na qual é possível inserir praticamente todos os detalhes que se deseja sobre uma edificação, como detalhes dos seus fechamentos, ocupação, geometria e climatologia do local. O programa conta com uma interface simples e fácil de ser operada, uma simulação precisa e uma extensa variedade de gráficos e tabelas ilustrando os resultados que se deseja analisar.

O Bloco 4 – Biologia Celular do Instituto de Biologia foi modelado com êxito no software para que fosse feita a sua análise de desempenho térmico. Os resultados obtidos indicaram que durante a maior parte do ano a temperatura interna da edificação está acima da temperatura exterior, resultado insatisfatório, como mostra a Tabela 5.1.

TABELA 5.1 – Resumo dos resultados das análises

Estudo	Descrição	Satisfatório
Análise 1	Anual da edificação como um todo	Não
Análise 2	Semana mais quente no primeiro pavimento	Não
Análise 3	Semana mais quente no térreo	Sim
Análise 4	Dia típico de verão - zona 6 primeiro pavimento	Não
Análise 5	Dia típico de inverno - zona 4 térreo	Sim
Análise 6	Dia típico de verão – sem equipamentos de lab.	Sim
Solução 1	Telhas termoisolantes	Não
Solução 2	Películas nas janelas	Não
Solução 3	Funcionamento dos shafts de ventilação	Não
Soluções 1, 2 e 3	Combinação das anteriores	Sim

As soluções propostas quando aplicadas separadamente não tiveram desempenho satisfatório, porém ao unir todas elas sim. Isto demonstra que para edificações com desempenho térmico insatisfatório a solução nem sempre está em diminuir os ganhos de calor de um determinado fechamento, visto que a maneira como as trocas térmicas ocorrem em todo o prédio não são pontuais, mas interagem entre si da maneira complexa, por isso a importância da ferramenta do software para que se façam análises precisas.

Apesar de o Bloco 4 do Instituto de Biologia não apresentar um resultado satisfatório como um todo, não se pode atribuir o desconforto térmico exclusivamente aos fechamentos da edificação. Durante o desenvolvimento deste trabalho mostrou-se que a ocupação desta edificação é a maior fonte de calor, o que se deve à vasta utilização de equipamentos de laboratório e computadores, consideradas fontes internas de aquecimento do ar, como observado na Análise 6. Acredita-se que os cômodos desta edificação foram mal dimensionados para os laboratórios, visto que é notável a falta de espaço para equipamentos e o consequente acúmulo destes em salas e corredores, aquecendo o ambiente durante todo o dia. Portanto em uma edificação com essa finalidade, os fechamentos podem até serem eficientes do ponto de vista térmico, mas o desempenho térmico dos cômodos já começa em desvantagem devido ao ganho de calor proveniente de dentro deles. Neste caso é importante o dimensionamento da rede de ar-condicionado a fim de neutralizar esses ganhos internos de calor.

Para trabalhos futuros sugere-se realizar um estudo mais detalhado da circulação do ar na edificação, analisando qual seria o fluxo de ar ideal a circular pelos shafts de ventilação e qual a eficiência real das condensadoras nesse processo (nesse trabalho apenas foi imposta uma renovação de 12 ren/h). Além da circulação pelos shafts, sugere-se também estudar a circulação pelos outros orifícios do prédio, analisando como a dimensão de cada um destes influencia na entrada de fluxo de ar. Pode-se também distribuir equipamentos de mensuração de temperatura e ventilação do tipo *data logger* em pontos estratégicos do edifício para registrar a variação de temperatura interna e comparar às simulações feitas no *Design Builder*. É interessante ainda medir o consumo elétrico dos equipamentos e lâmpadas para determinar com mais precisão a dissipação de calor de cada um destes.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 90.1 – 2010. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Estados Unidos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023. Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

_____. 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. ABNT, 2003. 21 p.

_____. NBR 15575-1. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. ABNT, 2003. 23 p.

_____. NBR 15575-4. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas – SVVIE ABNT, 2013. 75p.

_____. NBR 15575-5. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para Sistemas de Coberturas – SVVIE. ABNT, 2013. 73p.

_____. NBR 16401-2. Sistemas de ar condicionado – SVVIE. ABNT, 2013. 73p.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ENERGÉTICOS. Oficina “Edificações Eficientes”. In: DESENVOLVIMENTO DE AGENDAS TECNOLÓGICAS EM TEMAS SELECIONADOS. Brasília, 2012.

DIVINAL VIDROS. Disponível em <<http://www.divinalvidros.com.br/vidros-de-protecao-solar/#tab-id-5>> Acesso em 11 Maio 2014.

EARTH AND SPACE RESEARCH – ESR. Disponível em: <<http://www.esr.org/outreach/glossary/albedo.html>> Acesso em 23 abril 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Disponível em: <www.epe.gov.br> Acesso em 21 Abril 2014.

EQUIPE DE OBRA – PINI. Telhas termoisolantes. Disponível em <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/46/telhas-termoisolantes-composta-por-chapas-metalias-e-isolantes-cobertura-254312-1.aspx>

FERREIRA, P. Alguns dados sobre o clima para edificação em Brasília. Dissertação de mestrado. FAU UnB-1965.

GHISI, E.; TINKER, J.; IBRAHIM, S. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. Ambiente Construído, Porto Alegre. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3659/2015>>. Acesso em 27 Abril 2014.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Building, vol 18, Amsterdam, 1992.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. 2 ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345p.

KOSNY, J.; SHUKLA, N.; FALLAHI, A. Cost Analysis of Simple Phase Change Material-Enhanced Building Envelopes in Southern U.S. Climates. Documento preparado para o National Renewable Energy Laboratory, como parte do programa Building America, do Departamento de Energia dos Estados Unidos. 2013. Disponível em: <http://cse.fraunhofer.org/Portals/55819/docs/ba_pcm_enhanced_building_envelopes.pdf>. Acesso em 13 Maio 2014.

LAMBERTS, R. Desempenho térmico de edificações, Aula 9: desempenho térmico de paredes e coberturas. Florianópolis, 2012. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Aula%209%20-%20Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas_2012.pdf> Acesso em 2 Maio 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA L.; PEREIRA F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW Editores, 1997. 192p.

MACIEL, A. A. Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifícios de Escritórios. Florianópolis, 2002. 138p.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR.
Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios
Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Portaria Inmetro nº 372, de 17 de Setembro
de 2010. Disponível em
<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em 4 Maio
2014.

PESSOA, J.; GHISI E.; LAMBERTS, R. Estado da arte em eficiência energética:
iluminação e envoltória. Florianópolis, 2013. 73p.

PROCEL INFO – Centro brasileiro de informação de eficiência energética. Disponível em
<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B3D6B5B08-7D10-4FFA-9C6E-79917877F573%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>> Acesso em 24 Abril 2014.

PROTOLAB LABORATÓRIO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E
PROTOTIPAÇÃO. Disponível em: <<http://www.protolab.com.br/Tabela-Conductividade-Material-Construcao.htm>> Acesso em 25 Abril 2014.

RODRIGUES, E. Conforto térmico das construções. Disponível em
<http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf>
Acesso em 26 Abril 2014.

SILVA, A.; CUNHA, E.; OLIVEIRA, L. Simulação de eficiência energética. LABCEE,
2012. Disponível em
<http://www2.ufpel.edu.br/faurb/labcee/site/adm_/content/home/arquivos/Simulacao_EEnergética_aulas_02_03.pdf> Acesso em 3 Maio 2014.