

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO
TÉRMICO DO EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ECONOMIA,
ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE, UnB**

LUIZ CARLOS VAGOSTELO VELLOSO DE ARAUJO

ORIENTADOR:

PROF. DR. EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU

BRASÍLIA / DF: 09/07/2015

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO
TÉRMICO DO EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ECONOMIA,
ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE, UnB**

LUIZ CARLOS VAGOSTELO VELLOSO DE ARAUJO

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)

ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA JUNIOR, MS (UnB)

(EXAMINADOR INTERNO)

MARCO AURÉLIO SOUZA BESSA, MS (UNICEUB)

EXAMINADOR EXTERNO

DATA: BRASÍLIA / DF, 9 DE JULHO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAUJO, LUIZ CARLOS VAGOSTEO VELLOSO DE
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO
TÉRMICO DO EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ECONOMIA,
ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE, UnB, 2015.
xi, 60p, 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2015
Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília. Faculdade de
Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
1. Faculdade de Economia 2. Eficiência Energética
3. Desempenho Térmico 4. Reforma
I. ENC/FT/UNB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO, L. C. V. V. (2014). Análise da Eficiência Energética e Desempenho Térmico da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Campus Darcy Ribeiro, UnB.

Monografia de Projeto Final, Publicação em 2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 60p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Luiz Carlos Vagostelo Velloso de Araujo

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise da Eficiência Energética e desempenho térmico do edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil 1/ 2015

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.

Luiz Carlos Vagostelo Velloso de Araujo

SMPW QD. 28 CJ. 03 LT. 1 CS. C
CEP: 71.745-803

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, pelo seu amor. Sem Ele a vida não teria significado algum. Aos meus pais por estarem sempre prontos para me ajudar e me ensinar o caminho correto. A minha família pelo carinho e pelos momentos de descanso que tenho sempre que estou com vocês. Aos meus amigos mais próximos, vocês são os irmãos que eu tenho. Ao professor Caio Frederico e Silva pelos conselhos e ensinamentos sobre o *software*, e finalmente a minha namorada Verônica e futura esposa, você é minha inspiração.

RESUMO

A eficiência energética dos edifícios possui três focos principais: conceber uma envoltória menos propensa a trocar calor (desempenho térmico), aproveitar a iluminação natural e utilizar equipamentos de iluminação e ar-condicionado mais eficientes. Quando o edifício não possui equipamentos climatizadores (ex: ar-condicionado), o cuidado com o desempenho térmico torna-se ainda mais essencial, pois o conforto do usuário está entre os papéis principais de um edifício, interferindo diretamente no desempenho de suas atividades.

Para analisar os parâmetros que influenciam no desempenho térmico de um edifício, faz-se necessário abordar a influência da climatologia e das soluções de engenharia e arquitetura. O uso da tecnologia computacional como a ferramenta *Design Builder*® permite que o projetista compare soluções e projete edifícios energeticamente mais eficientes e com melhor custo benefício.

Colocando em prática os conhecimentos expostos, é realizada a análise do desempenho térmico do bloco D do edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – FACE – do campus Darcy Ribeiro, UnB e propostas possíveis estratégias que aprimorem o conforto térmico em seu interior, de forma eficiente e sem o uso de climatizadores artificiais.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	1
1.2. Justificativa	2
1.3. Descrição do edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FACE)	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Variáveis Climáticas	7
2.2 Variáveis Arquitetônicas	10
2.2.1 Fechamentos opacos maciços	11
2.2.2 Fechamentos Transparentes	13
2.2.3 Proteções solares externas e internas	15
2.3 Bioclimatologia	17
2.3.1 Zona de conforto.....	18
2.3.2 Zona de ventilação.....	18
2.3.3 Zona de resfriamento evaporativo	19
2.3.4 Zona de massa térmica para resfriamento	20
2.3.5 Zona de ar-condicionado	20
2.3.6 Zona de umidificação	21
2.3.7 Zona de massa térmica para aquecimento.....	21
2.3.8 Zona de aquecimento solar passivo	22
2.3.9 Zona de aquecimento artificial	24
2.3.10 Avaliação climática pelo Ano Climático de Referência (<i>TRY – Test Reference Year</i>).....	24
2.3.11 Carta Bioclimática	25
2.4 O uso das Estratégias em Brasília	26
2.4.1 Ventilação.....	26
2.4.2 Resfriamento Evaporativo	27
2.4.3 Massa térmica para resfriamento	30
2.5 Normatizações para eficiência energética em edificações	30
3. METODOLOGIA	33
3.1 Edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, UnB	33
3.2 Design Builder	35
3.3 Elementos construtivos e materiais	40
3.3.1 Esquadrias	41
3.3.2 Alvenaria	42
3.3.3 Brise	44

3.3.4 Laje do 1º pavimento	45
3.3.5 Cobertura.....	46
3.4 Atividades	48
3.5 Simulação	49
4. RESULTADOS	50
4.1 Análise	52
4.2 Propostas de Alteração	53
4.2.1 Troca das telhas de aço zincadas por telhas termoacústicas de EPS	53
4.2.2 Inserção da Laje de Cobertura	55
4.2.3 Substituição dos vidros antigos por vidros de baixo F _s , após inserção da laje	56
5. CONCLUSÕES	59
6. REFERÊNCIAS	60
7. ANEXOS	63

Lista de Figuras

Fig. 1.1. – Locação da FACE (fonte: CEPLAN, UnB).....	3
Fig. 1.2. – Imagem de satélite da localização do prédio da FACE (fonte: GOOGLE MAPS, 2014).....	4
Fig. 1.3 – Plantas do térreo, 1º pavimento e cobertura, respectivamente, do bloco D da FACE (fonte: CEPLAN, UnB, 2014).....	5
Fig. 1.4 – FACE, fachadas externas sudeste e nordeste.....	6
Fig. 1.5 – FACE, fachada interna noroeste.....	6
Fig. 2.1 – Ilustração de como interpretar uma Carta Solar (LAMBERTS, 1997).....	8
Fig. 2.2 – Carta Solar de Brasília (software Analysis Sol-Ar).....	8
Fig. 2.3 – Diagrama de “Rosa dos Ventos” de Brasília, que mostra a frequência pelo sentido dos ventos, conforme as estações do ano (software Analysis Sol-Ar).....	9
Fig. 2.4 – Esboço do funcionamento do <i>light shelf</i> (LAMBERTS, 1997).....	15
Fig. 2.5 – Exemplo de fachada com cobogós (SQS 107, bloco A, Brasília, 2014).....	16
Fig. 2.6 – Exemplo de proteção externa do tipo brise metálico, FACE.....	16
Fig. 2.7 – Palácio Capanema, inaugurado em 1943 (FERRAZ, Folha de São Paulo, 2013)...	17
Fig. 2.8 Carta bioclimática de Givoni (LAMBERTS, 1997).....	17
Fig. 2.9 – Zona de conforto (LAMBERTS, 1997).....	18
Fig. 2.10 – Zonas de ventilação diurna e noturna (LAMBERTS, 1997).....	19

Fig. 2.11 – Zona de resfriamento evaporativo (LAMBERTS, 1997).....	19
Fig. 2.12 – Zona de massa térmica para resfriamento (LAMBERTS, 1997).....	20
Fig. 2.13 – Zona de ar-condicionado (LAMBERTS, 1997).....	20
Fig. 2.14 – Zona de umidificação (LAMBERTS, 1997).....	21
Fig. 2.15 Zona de massa térmica (LAMBERTS, 1997).....	22
Fig. 2.16 – Parede <i>Trombe</i> (adaptado: http://solar365.com/green-homes/heating-ac/how-vent-thermal-trombe-walls , acessado em 07/09/2014, 20:00h).....	23
Fig. 2.17 – Zona de aquecimento solar passivo (LAMBERTS, 1997).....	23
Fig. 2.18 – Zona de aquecimento artificial (LAMBERTS, 1997).....	24
Fig. 2.19 – Carta Bioclimática de Brasília (LAMBERTS, 1997).....	25
Fig. 2.20 – Espaços Fluidos como estratégia para ventilação (LAMBERTS, 1997).....	27
Fig. 2.21 – Beijódromo, UnB. Exemplo de uso de ventilação vertical (fonte: www.panoramio.com , acessado em 09/07/2014, 20,54h).....	27
Fig. 2.22 – Resfriamento evaporativo devido às áreas arborizadas externas (LAMBERTS, 1997).....	28
Fig. 2.23 – Resfriamento evaporativo da telha cerâmica do telhado (LAMBERTS, 1997)....	28
Fig. 2.24 – Resfriamento evaporativo através da molhagem da de superfícies pavimentadas (LAMBERTS, 1997).....	29
Fig. 2.25 – Resfriamento evaporativo indireto (LAMBERTS, 1997).....	29
Fig. 2.26 – Resfriamento evaporativo em superfícies de paredes (LAMBERTS, 1997).....	30
Fig. 3.1 – Fluxograma da metodologia aplicada.....	33
Fig. 3.2 – Cobertura do bloco D da FACE	34
Fig. 3.3 – Espaço entre telha e forro no bloco D	34
Fig. 3.4 – Primeiros dados do programa (fonte: <i>Design Builder V 4.2</i> , 2015).....	35
Fig. 3.5 – Inserção de blocos (fonte: <i>Design Builder V 4.2</i> , 2015).....	36
Fig. 3.6 – Inserção de blocos componentes (fonte: <i>Design Builder V 4.2</i> , 2015).....	37
Fig. 3.7 – Geometria básica lançada de acordo com projeto arquitetônico (fonte: <i>Design Builder V 4.2</i> , 2015).....	38
Fig. 3.8 – Adequação do telhado para as trocas térmicas (fonte: <i>Design Builder V 4.2</i> , 2015).....	38
Fig. 3.9 – Salas de aula, salas de apoio e corredor do 1º pavimento (fonte: <i>Design Builder V 4.2</i> , 2015)	39

Fig. 3.10 – Zonas climáticas das empresas juniores (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	39
Fig. 3.11 – Laboratório e sala de apoio (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	40
Fig. 3.12 – Dados usados para modelar o vidro (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	41
Fig. 3.13 – Dados usados para modelar as divisórias (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	41
Fig. 3.14 – Inserção de dados do material de bloco cerâmico em alvenaria (fonte: <i>Design Builder V 4.2</i>)	42
Fig. 3.15 – Inserção de dados de material da argamassa usada como reboco (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	43
Fig. 3.16 – Inserção de dados dos componentes da alvenaria (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	43
Fig. 3.17 – Detalhe do brise vertical do bloco D (fonte: DGI, UnB)	44
Fig. 3.18 – Geometria do brise modelada no programa (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	44
Fig. 3.19 – Inserção de dados do alumínio usado no brise (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	45
Fig. 3.20 – Inserção de dados do concreto (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	45
Fig. 3.21 – Inserção de dados da laje do 1º pavimento (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	46
Fig. 3.22 – Inserção de dados da telha de aço (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	46
Fig. 3.23 – Inserção de dados do gesso do forro (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	47
Fig. 3.24 – Inserção de dados da cobertura (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	47
Fig. 3.25 – Atividades humanas desabilitadas (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	48
Fig. 3.26 – Desativando o uso de aquecedor e ar-condicionado e definindo a renovação de ar em 1(uma) troca por hora (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	49
Fig. 3.27 – Projeto final modificado para a simulação (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	49
Fig. 4.1 – Gráficos sobre temperatura, entrada de calor e renovação de ar gerados na simulação (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	50
Fig. 4.2 – Entrada e saída de calor, ao longo do ano, no bloco das salas de aula (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	52
Fig. 4.3 – Definição do material de enchimento das telhas termoacústicas (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	54
Fig. 4.4 – Inserção de laje na cobertura (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	55
Fig. 4.5 – Inserção de vidros de baixo fator solar (F_s) (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	57
Fig. 4.6 – Entrada e saída de calor, ao longo do ano, no bloco das salas de aula (fonte: <i>Design Builder V 4.2, 2015</i>)	57

Fig. 7.3 – Planta de cobertura do bloco D, FACE, UnB (fonte: CEPLAN, UnB, 2015).....	63
Fig. 7.3 – Planta de cobertura do bloco D, FACE, UnB (fonte: CEPLAN, UnB, 2015).....	64
Fig. 7.3 – Planta de cobertura do bloco D, FACE, UnB (fonte: CEPLAN, UnB, 2015).....	65

Lista de Tabelas

Tab. 2.1 – Absortância de acordo com a cor do material (LAMBERTS, 1997).....	11
Tab. 2.2 – Condutividade Térmica de alguns materiais (LAMBERTS, 1997).....	11
Tab. 2.3 Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura bastante superior à espessura (LAMBERTS, 1997).....	12
Tab. 2.4 – Resistências externas (R_{se}) e internas (R_{si}) (LAMBERTS, 1997).....	12
Tab. 2.5 – Fator solar normal para vidros, policarbonatos e acrílico homogêneos (SANTOS e RORIZ, 2012).....	15
Tab. 2.6 Peso das estratégia bioclimáticas para Brasília em % (LAMBERTS, 1997).....	26
Tab. 2.7 – Valores máximos e mínimos de parâmetros térmicos para Brasília (NBR 15575/2013)	32
Tab. 3.1 – Lista de materiais e suas propriedades térmicas usadas no modelo	40
Tab. 4.1 – Temperatura interna diária máxima e temperatura do dia típico de verão, segundo NBR 15575/2013.....	51
Tab. 4.2 – Critério de avaliação de desempenho da edificação segundo a NBR 15575/2013.....	51
Tab. 4.3 – Desempenho térmico do bloco D, segundo Olgyay (1963).....	52
Tab. 4.4 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula segundo Olgyay (1963).....	52
Tab 4.5 – Vãos suportados por telhas termoacústicas de EPS, em relação ao número de apoios, espessura e carga aplicada (fonte: Catálogo MBP – coberturas e fechamentos).....	53
Tab. 4.6 – Desempenho térmico do bloco D com a troca das telhas, segundo Olgyay (1963)	54
Tab. 4.7 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula, com troca das telhas por telhas de aço termoacústicas, segundo Olgyay (1963).....	54
Tab. 4.8 – Desempenho térmico do bloco D com inserção da laje, segundo Olgyay (1963)...	56

Tab. 4.9 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula com inserção da laje, segundo Olgyay (1963).....	56
Tab. 4.10 – Desempenho térmico do bloco D após inserção da laje e troca dos vidros, segundo Olgyay (1963)	58
Tab. 4.11 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula após inserção da laje e troca dos vidros, segundo Olgyay (1963).....	58

Lista de Símbolos

CT: Capacidade Térmica

F_s: Fator solar

I: Incidência Solar

R: Resistência térmica

Ren: Renovações de ar

R_{si}: Resistência superficial interna

R_{se}: Resistência superficial externa

U: Transmitância térmica

α : Absortividade

ϵ : Emissividade

λ : Condutividade térmica

ρ : Refletividade

τ : Transmissividade

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho faz parte de uma linha de pesquisa que está sendo feita na UnB que trata da análise de eficiência energética de edificações do campus Darcy Ribeiro. Neste trabalho será tratado especificamente o edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.

O desempenho térmico dentro de um edifício é essencial para o desenvolvimento das atividades a qual este foi proposto, sendo parte fundamental da funcionalidade defendida por Vitruvius (Sec. I A.C.). Vitruvius afirmava que além da solidez e harmonia visual, a edificação deve ser funcional. Quando não há conforto térmico dentro do edifício, os usuários ficam impossibilitados de realizar plenamente as atividades para as quais o edifício foi projetado, como descansar, armazenar ou trabalhar.

Segundo a Standard 55 da ANSI/ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* – Sociedade Americana de Engenheiros de Calefação, Refrigeração e Ar-condicionado), conforto térmico pode ser definido como: “estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico, avaliado de forma subjetiva”. A ventilação, densidade do ar e temperatura são fatores que provocam sensações térmicas diferentes, mas outro fator que influi diretamente é o metabolismo do indivíduo, que permanece em neutralidade térmica com o meio externo em condições distintas. Uma edificação eficiente energeticamente deve proporcionar aos usuários uma zona de temperatura que ofereça o máximo conforto possível e com o menor dispêndio de energia.

No Brasil, o estudo da eficiência energética em edificações vem se destacando nos últimos anos. Programas de etiquetagem internacionais e nacionais como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design* – Liderança em energia e Projeto de Ambientes) e a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia), assim como normas como a NBR 15575/2013 e NBR 15220/2003 apresentam métodos de cálculo e recomendações de desempenho que estão sendo cada vez mais difundidas entre os projetistas.

A transmitância, capacidade térmica, condutividade térmica, emissividade, absorvância, transmissividade e fator solar são algumas das propriedades mais importantes na determinação do fluxo térmico que entra e sai de um edifício. O estudo do comportamento dos diferentes tipos de materiais e elementos construtivos devido a essas propriedades nos permitirá avaliar o comportamento térmico no interior de um edifício. Uma ferramenta que nos permite analisar os principais fatores que agem simultaneamente em um edifício é a simulação computacional, que é extremamente eficiente, pois considera as interdependências entre os elementos em um edifício.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico do bloco D do edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, UnB, e propor estratégias que

poderiam ser sido adotadas no projeto executivo e também que ainda podem ser usadas para corrigir o baixo desempenho térmico do edifício.

Para isso, serão introduzidos os conceitos das principais variáveis bioclimáticas, elementos da edificação e materiais que podem influir direta ou indiretamente no desempenho térmico da edificação.

1.2. Justificativa

Em se tratando de sustentabilidade, a eficiência energética desempenha um papel decisivo, pois ela mitiga o desperdício de recursos naturais, ajudando evitar problemas ambientais como a redução dos volumes dos rios devido ao consumo exagerado nas hidroelétricas e aumento da emissão de poluentes emitidos em termoelétricas. O país que promove o aumento de sua eficiência energética inevitavelmente promove o aumento do seu PIB e IDH, pois o consumo de energia está diretamente ligado ao seu crescimento econômico e social.

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF), o setor de edificações está entre os maiores consumidores de energia elétrica. Segundo os dados do Balanço Energético Nacional (BEM 2010), o consumo de energia elétrica do País em 2009 foi próximo a 426 TWh. As edificações – que compreende os setores residencial, comercial e a parcela correspondente aos prédios do setor público – respondem por aproximadamente 178 TWh, mais de 40% do total, portanto a economia de energia neste setor é tão importante.

Quando um edifício é eficiente energeticamente, tanto a distribuidora de energia quanto o proprietário são beneficiados com a economia de energia. O distribuidor poderá investir na melhoria das transmissões ao invés de criar novas usinas, enquanto o usuário gastará menos com climatizadores artificiais, o que leva a comprar equipamentos menores, e gerando menor depreciação destes e também economizando mensalmente com uma conta de energia elétrica menor.

A iluminação também é outro fator importante para a eficiência energética. Durante o dia, a preferência é o uso de iluminação natural e ao mesmo tempo buscando minimizar a absorção de calor, que, antes do desenvolvimento de novas tecnologias, era um grande *trade-off*, ou seja, a solução do problema do fator solar baixo acarretava diminuição considerável na entrada de luz natural. Hoje as pesquisas de novos tipos de fechamentos, como os vidros eficientes, permitem um maior aproveitamento da luz ao mesmo tempo em que restringem a entrada de calor para o interior do edifício. Produtos como telhas termoacústicas também tem ganhado maior espaço nos projetos, pois além de cobrir os edifícios ela garante um conforto termoacústico que antes necessitaria de uma laje de concreto para garanti-lo.

No passado, as edificações utilizavam em sua maioria lâmpadas incandescentes, que além de emitir baixa luminosidade em relação à sua potência, elas dissipavam toda a energia que não era aproveitada para iluminação em forma de calor, aquecendo ainda mais o interior das edificações.

Todos estes fatores influem direta e indiretamente para a eficiência energética de um edifício e também para a economia de energia da distribuidora, interferindo na capacidade de abastecimento da rede e no desenvolvimento sustentável do país.

1.3. Descrição do edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FACE)

A FACE está situada em Brasília, ao lado do pavilhão Anísio Teixeira, no Campus Darcy Ribeiro da UnB. Sua inauguração foi em outubro de 2012, com um custo estimado de dez milhões de reais, segundo a secretaria de notícias da UnB (SeCom). O bloco D, sinalizado nas figuras 1.1 e 2.2 é onde estão as salas de aula e laboratórios, possuindo a maior concentração de pessoas, e por isso este bloco foi escolhido, dentre os demais, para ser estudado.

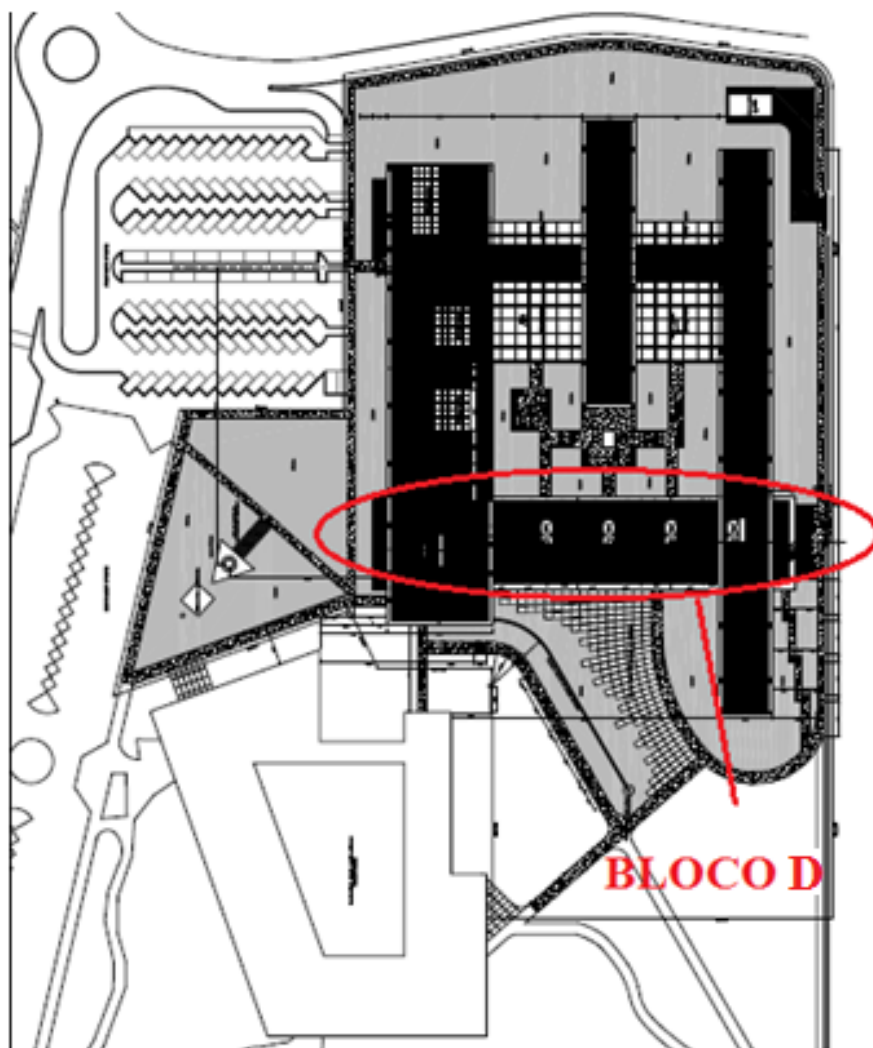


Fig. 1.1 – Localização da FACE (fonte: CEPLAN, UnB)

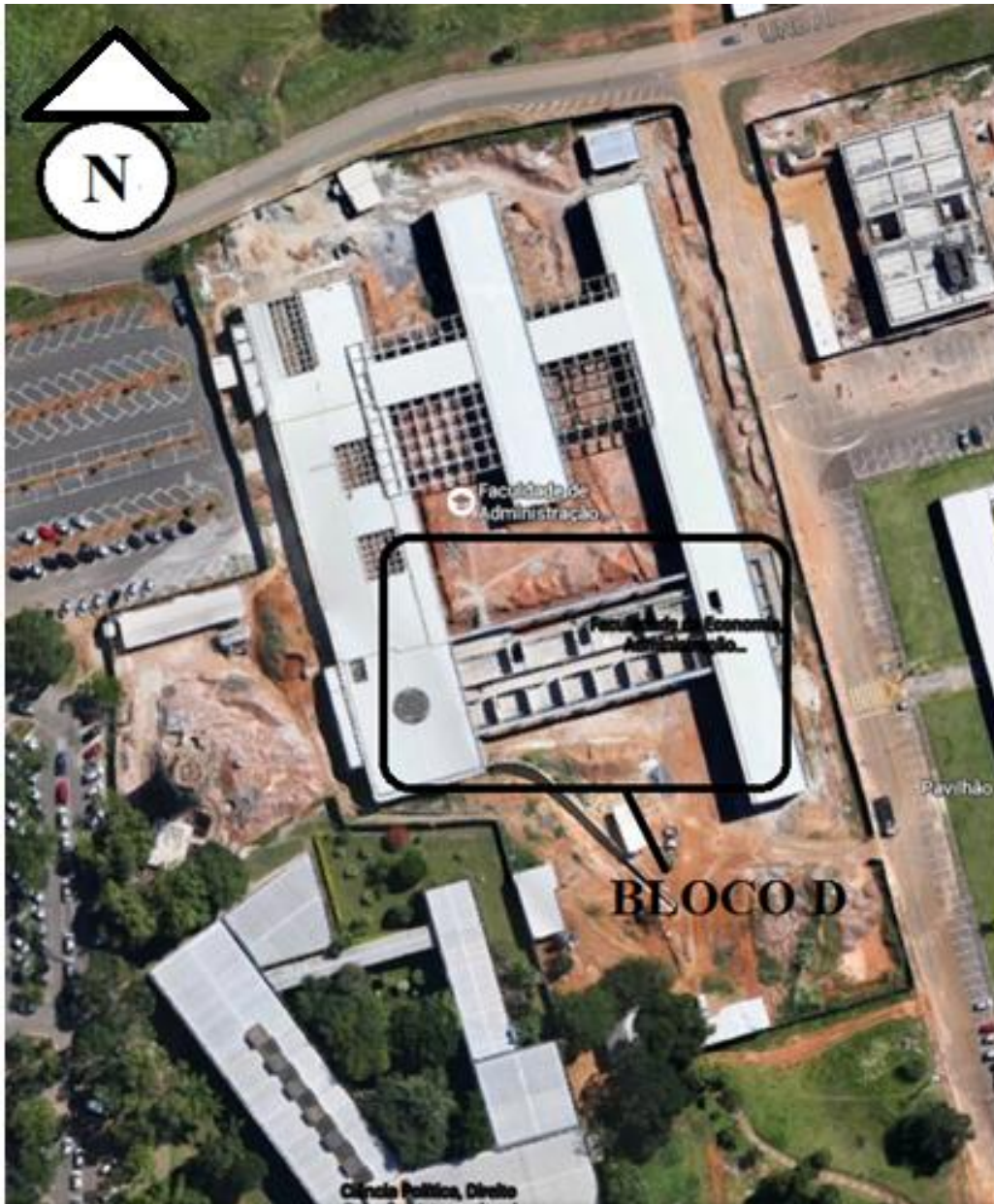


Fig. 1.2 – Imagem de satélite da localização do prédio da FACE (fonte: GOOGLE MAPS, 2014)

A FACE é uma das maiores unidades acadêmicas da UnB. Segundo o Secom, 3.175 alunos de graduação e 449 alunos de pós-graduação usufruem da infraestrutura da FACE. O edifício possui um total de 8.000 m² de área construída sendo 8 salas de aula, 135 salas para professores, 4 salas de grupos de pesquisa, 3 salas de estudos de pós-graduação, 4 laboratórios de informática, 11 sanitários, 18 depósitos 2 auditórios e 88 vagas para estacionamento.

O bloco D da FACE, possui 8 salas de aula e 4 laboratórios de informática, no primeiro pavimento e 3 salas destinadas a empresas juniores e centros acadêmicos no térreo.

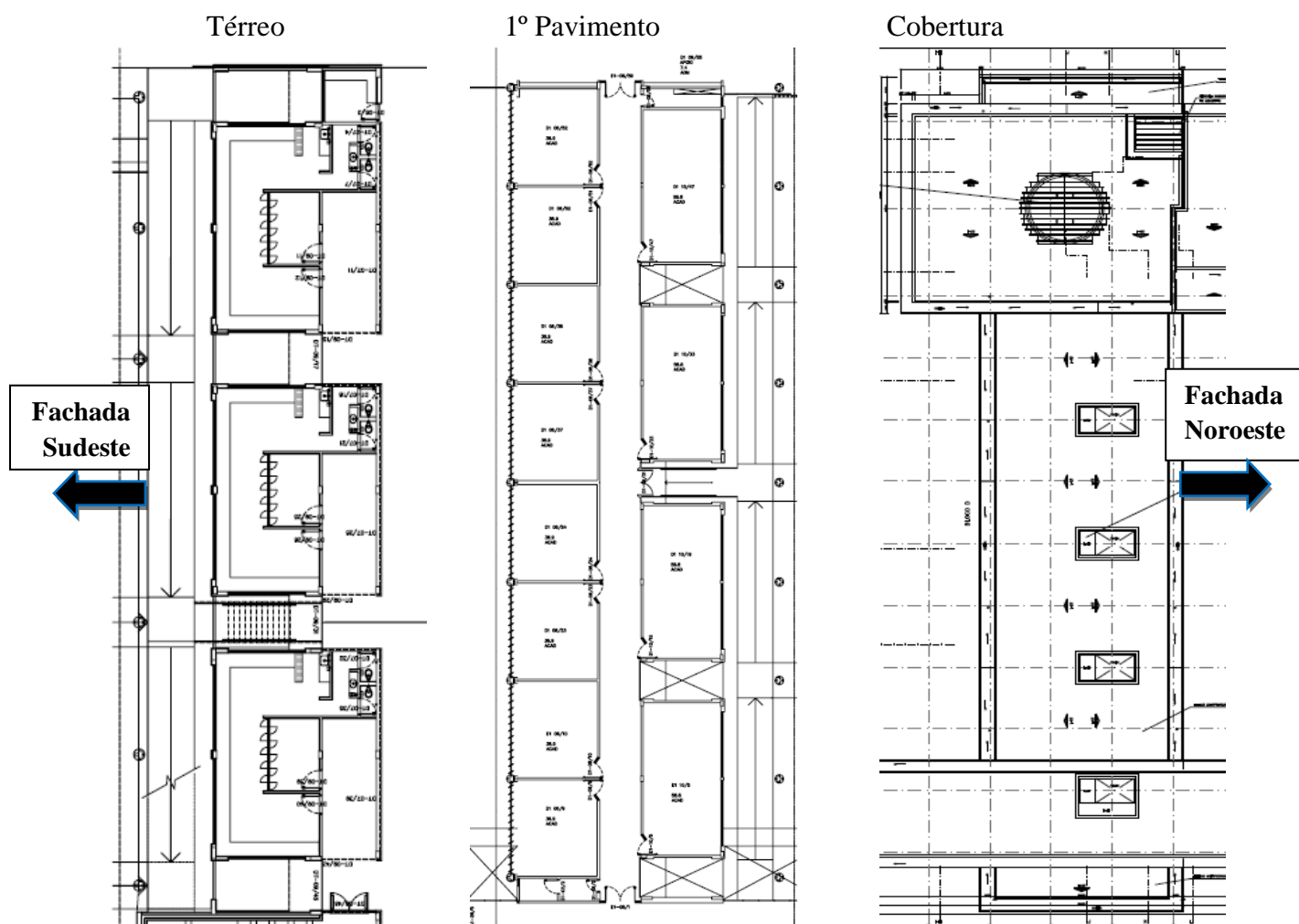


Fig. 1.3 – Plantas do térreo, 1º pavimento e cobertura, respectivamente, do bloco D da FACE. Plantas também se encontram no Anexo, em escala 1/250 (fonte: CEPLAN, UnB, 2014)

O sistema construtivo é de concreto armado com vedações de bloco cerâmico. No primeiro pavimento há um corredor duplo, o que traz problemas para o conforto térmico, pois os professores têm de optar entre abrir a porta e para gerar ventilação cruzada na sala, em detrimento da entrada na sala dos ruídos do corredor.

Serão analisadas apenas a fachada externa sudeste e a fachada interna noroeste. As demais fachadas não têm impacto no estudo do desempenho térmico das salas de aula, pois estão sombreadas pelos blocos adjacentes.

Na fachada externa sudeste possui proteções solares do tipo brise, de cor amarela, de orientação vertical e com abertura móvel. A fachada interna noroeste possui proteção solar devido a um prolongamento da laje de cobertura, que bloqueia radiação solar direta sobre os fechamentos transparentes do primeiro pavimento, que usam apenas vidros simples.



Fig. 1.4 – FACE, fachadas externas sudeste e nordeste



Fig. 1.5 – FACE, fachada interna noroeste

A segunda etapa deste trabalho apresentará um estudo detalhado das principais variáveis bioclimáticas e arquitetônicas, na regulação do conforto térmico, entrada de luz natural e radiação solar, umidade do ar e ventilação, para avaliar a eficiência energética e conforto térmico do bloco D da FACE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pensar em eficiência energética nada mais é que construir e adaptar a edificação de maneira a amenizar o máximo possível os efeitos climáticos que podem causar desconforto ao usuário e economizando com custos de climatização artificial.

Antes de projetar qualquer forma arquitetônica, o projetista precisa conhecer de antemão as características climáticas da região em que será construída a edificação. Compreender todos os fatores que interferem no conforto térmico é de suma importância para projetar edifícios energeticamente eficientes. O estudo das variáveis climáticas e dos eventos naturais de uma região é a parte mais importante para se determinar a forma que um projeto pode ter.

Para facilitar a abordagem, as variáveis climáticas devem ser divididas em três grupos: Macroclima, Mesoclima e Microclima.

2.1 Variáveis Climáticas

O macroclima trata da radiação solar, da temperatura, do vento e da umidade. Todas essas variáveis são interdependentes e podem ser medidas em uma estação meteorológica e compilados para cada bioclima na forma de Anos Climáticos de Referência (TRY – *Test Reference Year*), que será abordado quando for tratar de bioclimatologia, seção 2.3 deste trabalho.

A radiação solar é medida em W/m^2 (watts por metro quadrado), a temperatura é medida em $^{\circ}C$ (graus Celsius), a umidade do ar calculada pela pressão de vapor do ar e é medida em porcentagem (sendo 0% para ausência total de moléculas de água no ar e 100% quando o ar estiver saturado de vapor d'água). Já o vento tem 2 características, direção em coordenadas geográficas e velocidade em nós, que são medidas à 10m de altura do solo em um campo aberto livre de obstáculos.

Ganhos térmicos devidos à radiação solar podem amenizar o desconforto devido ao frio como também intensificar o calor no interior do edifício. Para estudar todas as formas com que o sol incide, usa-se a Carta Solar. Nela estão contidas informações sobre a trajetória do sol ao longo das horas assim como a altitude solar para um azimute escolhido, como está descrito nas figuras 2.1 e 2.2.

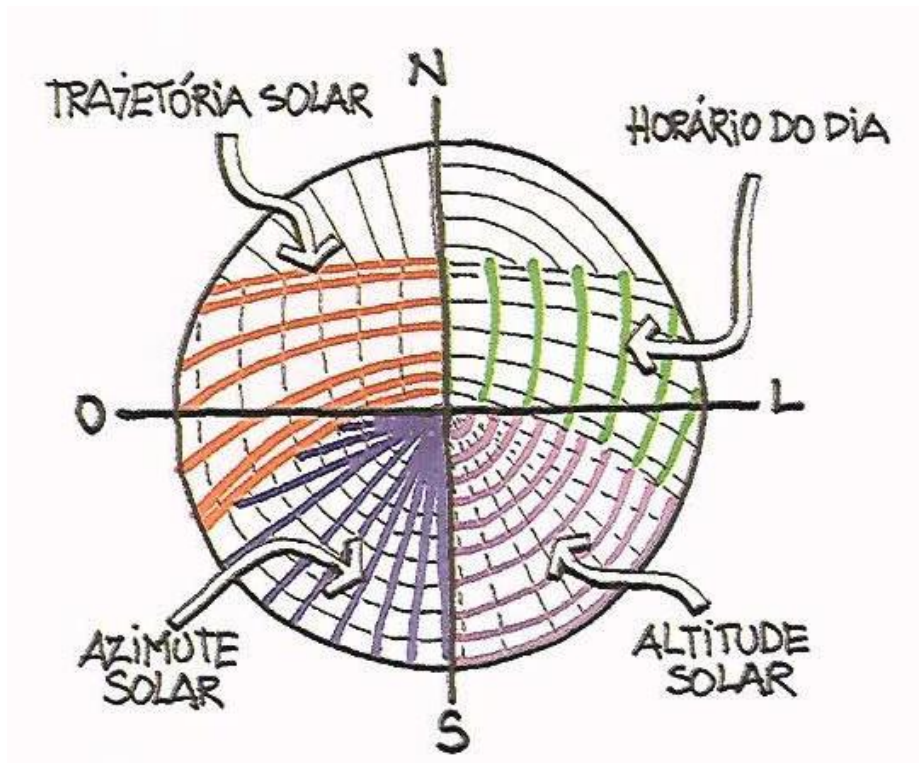


Fig. 2.1 – Ilustração de como interpretar uma Carta Solar (LAMBERTS, 1997)

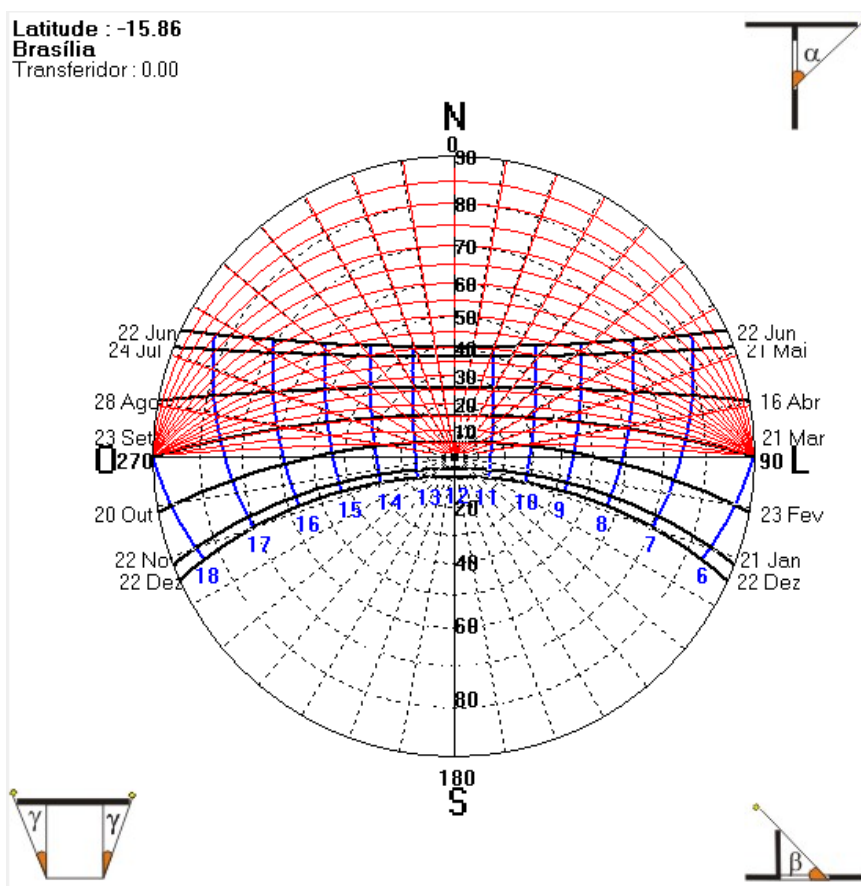


Fig. 2.2 – Carta Solar de Brasília (software Analysis Sol-Ar)

Brasília é uma cidade com um alto nível de conforto térmico segundo Lamberts *et al.* (1997), mas este conforto térmico pode não ser alcançado quando não adotamos estratégias eficazes para o controle dos ganhos de calor para o edifício. Ao orientar corretamente o edifício de projeto para favorecer a iluminação natural e a diminuição dos ganhos de calor maximizamos o conforto térmico do edifício e evita-se a necessidade de uso de climatizadores artificiais.

A ventilação e umidade relativa do ar são agentes importantes para o conforto térmico, pois podem aumentar a taxa de evaporação do suor em nossa pele e assim diminuindo a sensação térmica. A evaporação do suor é a forma que o corpo humano regula o aumento da temperatura interna provocada pelo clima quente, e quanto maior a evaporação do suor, menor é a sensação térmica. Quanto menor a umidade relativa, maior é a evaporação do suor, e quanto maior a velocidade do ar que passa pelo nosso corpo, maior a evaporação do suor.

Na concepção de um projeto arquitetônico, o sentido predominante do vento deve ser estudado para a compreensão de como será o comportamento das variáveis internas dentro do edifício. O sentido predominante do vento é determinado por um estudo de frequência feito por estações meteorológicas e pode ser representado por um diagrama “rosa dos ventos”, como na figura 2.3.

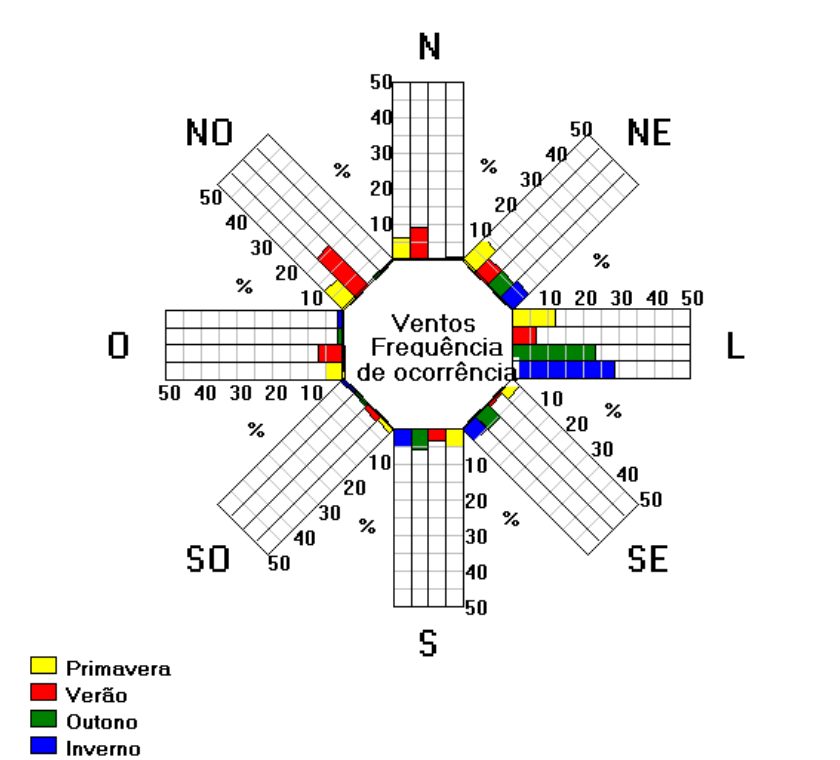


Fig. 2.3 – Diagrama de “Rosa dos Ventos” de Brasília, que mostra a frequência pelo sentido dos ventos, conforme as estações do ano (*software Analysis Sol-Ar*)

Os meso e o microclima abordam as interferências nas variáveis de clima produzidas por fatores locais, ou seja, numa escala mais próxima da edificação. Alguns exemplos de meso e microclima: o litoral, uma planície, um vale, uma cidade grande e um apartamento.

Mendonça (1994) relata que a cidade é o exemplo mais evidente da modificação do clima local, devido à introdução de formas artificiais, como as edificações, a concentração de equipamentos e pessoas, a impermeabilização do solo, a canalização de córregos, dentre outras. Isso tudo gera anomalias climáticas que afetam diretamente o estudo da eficiência energética.

O calor provocado pela radiação solar é amenizado em locais cercados de vegetação, pois as plantas absorvem o calor na fotossíntese e o calor residual é dissipado pelas folhas ao vento. Com isso de 60 a 90% da radiação solar é interceptada, o que já não ocorre em grandes centros urbanos, que criam as “ilhas de calor” provocadas pelo aquecimento do solo, pavimentos e prédios ao longo do dia.

Dependendo da densidade e das dimensões dos obstáculos próximos ao edifício pode-se diminuir a intensidade do vento, assim como canalizá-lo dependendo da posição dos obstáculos.

A presença de água nos arredores da edificação também interfere nas condições climáticas do prédio não só pela umidade mas também amenizando a temperatura do local devido à sua capacidade térmica. A água possui elevada capacidade térmica (C), que é a grandeza física que determina a relação entre a quantidade de energia fornecida a um corpo e a variação de sua temperatura, por isso a água necessita de maior energia para poder elevar 1°C.

Compreender a influência da radiação solar, temperatura, umidade e dos ventos nos possibilita elaborar alternativas e soluções que impulsionam a busca pela eficácia na eficiência energética de um projeto arquitetônico.

2.2 Variáveis Arquitetônicas

Depois de estudar as variáveis climáticas, o projetista deve utilizar formas arquitetônicas que maximizem a eficiência luminosa, térmica, da ventilação na edificação e que se encaixem melhor às necessidades do projeto, variando conforme a função da edificação.

Em geral, nos climas tropicais, a luminosidade natural e calor andam juntos, pois ambos são decorrentes da ação da radiação solar. Na edificação, o a entrada de radiação solar é determinada por sua envoltória. A envoltória é caracterizada por fechamentos, que são divididos em dois tipos: opacos e transparentes. Segundo Lamberts (1997) a principal diferença entre os dois é justamente sua capacidade (transparência) ou incapacidade (opacidade) de transmitir radiação diretamente através do material, propriedade essa chamada de transmissividade.

2.2.1 Fechamentos opacos maciços

Nos fechamentos opacos, a transmissão de calor ocorre em três fases. Na primeira fase há a troca de calor por meio de radiação e convecção entre o meio externo e a face externa do fechamento. O aumento de temperatura da superfície dependerá da resistência superficial externa do material (R_{se}). O R_{se} adotado pela ISO 6946/1 (1976) é 0,04 m²K/W.

A radiação incidente na parede terá uma parcela absorvida e outra refletida, chamadas de absorvidade ou absorvância (α) e refletividade (ρ). Seu comportamento é definido pela expressão:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (\text{eq. 1})$$

A absorvância é definida pela cor do material usado na face externa do fechamento.

Tab. 2.1 – Absorvância de acordo com a cor do material (LAMBERTS, 1997)

Cores	α
Escuras	0,7 a 0,9
Médias	0,5 a 0,7
Claras	0,2 a 0,5

A segunda fase é a condução da energia através do interior do fechamento. Nesta fase, o calor que vai se acumulando na superfície externa é transmitido da face externa à face interna por um fluxo que dependerá da condutividade térmica do material (λ). Esta propriedade expressa a capacidade que o material tem de conduzir calor de um ponto ao outro, e é medida em W/mK. A tabela a seguir nos mostra valores de λ para alguns materiais:

Tab. 2.2 – Condutividade Térmica de alguns materiais (LAMBERTS, 1997)

Materiais	λ (W/m.K)
Concreto	1,5
Tijolo	0,65
Madeira	0,14
Isopor	0,03

Para mitigar as trocas de calor no fechamento, devem ser usados materiais com baixa condutividade térmica ou empregar no fechamento elementos com câmaras de ar. As câmaras de ar retardam o calor ao fazer a energia ser transmitida por convecção e radiação, ao invés de condução. A convecção dependerá da inclinação do fechamento e da direção do fluxo de energia, já a radiação dependerá da emissividade (ϵ) da superfície da parede interna do fechamento. Ela dita a energia térmica que é emitida por quantidade de tempo e é separada em dois grupos de materiais: os metálicos e os não metálicos.

Tab. 2.3- Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura bastante superior à espessura (LAMBERTS, 1997)

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura da câmara de ar (mm)	Resistência térmica R_{ar} [m^2 K/W]		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície não-refletores (caso geral) $\epsilon > 0,8$	10 - 20	0,14	0,13	0,15
	21 - 50	0,16	0,14	0,18
	>50	0,17	0,14	0,21
Uma superfície refletora $\epsilon < 0,2$	10 - 20	0,29	0,23	0,29
	21 - 50	0,37	0,25	0,43
	>50	0,34	0,27	0,61

Na terceira fase do processo, o fluxo de energia ocorre assim como na primeira fase, ou seja, por convecção e radiação. As perdas de calor por convecção dependerão da resistência superficial interna do fechamento (R_{si}) e, as perdas por radiação, da emissividade superficial do material. A tabela a seguir nos dá valores de R_{se} e R_{si} .

Tab. 2.4 – Resistências externas (R_{se}) e internas (R_{si}) (LAMBERTS, 1997)

R_{si} ($m^2.K/W$)			R_{se} ($m^2.K/W$)		
Direção do Fluxo de Energia			Direção do Fluxo de Energia		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Com todas as resistências de uma parede calculadas, somam-se elas para encontrar a Resistência Total (RT) do fechamento. O inverso da Resistência Total é a transmitância (U) que é o ponto mais importante do estudo de fechamentos opacos, pois através da transmitância podemos saber como será o comportamento do fluxo térmico em um fechamento opaco.

A transmitância, que é medida em $W/m^2.K$, se multiplicada pela diferença de temperatura interna e externa (ΔT), obtém-se o fluxo total de calor q (W/m^2):

$$q = \frac{1}{RT} * \Delta T = U * \Delta T \quad (\text{eq. 2})$$

Outra propriedade importante é a massa térmica. A massa térmica de um material é tanto maior quanto a quantidade de calor que este consegue reter em seu interior, em geral é obtida com o uso de fechamentos espessos. Essa característica é ideal para bioclimas que possuem grande variação térmica diária, podendo o fechamento neutralizar as temperaturas extremas de períodos diferentes do dia, transferindo calor de seu interior para a parte interna quando está frio, e amortecendo a transferência de calor externa quando está quente.

2.2.2 Fechamentos Transparentes

Fechamentos transparentes abrangem clarabóias, portas, janelas e todos os tipos de elementos que promovem a entrada de luminosidade natural e que fazem parte da envoltória do edifício. Neste tipo de fechamento ocorrem os três tipos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação.

O Sol emite radiação de ondas curtas (ultravioleta) e a Terra a absorve, por sua vez irradiando parte desta energia em ondas longas (infravermelho, que tem frequência e temperatura inferior ao ultravioleta). Resumidamente, nos fechamentos transparentes há grande entrada de luminosidade e radiação de ondas curtas e pequena saída de radiação de ondas longas.

As variáveis que mais pesam no cálculo da eficiência energética para fechamentos transparentes são: orientação e dimensão da abertura, o material e proteções solares externas e internas.

Quanto maior a dimensão do fechamento transparente, maior a quantidade de calor e luminosidade serão incorporados à edificação. A latitude que se encontra o edifício, o horário do dia e a direção da fachada também têm grande influência, pois a radiação solar tem seu ângulo de incidência variado por esses fatores. Levando-se em conta todos esses fatores, o projetista pode usar tabelas para céu aberto ou valores de radiação horários existentes no Ano Climático de Referência (TRY) da cidade em questão, ou para uma cidade próxima e com as mesmas características bioclimáticas, quando não foram feitos estudos para a localidade.

O material do vidro é também fundamental. O estudo dos vidros permeia a arquitetura moderna, que influenciou fortemente o desenvolvimento tecnológico de novos tipos de vidro e até plásticos vêm sendo utilizados cada vez mais. As características do material são essenciais para um bom desempenho energético.

Assim como os fechamentos opacos, os fechamentos transparentes além de apresentarem refletividade (ρ) e absorvância (α), possuem outra característica, a transmissividade (τ).

Na construção civil são usados os seguintes tipos de fechamento transparente:

- vidros simples;
- vidro verde;
- películas e vidros absorventes;
- películas e vidros reflexivos;
- policarbonatos e plexiglass (plásticos).

Os vidros simples são altamente transparentes a ondas curtas, e opacos a ondas longas, o que faz reter no ambiente interno grande parte do calor que entra livremente pelas ondas curtas.

Os vidros verdes são vidros comuns que tiveram sua pigmentação alterada durante o processo de fabricação, gerando maior opacidade para ondas curtas

Películas e vidros absorventes ou fumês, assim como os vidros verdes aumentam a opacidade em relação à onda curta, no entanto, também são mais opacos à luminosidade. Isto pode gerar gastos excessivos de energia para iluminar o interior.

Películas reflexivas são usadas em vidros, podendo ser incorporadas em seu interior ou fixadas em sua superfície. Existem películas que podem refletir ondas curtas ou ondas longas, de forma que o propósito almejado para o fechamento seja alcançado. A luminosidade também é parcialmente refletida pelo material.

Plásticos também vêm ganhando espaço no mercado. O policarbonato possui alta resistência a impactos, seu peso é a metade do peso do vidro e sua condutividade térmica é quatro vezes menor que a do vidro. O policarbonato, assim como o plexiglass (acrílico), é opaco em relação às ondas longas (infravermelho).

Os fechamentos transparentes possuem outra característica importante, o fator solar (F_s). O fator solar é a porcentagem da radiação solar que é efetivamente transmitida ao ambiente interno. Cada tipo de vidro tem um fator solar característico e este é determinado pela soma da transmissividade e da metade da absorvência, com sua outra metade irradiada de volta para o ambiente externo, expressa pela seguinte fórmula:

$$F_s = \left(\tau + \frac{\alpha}{2} \right) \quad (\text{eq. 3})$$

Sendo I a incidência solar (W/m^2) em um plano normal à superfície. A tabela 2.5 fornece valores do comportamento do fator solar para diferentes cores e de fechamentos transparentes de vidro e policarbonato:

Tab. 2.5 – Fator solar normal para vidros, policarbonatos e acrílico homogêneos (SANTOS e RORIZ, 2012)

MATERIAL	COR	GRUPO	ESPESSURA (mm)				
			2	4	6	8	10
			FS	FS	FS	FS	FS
VIDROS COMUNS	Incolor	1	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81
	Verde	1	0,81	0,74	0,68	0,63	0,59
	Bronze	1	0,81	0,73	0,68	0,63	0,59
	Cinza	1	0,79	0,71	0,64	0,59	0,55
	Azul	1	0,76	0,67	0,60	0,55	0,51
POLICARBONATOS	Incolor	1	0,85	0,84	0,82	0,81	0,80
	Verde	1	0,83	0,79	0,76	0,72	0,69
	Bronze	1	0,78	0,71	0,65	0,60	0,56
	Cinza	1	0,73	0,63	0,56	0,50	0,46
	Azul	1	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
ACRILICO INCOLOR		1	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85

2.2.3 Proteções solares externas e internas

Proteções solares internas, que são cortinas e persianas, não produzem efeito significativo, pois estas se aquecem e irradiam calor dentro do ambiente interno. Seu uso é mais voltado para o bloqueio da radiação visível, trazendo conforto luminoso ao usuário.

Existem soluções arquitetônicas que produzem resultados significativos quando se trata na redução da incidência solar direta em uma fachada e ao mesmo tempo aproveitando o máximo possível a luminosidade, mitigando o efeito estufa. Proteções externas produzem este tipo de resultado.

Um tipo de proteção externa é o *light shelf*, que bloqueia a incidência solar para dentro da abertura principal, e por meio de uma abertura acima dela promove a entrada de luz. *Light shelves* não devem ser empregados em fachadas voltadas para leste, oeste, mas sim voltado para o norte, pois nesta direção o sol incide com um ângulo maior. No Brasil a fachada sul recebe poucas horas de sol durante o dia, e com inclinação elevada, que torna desnecessário o uso de *light shelf*.

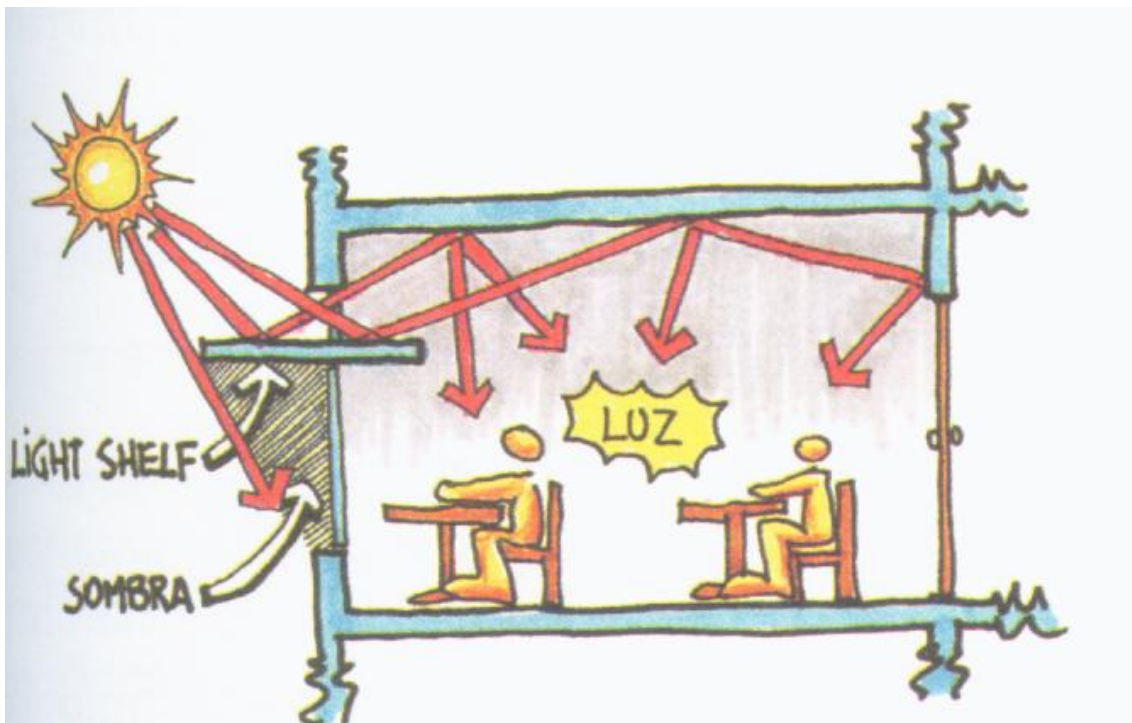


Fig. 2.4 – Esboço do funcionamento do *light shelf* (LAMBERTS, 1997)

Outros tipos de proteção externa são os cobogós e brises. Os cobogós foram amplamente usados em diversos prédios em Brasília e possui pequenas aberturas que são separadas em módulos, como mostra a figura 2.5. Já o brise consiste em aletas dispostas em uma única direção (vertical ou horizontal) e que podem ser orientadas de forma a barrar a incidência do sol, como mostra a figura 2.6. Ambas são estruturas que por meio de aberturas

de tamanhos e formatos variados conferem luminosidade necessária sem permitir a entrada das ondas curtas.



Fig. 2.5 – Exemplo de fachada com cobogós (SQS 107, bloco A, Brasília, 2014)



Fig. 2.6 – Exemplo de proteção externa do tipo brise métálico, FACE

Para Christakou (2014)¹, um exemplo clássico de aplicação *brise-soleil* (do francês, quebra sol) é o Palácio Capanema (edifício do antigo MEC) no Rio de Janeiro, que foi projetado por Lucio Costa, Afonso Eduardo Reidy, Carlos Leão, Jorge Moreira, Ernani Vasconcellos, Burle Marx e Oscar Niemeyer. O prédio foi primeiramente esboçado pelo

¹ Notas de Aula, FT/ENC, UnB, 2014.

arquiteto franco-suíço Le Corbusier, famoso por seu desenho funcionalista. A fachada do prédio é composta por brises verticais principais e brises horizontais secundários que juntos amenizam o a absorção de calor no interior do edifício e distribuem a luz natural uniformemente até o fundo das salas.



Fig. 2.7 – Palácio Capanema, inaugurado em 1943 (FERRAZ, Folha de São Paulo, 2013)

2.3 Bioclimatologia

A arquitetura concebida pelos irmãos Olgay (OLGYAY, 1963) na década de 60 trouxe à tona a concepção de projeto bioclimático. Desde então o conforto térmico resultante de soluções arquitetônicas vem sendo aperfeiçoado.

Atualmente, para analisar o conforto térmico dentro da edificação, usamos a carta Bioclimática. A Carta Bioclimática foi aperfeiçoada por Givoni (1992) a partir do Diagrama Climático proposto por Olgay, que se limitava a áreas externas. A Carta de Givoni é adaptada para países em desenvolvimento e este foi o modelo adotado para o estudo no Brasil. A Carta Bioclimática relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa do interior do edifício.

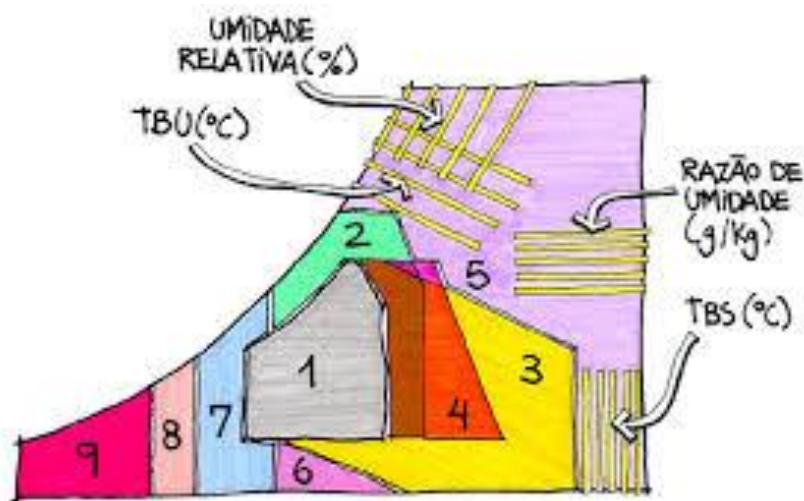


Fig. 2.8 – Carta bioclimática de Givoni (LAMBERTS, 1997)

A carta é dividida em nove zonas:

1. Zona de conforto;
2. Zona de ventilação;
3. Zona de resfriamento evaporativo;
4. Zona de massa térmica para resfriamento;
5. Zona de ar-condicionado;
6. Zona de umidificação;
7. Zona de massa térmica para aquecimento;
8. Zona de aquecimento solar passivo;
9. Zona de aquecimento artificial.

2.3.1 Zona de conforto

Segundo Lamberts (1997) a zona de conforto térmico é alcançada quando a temperatura está na faixa de 18°C a 29°C e a umidade relativa entre 20% e 80%. Esta zona de conforto foi formulada para países tropicais, onde muitas pessoas se vestem com roupas leves e não sentirão desconforto com 29°C se estiver ventilando moderadamente.

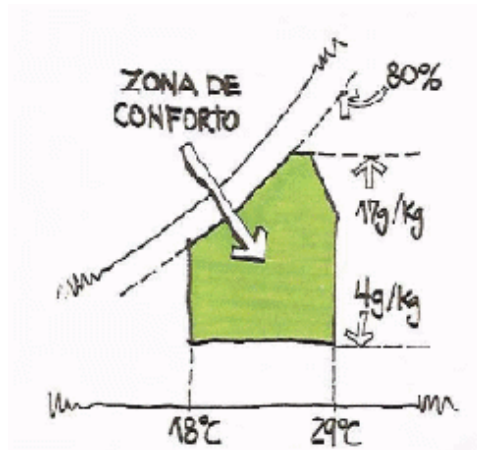


Fig. 2.9 –Zona de conforto (LAMBERTS, 1997)

2.3.2 Zona de ventilação

Quando a temperatura ultrapassa os 29°C e umidade relativa superior a 80%, segundo Lamberts (1997) a ventilação pode melhorar a sensação térmica. Levando em conta que a velocidade máxima de ventilação não deve ultrapassar 2m/s, a eficácia da zona de conforto é comprometida quando a temperatura ultrapassa 32°C, devido aos efeitos da convecção.

Quando a temperatura diurna ultrapassa os 29°C e a umidade relativa é inferior a 60%, o que é freqüente em regiões áridas e semi-áridas, a solução possível é a ventilação noturna. Segundo Lamberts (1997), neste caso deve-se evitar a ventilação durante o dia, quando a temperatura é alta e o ar está quente, e incrementá-la durante a noite, quando a temperatura é mais amena.

Se durante o dia faz mais de 36°C a ventilação noturna não é mais suficiente, porém não deve ser descartada, mas agregada ao resfriamento evaporativo e massa térmica, sendo necessário o uso de ar condicionado. Quando faz menos de 20°C é recomendado que não haja ventilação, pois assim o desconforto gerado pelo frio não é intensificado.

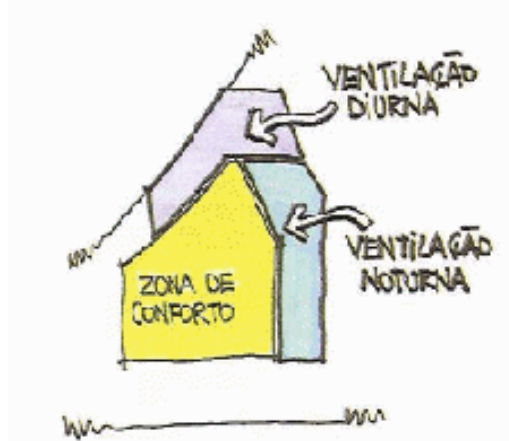


Fig. 2.10 – Zonas de ventilação diurna e noturna (LAMBERTS, 1997)

2.3.3 Zona de resfriamento evaporativo

A evaporação da água é uma reação endotérmica, isso é, para passar do estado líquido para o estado gasoso a água absorve calor do ambiente, e este é refrigerado. Este resfriamento pode ocorrer não só na presença de água, mas também com a presença de vegetação através de seu processo de evapotranspiração. Segundo Lamberts (1997) um projeto que usa resfriamento evaporativo em espaços interiores, como piscinas ou jardins internos, é necessária ventilação contínua para que não se acumule umidade dentro da casa provocando efeitos adversos. A zona abrange temperaturas entre 20°C e 44°C.

Uma forma indireta de usar o resfriamento por evaporação em coberturas ou casas de um pavimento é usar reservatórios sombreados pelo telhado e em cima da laje para que sua evaporação reduza a temperatura resfriando o ambiente internamente consequentemente.

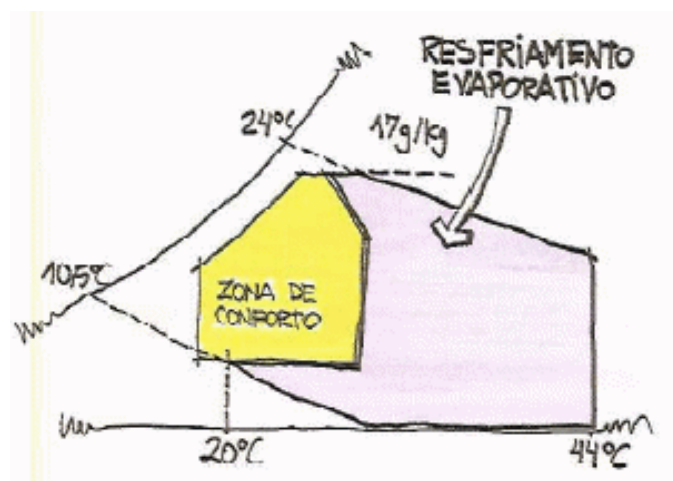


Fig. 2.11 – Zona de resfriamento evaporativo (LAMBERTS, 1997)

2.3.4 Zona de massa térmica para resfriamento

Como já foi abordado neste trabalho, o uso da massa térmica pode neutralizar picos de temperatura em regiões bioclimáticas com uma grande variação de temperatura diária. Segundo Lamberts (1997) o calor retido pela estrutura térmica da edificação durante o dia é emitido ao ambiente interno lentamente à noite, quando a temperatura é mais baixa. Já durante o dia, o fechamento possuirá uma temperatura menor que a externa, devido sua perda de calor noturna, amenizando o calor transmitido para dentro do edifício.

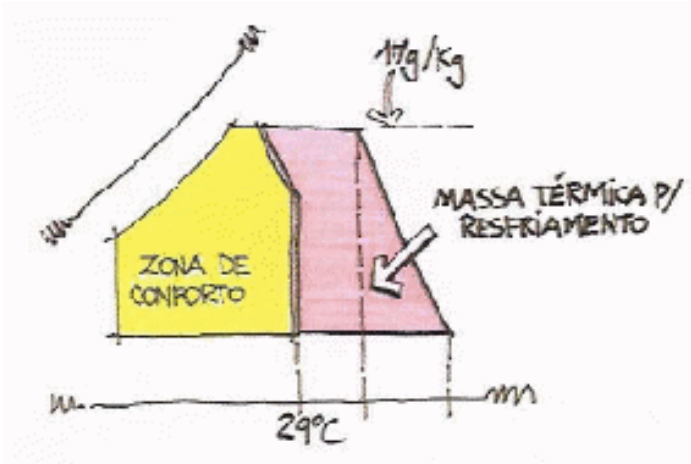


Fig. 2.12 – Zona de massa térmica para resfriamento (LAMBERTS, 1997)

2.3.5 Zona de ar-condicionado

Segundo Lamberts (1997), zonas de ar-condicionado apresentam condições extremas de temperatura e umidade, sendo necessário o emprego de climatizadores artificiais. O uso de ar-condicionado pode ser amenizado pelo uso de fechamentos com elevada da massa térmica e também projetos que levam resfriamento por evaporação. O uso de ar-condicionado é necessário quando a TBS é superior a 44°C e a TBU maior que 24°C.



Fig. 2.13 – Zona de ar-condicionado (LAMBERTS, 1997)

2.3.6 Zona de umidificação

A zona de umidificação ocorre quando a umidade relativa do ar é baixa e a TBS está entre 27°C e 20°C. Para promover o conforto do usuário, o projetista pode adotar recipientes com água e também hermeticidade das aberturas, para reter a umidade gerada no interior. O aumento da umidade do pode promover também o resfriamento evaporativo, que pode trazer sensação de frio ao usuário. Segundo Lamberts (1997) deve-se manter uma baixa taxa de renovação do ar para que a taxa de evaporação não seja elevada, evitando que a temperatura diminua. A figura 2.14 situa a zona de umidificação.

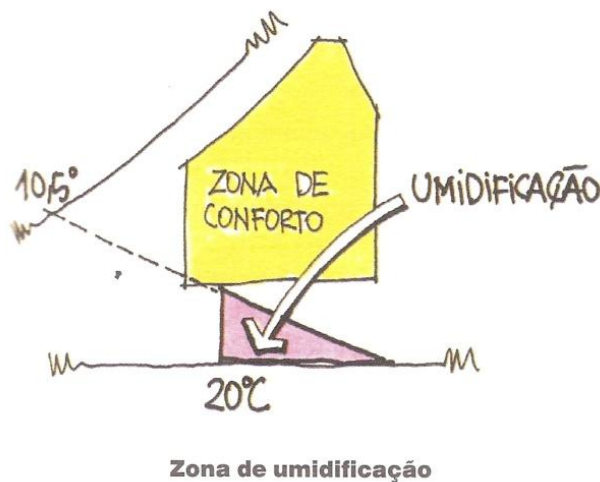


Fig. 2.14 – Zona de umidificação (LAMBERTS, 1997)

2.3.7 Zona de massa térmica para aquecimento

Esta região é delimitada entre TBS de 14°C e 20°C que é mais comum em regiões do sul do Brasil, onde a temperatura pode cair para valores perto de 0°C. Segundo Lamberts (1997), nesta região podem-se usar dois métodos: massa térmica com ganho solar e massa térmica com isolamento térmico.

O primeiro método consiste na transmissão de calor solar armazenado nas paredes durante o dia, compensando as baixas temperaturas de noite. O segundo método prevê o isolamento térmico das aberturas e da cobertura, onde mais se perde calor, retendo o calor produzido pelas pessoas e equipamentos dentro do edifício. A figura 2.15 situa a posição da zona de massa térmica para aquecimento solar.

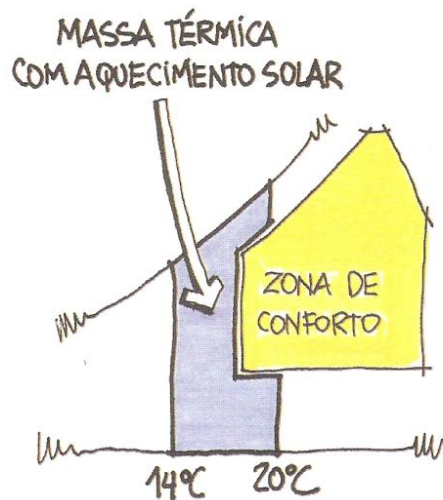


Fig. 2.15 – Zona de massa térmica (LAMBERTS, 1997)

2.3.8 Zona de aquecimento solar passivo

Para zonas ligeiramente mais frias que a zona de massa térmica para aquecimento, cujo TBS está entre 10,5°C e 14°C outros métodos devem ser usados junto aos métodos de massa térmica. Para edifícios nessa região, a entrada de calor deve ser maximizada, e uma forma simples de fazer isso é escolhendo os materiais para o fechamento e também a cor da fachada, evitando cores muito claras. Segundo Lamberts (1997), o edifício deverá incorporar superfícies envidraçadas voltadas ao sol, aberturas devem ser menores nas orientações menos favoráveis e proporções apropriadas de espaços exteriores para conseguir maior exposição ao inverno.

No Brasil, o inverno implica em uma incidência solar preponderante na fachada norte, e para aproveitar melhor esta incidência pode-se aplicar uma técnica arquitetônica chamada parede *Trombe*. Esta técnica consiste em usar fechamento opaco junto ao fechamento transparente, onde as ondas curtas (ultravioleta), irradiadas pelo sol, atravessam o vidro e são parte absorvidas pelo fechamento opaco e parte é refletida. A parte refletida não volta para o ambiente externo, pois como já foi abordado, o fechamento transparente é opaco para ondas longas (infravermelho). A parede *Trombe* pode ser ventilada ou não, a figura 2.16 ilustra o funcionamento da parede *Trombe* ventilada.

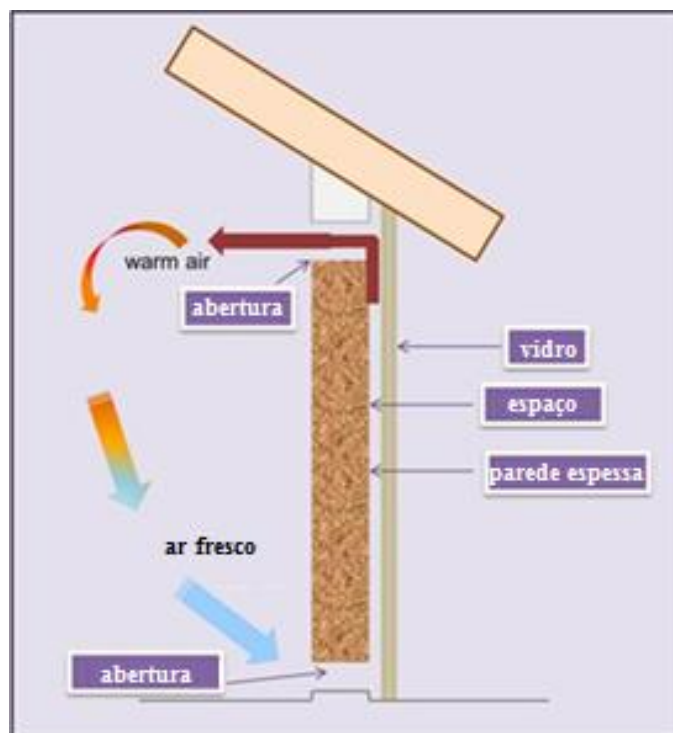


Fig. 2.16 – Parede *Trombe* (adaptado: <http://solar365.com/green-homes/heating-ac/how-vent-thermal-trombe-walls>, acessado em 07/09/2014, 20:00h)

Esta técnica utiliza a massa térmica com aquecimento solar, pois a parte que é absorvida pelo fechamento opaco é liberada continuamente durante a noite. A parte refletida pelo fechamento opaco pode ser repassada ao interior com maior eficiência quando a parede *Trombe* é ventilada.

Outra forma de usar o aquecimento solar passivo é o uso de aberturas zenitais controláveis, ou seja, que podem ser fechadas ao final do dia, retendo ainda mais calor com o aumento de camadas que levam até a superfície externa. Coletores de calor no telhado e estufas são outras formas de maximizar a absorção total de calor do edifício. A figura 2.17 situa a posição da zona de aquecimento solar passivo.

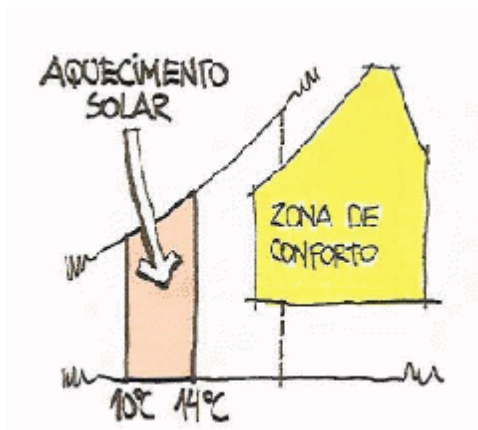


Fig. 2.17 – Zona de aquecimento solar passivo (LAMBERTS, 1997)

2.3.9 Zona de aquecimento artificial

O uso de aquecimento artificial é essencial em regiões bioclimáticas em que a TBS está abaixo de 10,5°C. Segundo Lamberts (1997), o fato de usar aquecimento artificial não impede de agregar ao projeto do edifício o aquecimento solar passivo e gerar uma economia de energia elétrica considerável. Esta junção de métodos distintos produz eficiência ainda maior para a edificação. A figura 2.18 situa a posição da zona de aquecimento artificial.

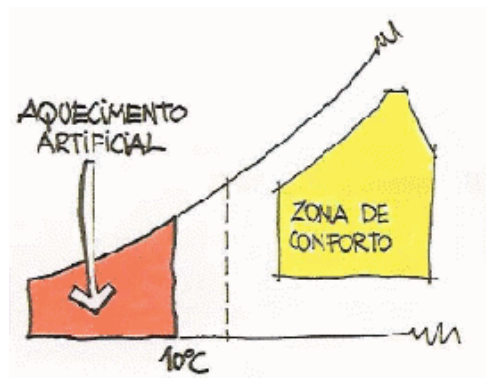


Fig. 2.18 – Zona de aquecimento artificial (LAMBERTS, 1997)

2.3.10 Avaliação climática pelo Ano Climático de Referência (*TRY – Test Reference Year*)

Muitas das capitais brasileiras são monitoradas por aparelhos que medem, de hora em hora, a umidade relativa do ar, temperatura, velocidade e sentido do vento, radiação solar, dentro outras medidas, e tudo isso é coletado para formar um banco de dados que é usado para encontrar o Ano Climático de Referência (TRY). Este é apresentado em forma padronizada, conforme for necessário para a simulação de desempenho em edificações.

O Ano Climático de Referência é obtido através da eliminação dos anos com temperaturas médias extremas, através do processo descrito por Stampers (1977). Em seu método as temperaturas médias mensais, para cada ano do período de registros disponível, são calculadas e examinadas de acordo com a sequência listada. O ano com o mês mais quente é anotado. Depois, o ano que contém o mês mais frio. O processo continua, anotando-se os anos nos quais ocorrem os extremos. Estes anos são, então, eliminados e o procedimento é repetido até restar somente um. Este ano é designado como Ano Climático de Referência.

Conforme explicitado por Lamberts (1997), com o Ano Climático de Referência determinado, informações sobre 8.760 eventos, ou seja, informações de hora em hora são convertidas em bancos de dados que são marcados sobre a Carta Bioclimática, que fornece as informações sobre as estratégias que devem ser adotadas para cada local.

2.3.11 Carta Bioclimática

O edifício que será estudado neste trabalho é o prédio da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FACE), UnB, situado em Brasília, cuja Carta Bioclimática é dada por Lamberts (1997):

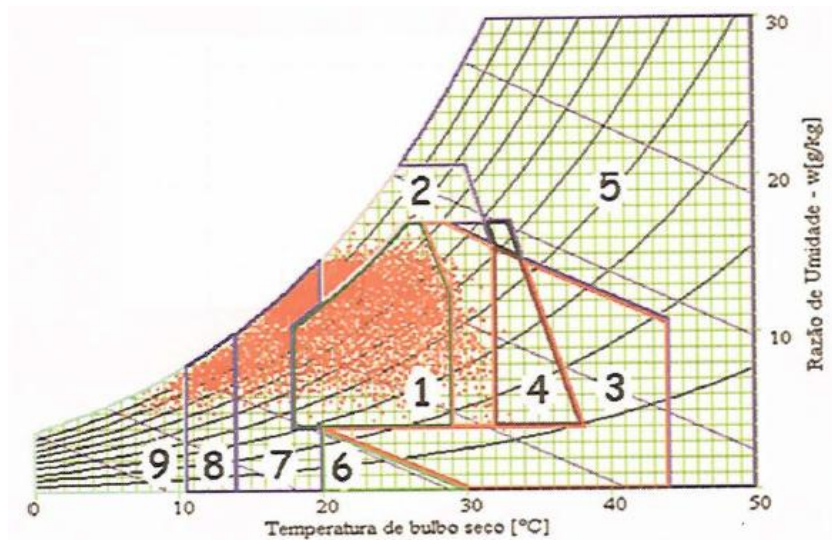


Fig. 2.19 – Carta Bioclimática de Brasília (LAMBERTS, 1997)

A carta pode ser transcrita para uma tabela onde explicita a estatisticamente as estratégias que devem ser adotadas:

Tab. 2.6 – Peso das estratégias bioclimáticas para Brasília em % (LAMBERTS, 1997)

CONFORTO					43,6
DESCONFORTO	Calor	V	12,6	15,2	56,3
		RE	0		
		MR	0		
		AC	0		
		U	0		
		V, MR	0		
	V, MR, RE	2,5			
	MR, RE	0			
	Frio	MA, AS	33,9	41,1	
		AS	6,1		
AA		0,9			

Legenda:

V: Ventilação;
 RE: Resfriamento Evaporativo;
 MR: Massa térmica para Resfriamento;
 AC: Ar-Condicionado;

U: Umidificação;
V/MR: Ventilação/ Térmica para Resfriamento;
V/MR/RE: Ventilação/ Massa térmica para Resfriamento/ Resfriamento Evaporativo;
MR/RE: Massa térmica para Resfriamento/ Resfriamento Evaporativo;
MA/AS: Massa térmica para Aquecimento/ Aquecimento Solar;
AS: Aquecimento Solar;
AA: Aquecimento Artificial;

A Carta Bioclimática de Brasília é considerada por Lamberts (1997) a carta com maior conforto térmico (43,6%) dentre todas as demais. Observa-se que o frio é predominante em relação ao calor, em se tratando do desconforto, que numa razão de 2,7 para 1. As estratégias predominantes são:

- a) massa térmica para aquecimento solar (33,9%);
- b) ventilação (12,6%);
- c) aquecimento solar (6,1%).

Apesar do desconforto devido ao frio ser notório, sabe-se que as temperaturas mais baixas ocorrem durante a noite, que segundo Lamberts (1997) é o período em que temos maior resistência ao frio pelo uso de cobertor. Além disso, o foco deste trabalho é o desempenho energético para um prédio público que tem horários de entre 8:00h e 23:00h, portanto as estratégias de aquecimento solar e de massa térmica para aquecimento serão deixadas de lado. Portanto as estratégias mais adequadas são a ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo.

2.4 O uso das Estratégias em Brasília

2.4.1 Ventilação

Em Brasília a ventilação é muito importante quando o foco é o resfriamento passivo, ou seja, sem o uso de climatizadores artificiais. Segundo Lamberts (1997), quando a estratégia de ventilação é necessária, o edifício deve ser orientado corretamente e empregar recursos que aumentam a permeabilidade das brisas.

A ventilação só é eficaz quando ela atravessa o ambiente interno, chamada de ventilação cruzada. O uso de espaços fluidos que permitem a circulação de ar é muito eficiente e muito atrativo plasticamente.

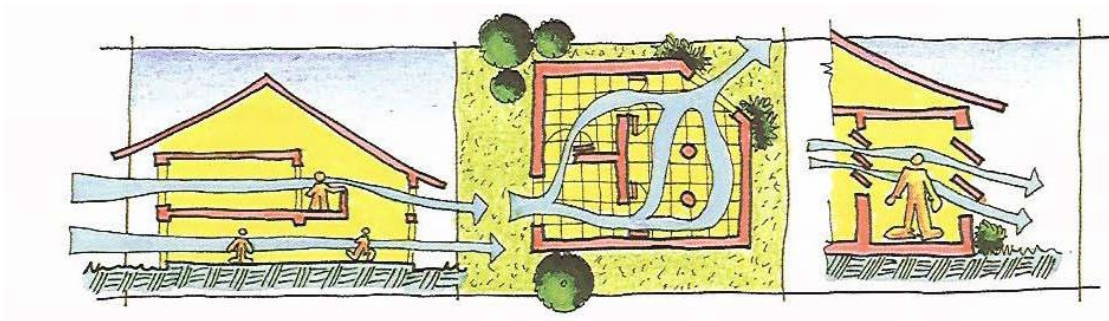


Fig. 2.20 - Espaços Fluidos como estratégia para ventilação (LAMBERTS, 1997)

Outra estratégia de ventilação é a ventilação vertical. O ar quente que fica acumulado na partes elevadas do edifício pode ser retirado quando se cria abertura em diferentes níveis, através de dispositivos como lanternins, aberturas no telhado, exaustores eólicos ou aberturas zenitais.



Fig. 2.21 – Beijódromo, UnB. Exemplo de uso de ventilação vertical (fonte:www.panoramio.com, acessado em 09/07/2014, 20,54h)

2.4.2 Resfriamento Evaporativo

Uma forma eficaz de amenizar o calor usando o resfriamento evaporativo é a destinação de áreas arborizadas ao redor do edifício, que promove uma dissipação da radiação direta pelas folhas parte pela fotossíntese e parte pela ventilação. Segundo Lamberts (1997) este microclima criado ameniza a temperatura no interior do edifício.

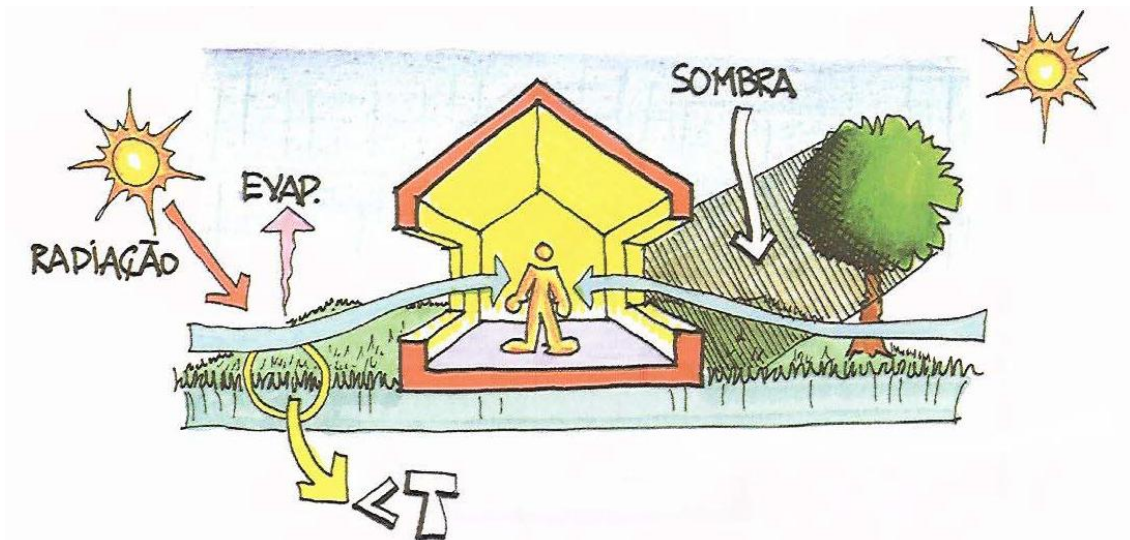


Fig. 2.22 – Resfriamento evaporativo devido às áreas arborizadas externas (LAMBERTS, 1997)

O resfriamento evaporativo pode ser usado também das superfícies edificadas. Lamberts (1997) sugere também o uso de sprinklers que molhem o telhado e também superfícies pavimentadas envolta do edifício. Este método se utiliza da propriedade da água que possui alto calor específico e conseqüentemente diminui a variação de temperatura provocada pelo ganho solar na superfície molhada. Para o telhado devem ser utilizadas telhas cerâmicas não vitrificadas para a melhor absorção da água.

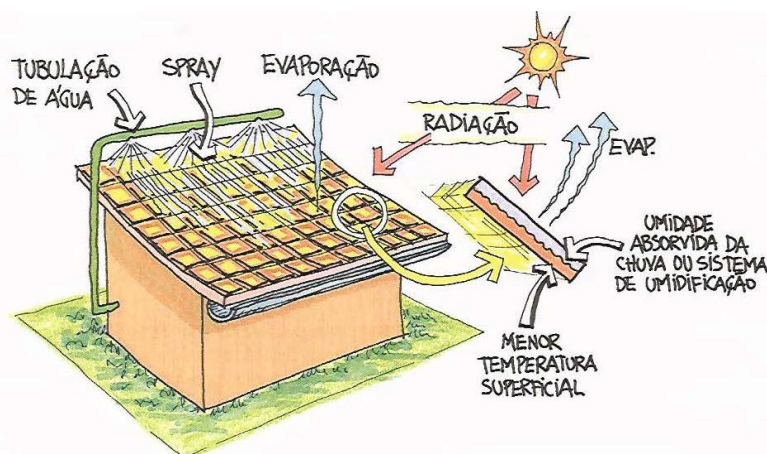


Fig. 2.23 – Resfriamento evaporativo da telha cerâmica do telhado (LAMBERTS, 1997)



Fig. 2.24 – Resfriamento evaporativo através da molhagem da de superfícies pavimentadas (LAMBERTS, 1997)

Outro método que pode ser empregado para o telhado é instalação de um tanque de água ou também de uma jardineira no telhado, que é chamado de resfriamento indireto, como mostra a figura 2.25. Nessas soluções, devem ser tomados cuidados com impermeabilização, com o uso de manta anti-raiz para a jardineira, para as raízes não perfurarem a estrutura causando infiltrações. Para o tanque, uma manta vinílica é uma solução com excelente custo benefício e também ao fato de não ser aderida ao substrato, o que evita dilatações que ocasionam infiltrações. A manutenção deste telhado deve ser feita realizada preventivamente para que patologias sejam corrigidas.

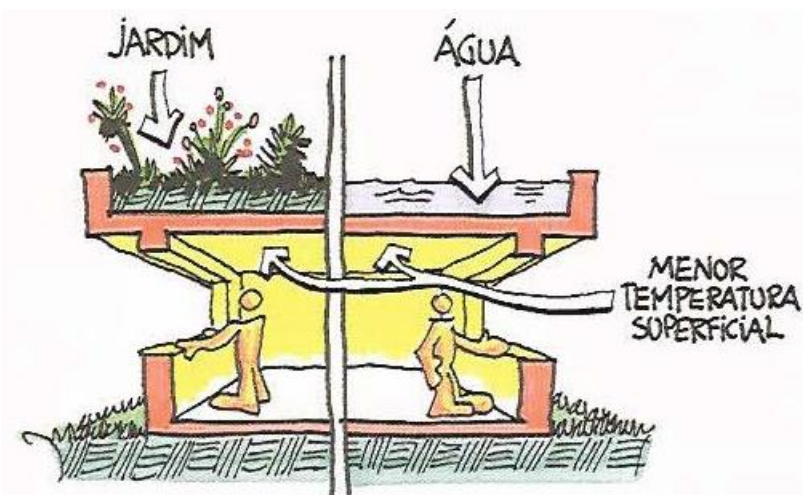


Fig. 2.25 – Resfriamento evaporativo indireto (LAMBERTS, 1997)

Para paredes não é ideal que sejam molhadas, pois pode provocar surgimento de mofo. Uma solução é o uso de superfícies gramadas.

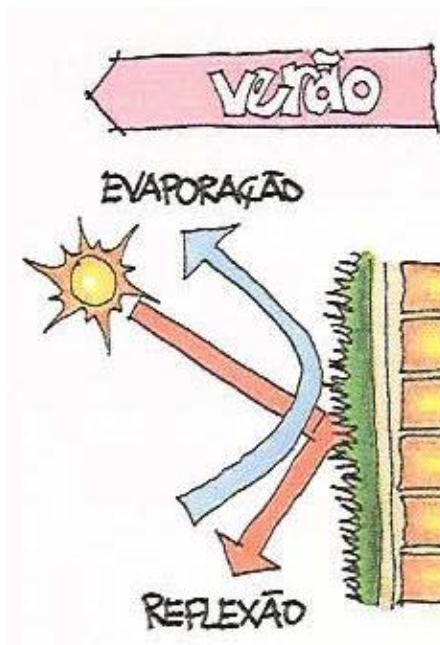


Fig. 2.26 – Resfriamento evaporativo em superfícies de paredes (LAMBERTS, 1997)

2.4.3 Massa térmica para resfriamento

Como já explicado, a massa térmica pode ser usada tanto para aquecer quanto para resfriar, o que difere é a maneira como a radiação solar direta é tratada. Uma forma simples de conseguir os efeitos da massa térmica para resfriamento é com o uso de fechamentos espessos que propiciem uma elevada capacidade térmica, observando também o uso de sombreamento nas aberturas, evitando ganhos de calor desnecessários.

2.5 Normatizações para eficiência energética em edificações

A eficiência energética nas edificações vem ganhando maior atenção das autoridades brasileiras desde a crise do “Apagão” em 2001. Em 2003 foi lançado o PROCEL Edifica (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica voltado para as edificações), que forneceu embasamento técnico para a formulação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que é uma certificação que propõe classificar a eficiência energética das edificações brasileiras, baseando-se no sucesso das certificações internacionais.

As normatizações mais importantes do mundo são a americana LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*- Liderança em energia e Projeto de Ambientes) e a francesa HQE (*Haute Qualité Environnementale*- Alta Qualidade Ambiental) que é representada no Brasil pelo processo AQUA da Fundação Vanzolini.

No Brasil a LEED é a que tem a maior representatividade. Empreendimentos que possuem LEED possuem uma velocidade de ocupação dos imóveis 3,5% superior aos demais empreendimentos nos EUA, desempenho este que também é seguido no Brasil.

O LEED 2009 avalia o edifício desde a construção até sua conclusão, classificando-o em uma escala de 0 a 110 de acordo com sete áreas: implantação sustentável, materiais e recursos, inovação e projeto, eficiência hídrica, eficiência energética e atmosférica, créditos regionais e conforto ambiental. O certificado têm 4 níveis que variam com a pontuação: verde, prata, ouro e platina.

As soluções em eficiência energética do LEED são inovadoras e variam desde o uso de soluções inteligentes de energia como o monitoramento de uso de energia até aparelhos, sistemas e iluminação eficientes, a utilização de fontes renováveis e limpas de energia, gerada on-site ou off-site, grandes áreas envidraçadas nas fachadas para garantir o aproveitamento de luz natural; utilização de vidros de alto desempenho e com baixo fator solar (Fs), dentre outros fatores.

Assim como a LEED, a ENCE é o que há de mais novo em eficiência energética no Brasil. A ENCE é obtida através da avaliação dos requisitos contidos no RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas) através do método descrito pelo RAC-C (Regulamento de Avaliação da conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos).

O RTQ-C aborda o desempenho da envoltória do edifício com as variáveis climáticas, sistemas de iluminação e ar-condicionado. As exigências do RTQ-C devem ser avaliadas por um laboratório de inspeção acreditado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) para indicar em duas etapas de avaliação, etapa do projeto e do edifício construído, a eficiência alcançada pelo edifício. Toda essa avaliação é descrita pelo RAC-C.

Além da RTQ-C, o Brasil possui as normas NBR 15575/2013, Edificações Habitacionais- Desempenho, e a NBR 15520/2003, desempenho térmico de edificações.

A NBR 15520/2003 apresenta maneiras de calcular a resistência térmica, transmitância e capacidade térmica para cada tipo de material, além de fazer recomendações de estratégias para edificações para cada uma das zonas bioclimáticas. Além disso, a NBR 15520/2003 faz recomendações arquitetônicas para as diferentes zonas Bioclimáticas. Para Brasília é recomendado o uso de aberturas para ventilação médias e com a aplicação de sombreamento, as vedações externas devem ser pesadas (uso de massa térmica de resfriamento) e a cobertura deve ser leve e isolada. A norma também comenta brevemente sobre as três estratégias bioclimáticas já abordadas neste trabalho para a região de Brasília que são: ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo.

A NBR 15575/2013 é uma norma que aborda o desempenho térmico, acústico, lumínico, de segurança ao fogo, e também o desempenho térmico. O desempenho térmico é

voltado para fechamentos e cobertura para edifícios destinados às habitações com no máximo cinco pavimentos.

Na NBR 15575/2013 são dados valores mínimos e máximos de análise global do edifício baseados nos cálculos fornecido pela NBR 15520 para transmitância térmica (U) para valores de absorvância (α), além de valores de capacidade térmica (CT) e abertura para ventilação para vedações externas em cada zona bioclimática. Para vedações verticais externas em Brasília, são recomendados: para $\alpha \leq 0,6$ necessita-se de um $U \leq 3,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, e quando $\alpha > 0,6$ um $U \leq 2,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. A capacidade térmica de $CT \geq 130 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$ e abertura mínima de 7% da área de piso. Para coberturas em Brasília, quando $\alpha \leq 0,6$ pede-se um $U \leq 2,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, e quando $\alpha > 0,6$ um $U \leq 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ como está na tabela 2.7.

Tab. 2.7 – Valores máximos e mínimos de parâmetros térmicos para Brasília (NBR 15575/2013)

Vedações Verticais Externas			Coberturas		Aberturas
$CT \geq 130$ $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$A \geq 7\%$ área do piso
	$U \leq 3,7$ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U \leq 2,5$ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U \leq 2,3$ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U \leq 1,5$ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	

Apesar dos esforços para a disseminação de estratégias energeticamente eficientes, ainda há grande negligência e até ignorância na elaboração de edificações no Brasil. Para promover uma maior aceitação dos novos padrões propostos as autoridades poderiam ser mais atuantes, incentivando com estímulos de isenções tributárias e também com o uso de medidas corretivas para levar a indústria da construção civil a um novo patamar mais sustentável.

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho foi voltada para o estudo do edifício e de todas suas características construtivas, para então poder inserir os materiais com suas dimensões corretas no programa. Feito isso, realizou-se a simulação computacional do desempenho de sua envoltória para todas as horas do ano.

Os dados obtidos na simulação foram comparados aos requisitos da NBR 15575/2013, que apesar de ser válida apenas para edifícios residenciais pode ser usada como uma orientação para boas práticas em outros edifícios. Além da norma, outros métodos não normatizados também podem ser utilizados para melhor analisar o conforto térmico no interior do edifício. Dentre eles um destaque para o método da porcentagem de horas ocupadas com conforto (POC).

O método POC pode ser usado com base na proposta de Barbosa (1997), que utiliza a zona de conforto de Givoni (1992), e também com base na proposta de Olgay (1963). Para Barbosa (1997) a temperatura de conforto está dentro da faixa de 18°C a 29 °C, já para Olgay (1963), apenas entre 20°C e 27 °C.

Depois de analisar os dados da simulação, serão propostas alterações que melhorariam o desempenho térmico se tivessem sido implementadas no projeto executivo e também medidas corretivas que ainda podem ser usadas para melhorar o desempenho térmico atual. O fluxograma da figura 2.27 explicita as etapas envolvidas.

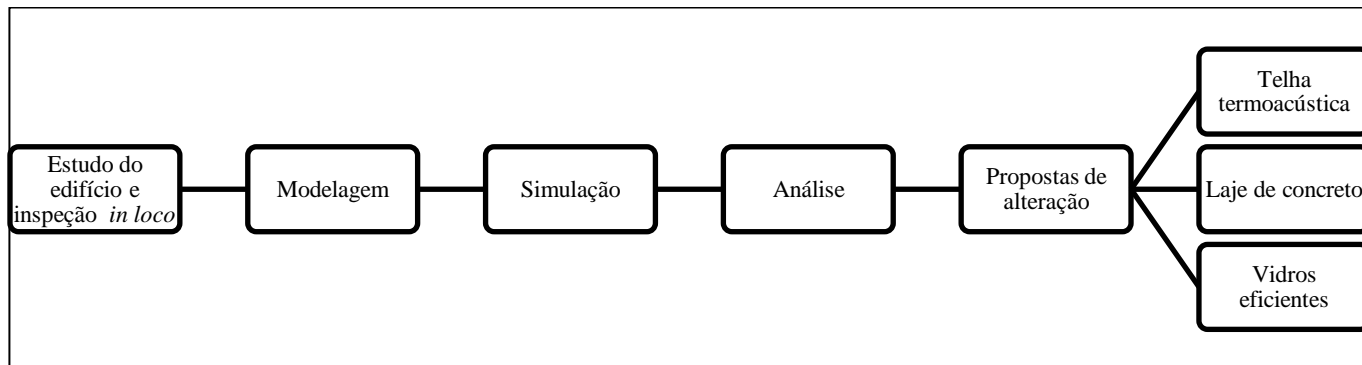


Fig. 3.1 – Fluxograma da metodologia aplicada

3.1 Edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, UnB

Antes de modelar o bloco D da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, UnB, no software *Design Builder*, necessitou-se fazer um levantamento de campo de sua forma, conferindo medidas de projeto e também dos seus materiais.

A cobertura foi o local escolhido para começar os levantamentos dos materiais. Constatou-se o uso de telhas autoportantes de aço galvanizado com cor bege, possuindo baixa absorvância. Cada água desta cobertura vence um vão de aproximadamente 9 m, sendo apoiada em vigas invertidas que foram dispostas na transversal.

Na inspeção foi verificada a ausência de laje de cobertura, havendo apenas uma camada de ar entre as telhas de aço e o forro de gesso das salas de aula. A laje de cobertura é um elemento importante na busca do conforto térmico, pois sua massa térmica e transmitância amortecem variações térmicas no interior do edifício. Na ausência de laje é recomendada a adoção de algum outro elemento que tenha baixa transmitância e que possua massa térmica, um exemplo é a telha termo acústica. A distância entre o forro e a telha varia devido a sua inclinação, possuindo uma distância média de 60 cm.



Fig. 3.2 – Cobertura do bloco D da FACE



Fig. 3.3 – Espaço entre telha e forro no bloco D

A espessura das paredes internas e externas é de 15 cm, composta de bloco cerâmico furado de 10x19x19 cm, e revestimento de reboco, com 2,5 cm de cada lado e pintura acrílica branca.

3.2 Design Builder

O software utilizado na simulação computadorizada da envoltória foi o *Design Builder*®, que modela o edifício para que a máquina de cálculo do software *Energy Plus* ® seja usada. Como foi falado anteriormente, o Energy Plus é recomendado pela NBR 15575/2013.

Após a inserção de todos os dados necessários para a modelagem, o desempenho energético do edifício será verificado e caso insatisfatório, serão propostas soluções de engenharia e arquitetura, desempenhando o objetivo final deste trabalho.

Ao começar um novo projeto, o usuário deve inserir o nome do edifício e sua localização, que no presente caso é Brasília, que fica dentro do *template* padrão do programa.

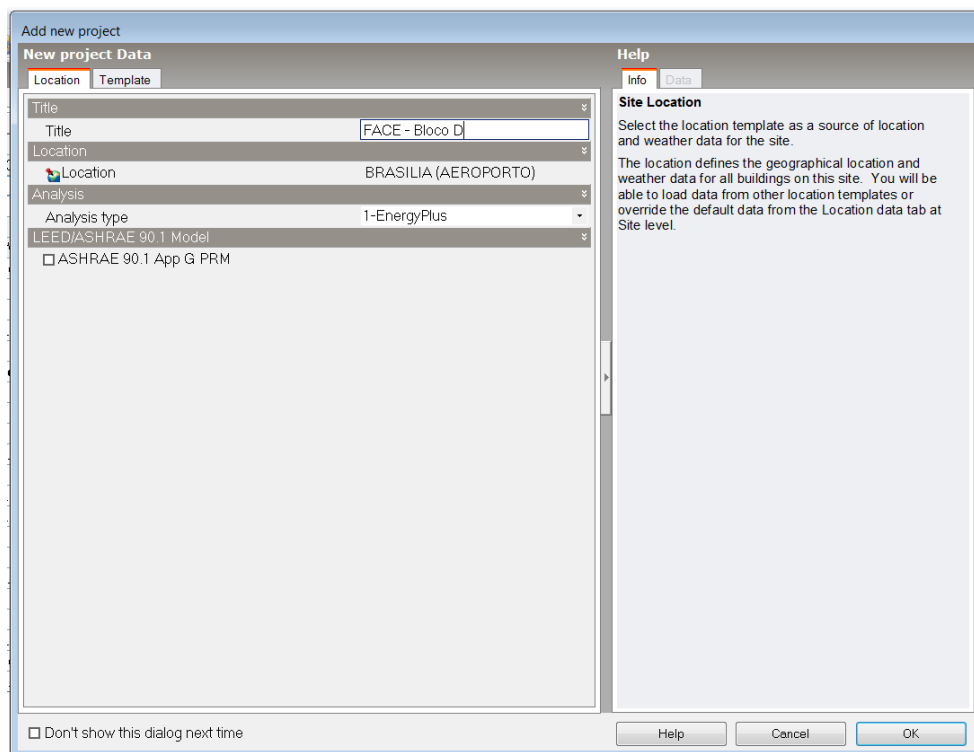


Fig. 3.4 – Primeiros dados do programa (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

Após a familiarização com o programa inicia-se a etapa de modelagem da geometria básica do edifício. Os principais elementos usados no programa são “*block*” e “*component blocks*”

O bloco (do inglês “*Block*”) que é o principal elemento do programa e que engloba elementos como parede, teto, chão, e é onde é feita a simulação de temperatura interna. Os blocos componentes (“*Component Block*”) representam elementos que não terão sua eficiência energética analisada, mas que influirão no desempenho térmico dos blocos, existindo 3 tipos: padrão (“*Standard*”), solo (“*Ground*”) e adiabático (“*Adiabatic*”).

O bloco componente padrão abrange elementos que podem gerar sombra ou bloquear o vento, por exemplo, um brise. O bloco componente solo representa o nível do solo em relação à edificação e calcula as interações térmicas dele com as paredes externas. Já o bloco componente adiabático é um tipo de bloco que não troca calor com os blocos, assumindo para isso que este possui a mesma temperatura do bloco e por isso funciona como um isolamento térmico para o primeiro. O bloco componente padrão tem a coloração rosa, o solo verde e o adiabático vinho.

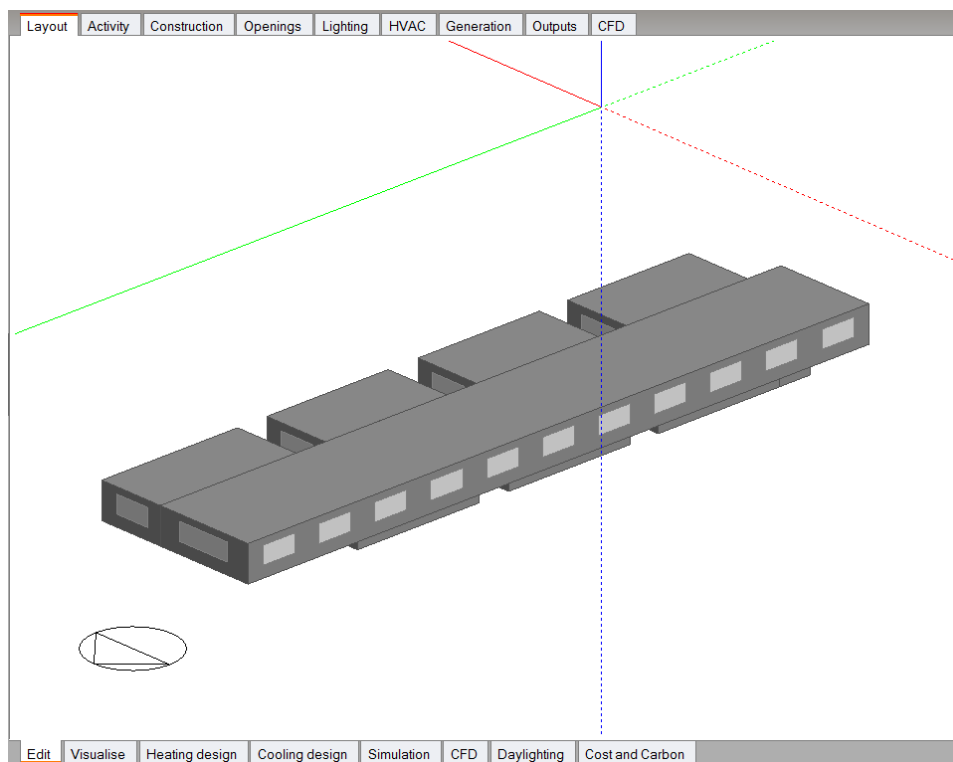


Fig. 3.5 – Inserção de blocos (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

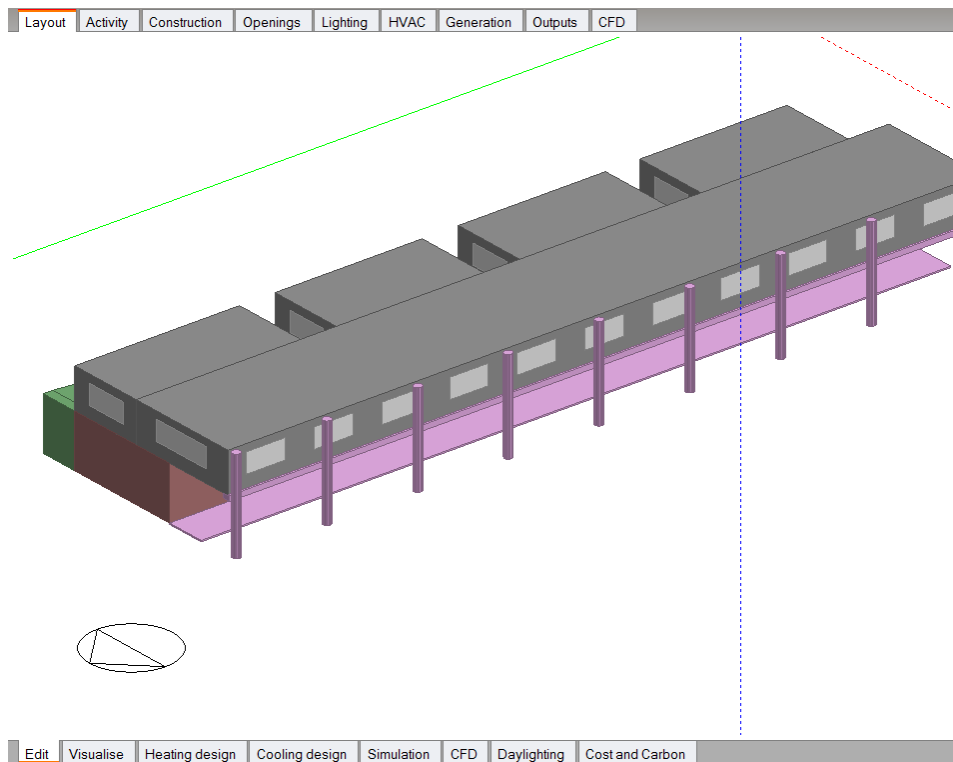


Fig. 3.6 – Inserção de blocos componentes (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

O Norte usado nas figuras 3.4 e 3.5 não diz respeito ao Norte verdadeiro, pois, por questões de praticidade, o acerto da orientação do norte só foi feito após a modelagem da geometria básica.

O auditório do 1º pavimento foi modelado como bloco componente adiabático, pois seu conforto térmico é estabelecido através do uso de ar-condicionado e possuindo duas fileiras de paredes que o isolam térmica e acusticamente dos demais blocos. Os pilares, calçadas e brises foram modelados como blocos componentes padrão, cujo material é argamassa. Os blocos adjacentes ao bloco D foram considerados adiabáticos, para que a única interferência com o bloco D seja através de sombras.

Após a inserção das telhas na cobertura e dos brises do bloco D, inseriu-se também os blocos vizinhos como blocos componentes, para poder simular de forma mais próxima da realidade o comportamento do micro clima da FACE. Depois que toda geometria básica foi lançada, girou-se o modelo para situá-lo corretamente com o Norte.

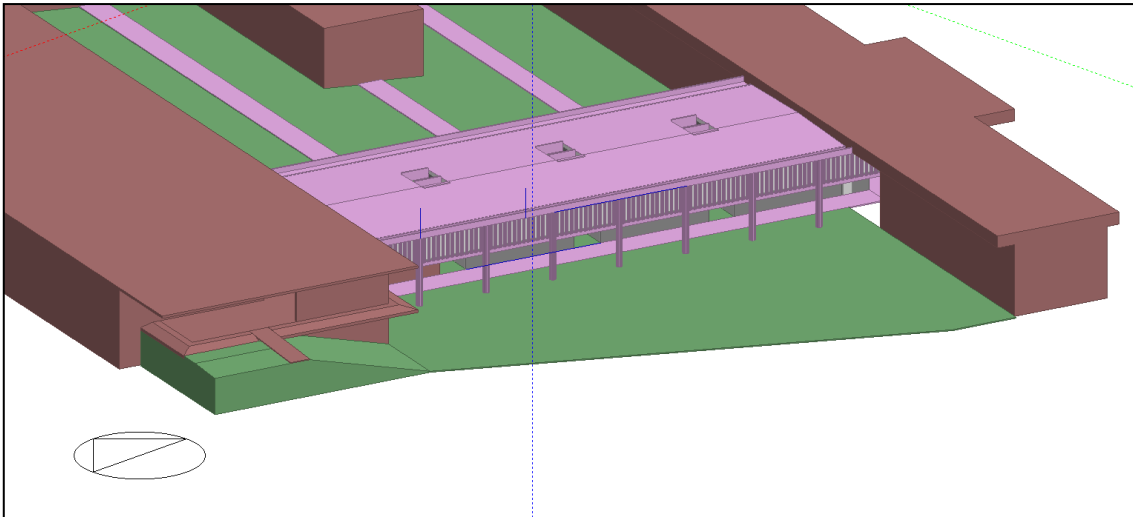


Fig. 3.7 – Geometria básica lançada de acordo com projeto arquitetônico
(fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

No entanto, na ausência de laje, o programa não calcula a troca térmica de um telhado de *component* block com o forro pertencente a um *block*. Portanto precisou-se apagar o telhado modelado e definir a cobertura das salas de aula e laboratórios como se fosse composta por três camadas planas: telhas, ar e gesso.

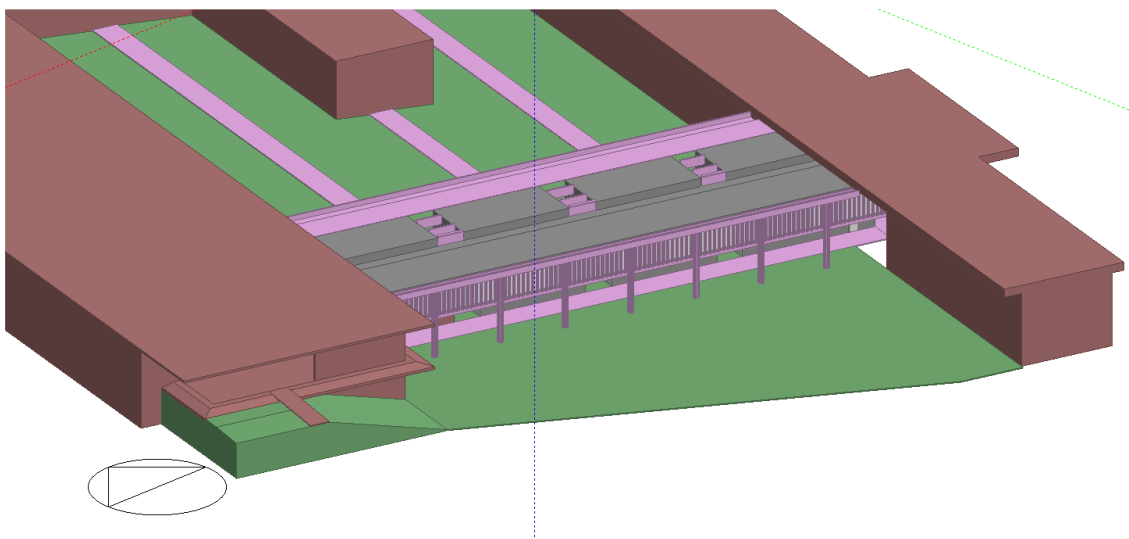


Fig. 3.8 – Adequação do telhado para as trocas térmicas
(fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

As salas de aula, corredor e salas de apoio do 1º pavimento foram agrupadas em um grande bloco e divididas em zonas.

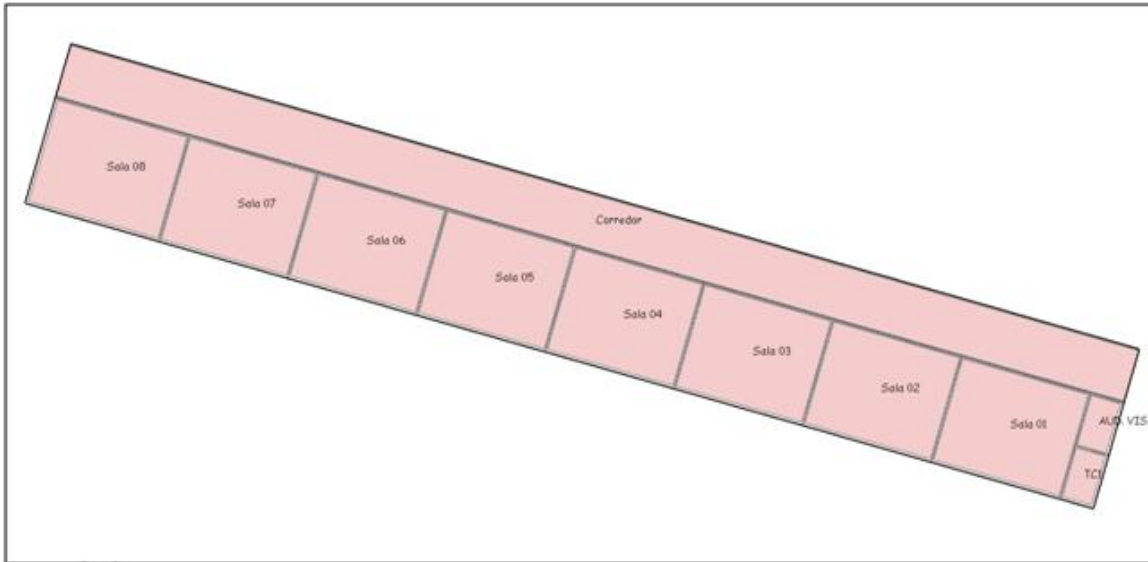


Fig. 3.9 – Salas de aula, salas de apoio e corredor do 1º pavimento
(fonte: *Design Builder V 4.2, 2015*)

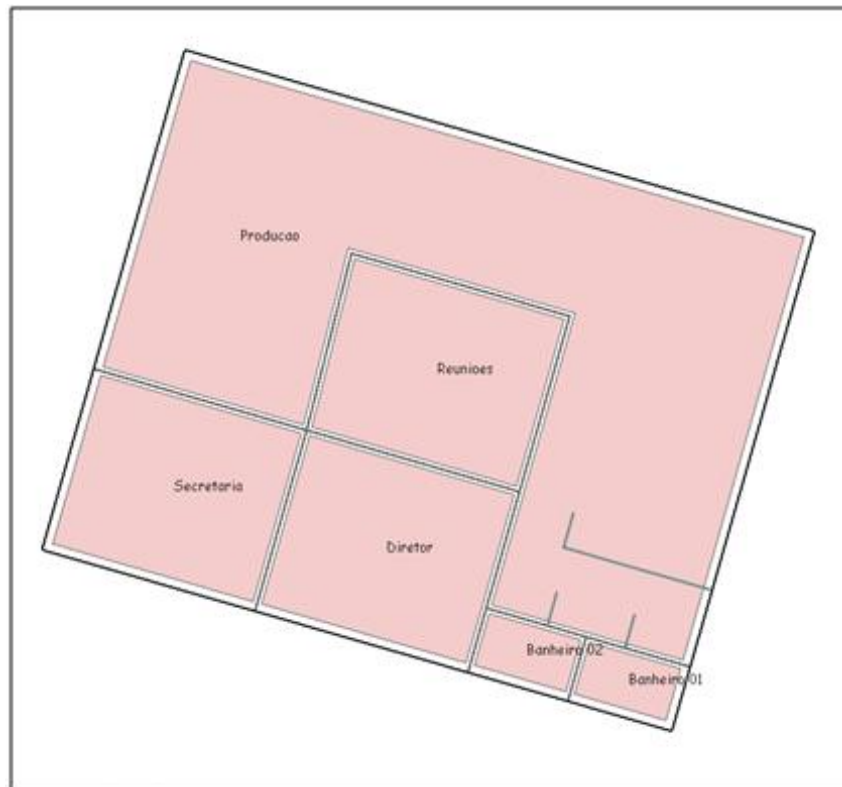


Fig. 3.10 – Zonas climáticas das empresas juniores (fonte: *Design Builder V 4.2, 2015*)

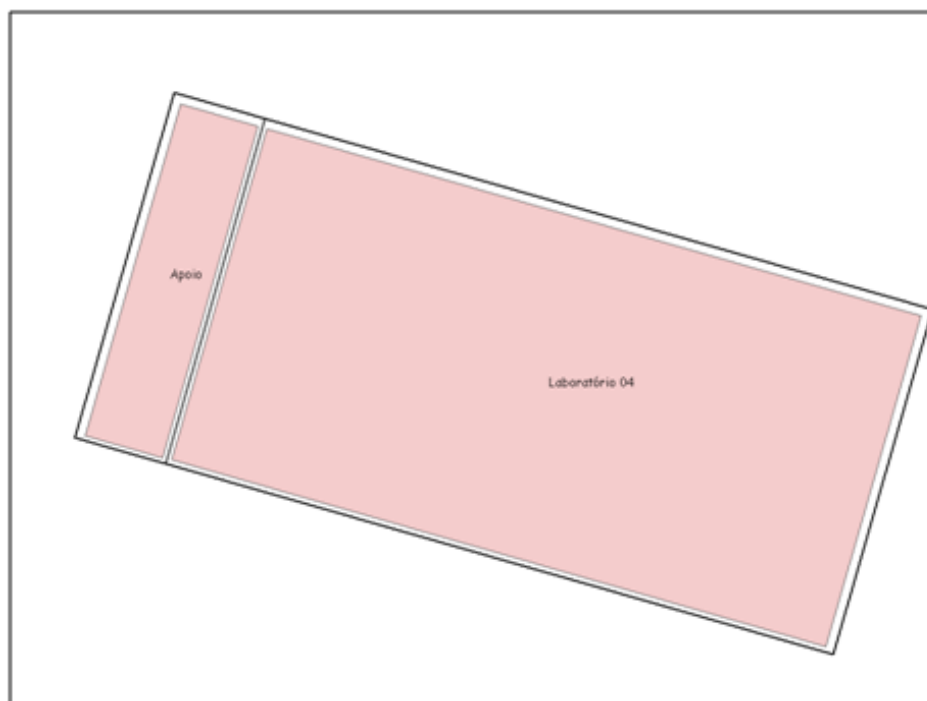


Fig. 3.11 – Laboratório e sala de apoio (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

3.3 Elementos construtivos e materiais

Para calcular as trocas de calor entre os blocos, o programa fornece uma vasta biblioteca de elementos construtivos e materiais, em sua maioria, americanos. No entanto foram criados elementos e materiais próprios para o modelo, para simular o mais próximo da realidade.

Tab. 3.1 – Lista de materiais e suas propriedades térmicas usadas no modelo

Material	Densidade kg/m ³ (ρ)	Condutividade térmica W/m.K (λ)	Calor específico J/kg.K (c)	Absortância (α)	Emissividade (ϵ)	Fonte
Argamassa (reboco e contrapiso)	2000	1,15	1000	0,7	0,9	NBR 15520/2003
Concreto	2400	1,75	1000	0,7	0,9	NBR 15520/2003
Vidro simples	2500	1,00	840	0,15	0,84	NBR 15520/2003
Gesso	850	0,35	840	-	-	NBR 15520/2003
Bloco Cerâmico vazado	766	0,47	700	0,6	-	Calculado
Aço (telha)	7800	55,00	460	0,4	-	NBR 15520/2003
Alumínio (brise)	2700	230	880	0,35	0,3	NBR 15520/2003

3.3.1 Esquadrias

Portas e janelas foram então inseridas no modelo. As portas externas do primeiro pavimento foram modeladas como buracos, de forma a serem consideradas, pelo programa, sempre abertas. Já as portas internas do 1º pavimento e do térreo foram modeladas como abertas 50% do tempo. Todas as portas foram inseridas como portas de madeira padrão (*wodden door*).

Todos os vidros usados no projeto são transparentes. Para modelar o edifício foi usado o vidro descrito pela tabela x, cujos dados foram fornecidos pela NBR 15220/2013. O F_s dos vidros é de 81,9%, comum para vidros transparentes.

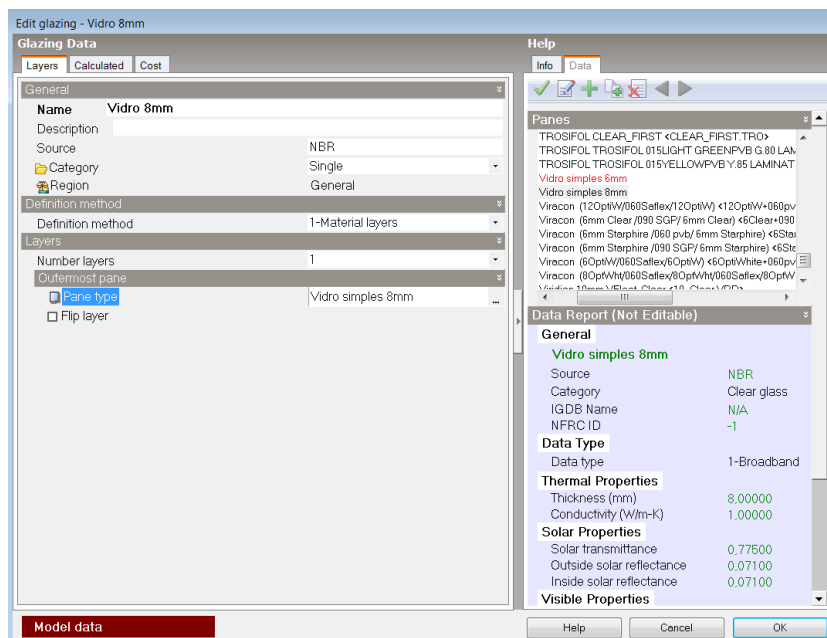


Fig. 3.12 – Dados usados para modelar o vidro (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

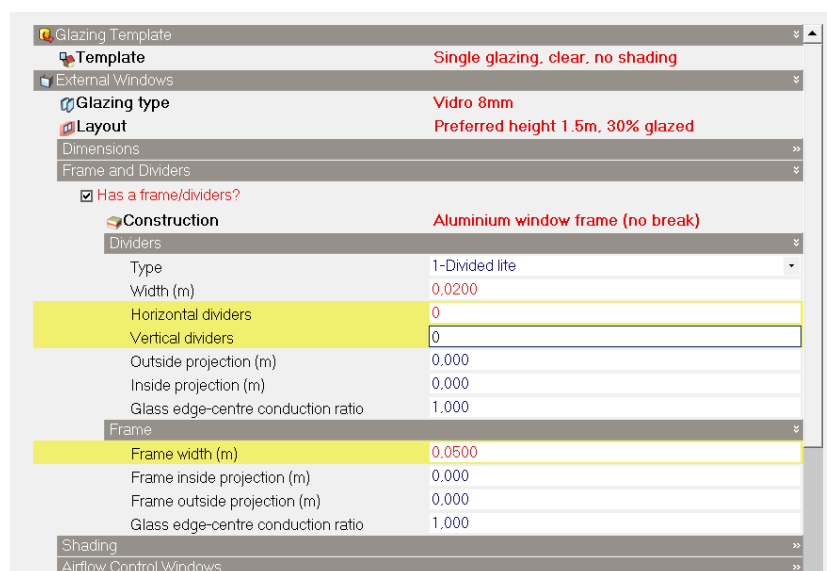


Fig. 3.13 – Dados usados para modelar as divisórias (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

As janelas foram modeladas sem divisórias e com bordas de alumínio de 5 cm. Logo acima das janelas externas, exceto as janelas dos laboratórios, foram dispostas venezianas de alumínio de abas fixas inclinadas. Todas as paredes externas das empresas juniores e centros acadêmicos (térreo) também possuem venezianas. Elas foram modeladas no programa como *vents*.

3.3.2 Alvenaria

A espessura da alvenaria acabada é de 15 cm, sem saber com exatidão as dimensões dos materiais usados, adotou-se para o programa um padrão de 10 cm de espessura de alvenaria de bloco cerâmico vazado com camadas internas e externas de reboco de 2,5 cm mais pintura acrílica branca.

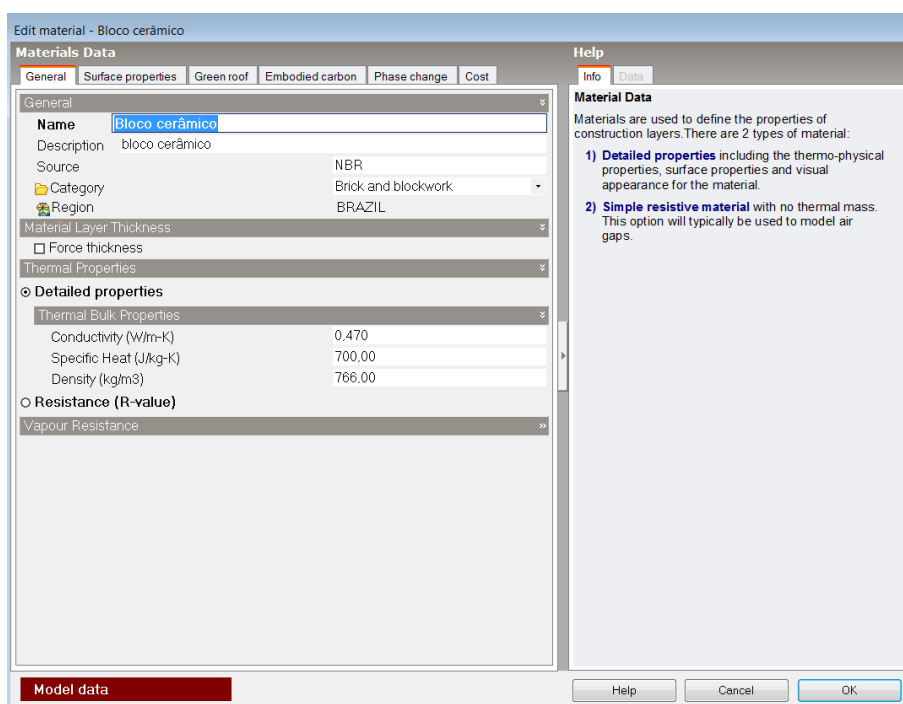


Fig. 3.14 – Inserção de dados do material de bloco cerâmico em alvenaria (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

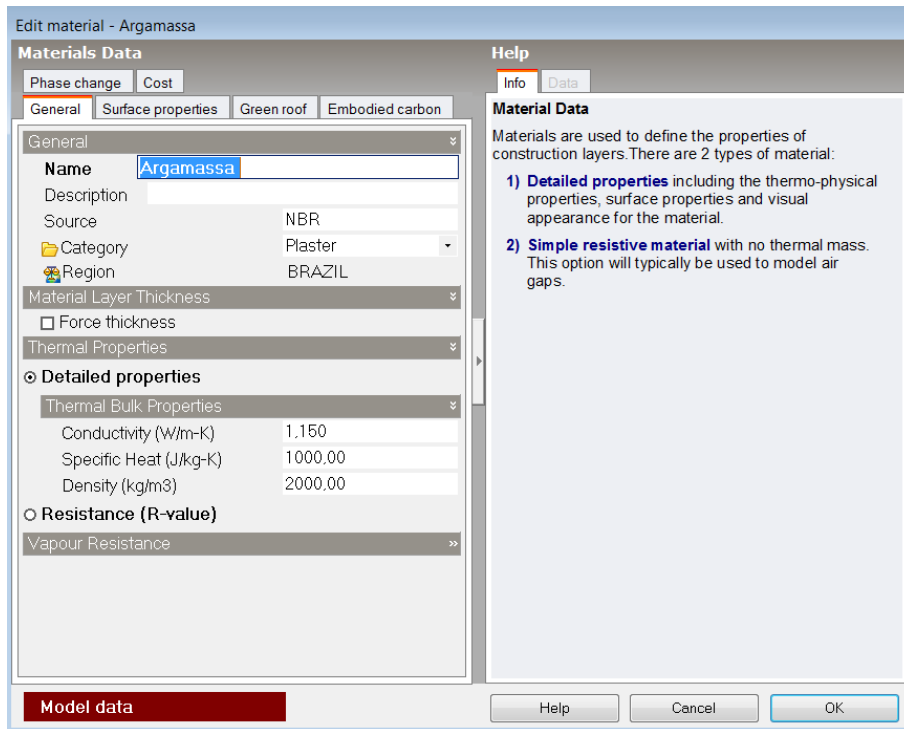


Fig. 3.15 – Inserção de dados de material da argamassa usada como reboco (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

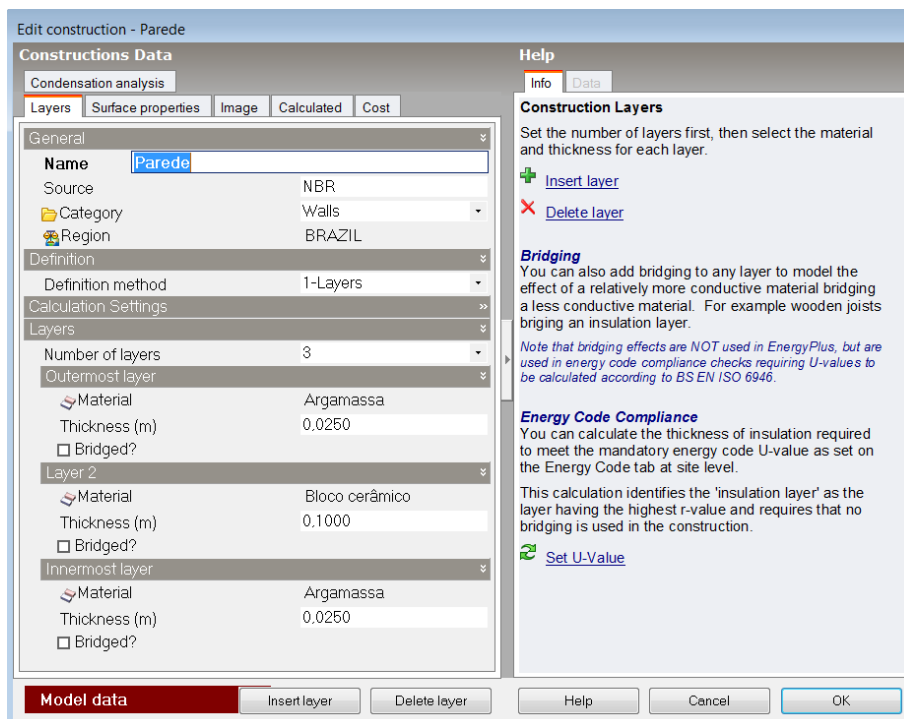


Fig. 3.16 – Inserção de dados dos componentes da alvenaria (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

3.3.3 Brise

As asas do brise foram modeladas separadamente usando *component block* padrão, com os dados térmicos do alumínio e absorvância da cor amarela de 0,35. Sua geometria foi baseada no projeto arquitetônico, que forneceu o detalhamento necessário.

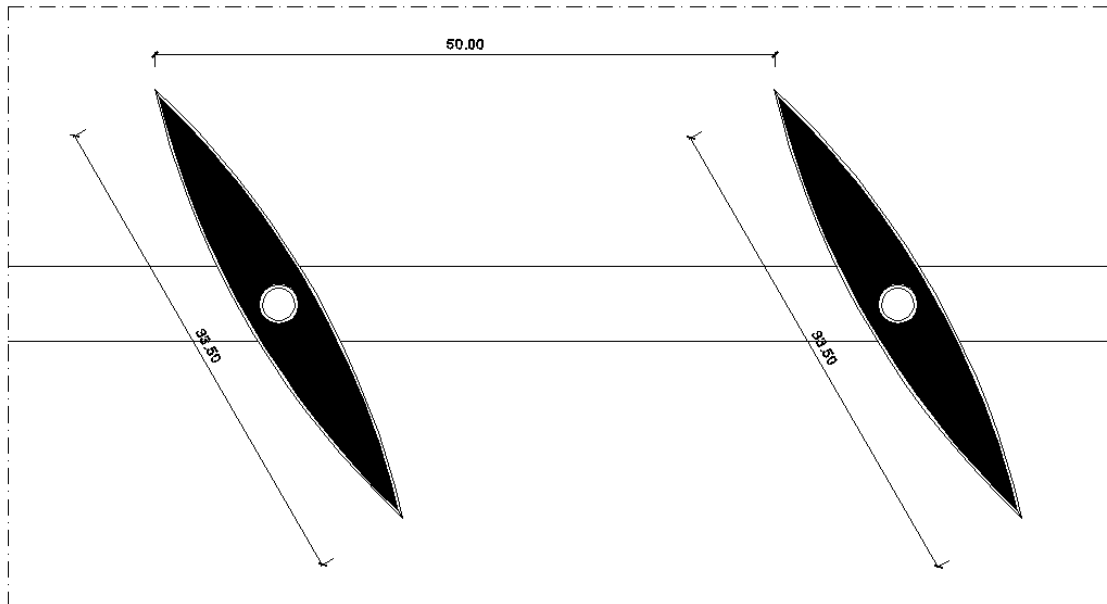


Fig. 3.17 – Detalhe do brise vertical do bloco D, cotas em centímetros (fonte: DGI, UnB)

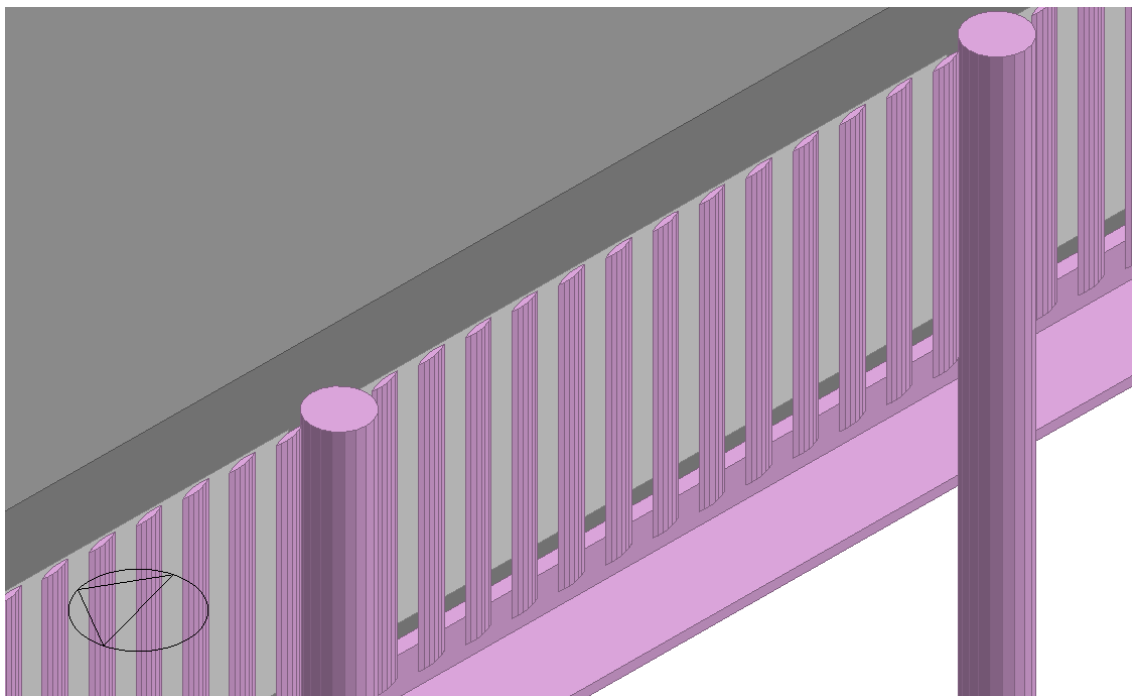


Fig. 3.18 – Geometria do brise modelada no programa (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

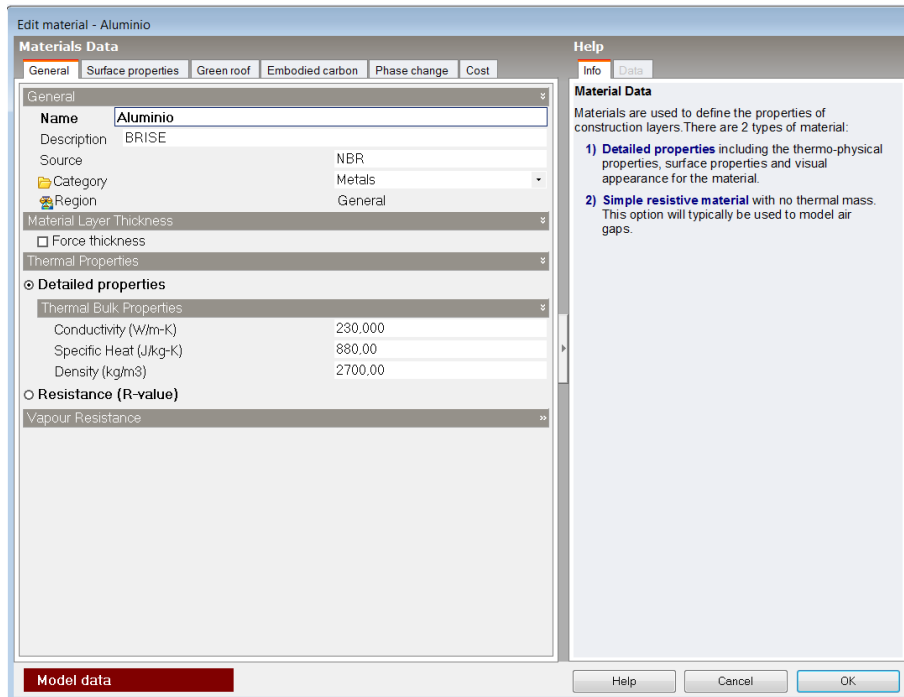


Fig. 3.19 – Inserção de dados do alumínio usado no brise (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

3.3.4 Laje do 1º pavimento

A laje do primeiro pavimento é composta de 15 cm de concreto e 5 cm de contrapiso. Os dados da argamassa do contrapiso foram os mesmos usados para a argamassa do reboco da alvenaria. O concreto precisou ser inserido. O piso do térreo também possui os mesmos materiais, porém com 8 cm de concreto e 2 cm de contrapiso.

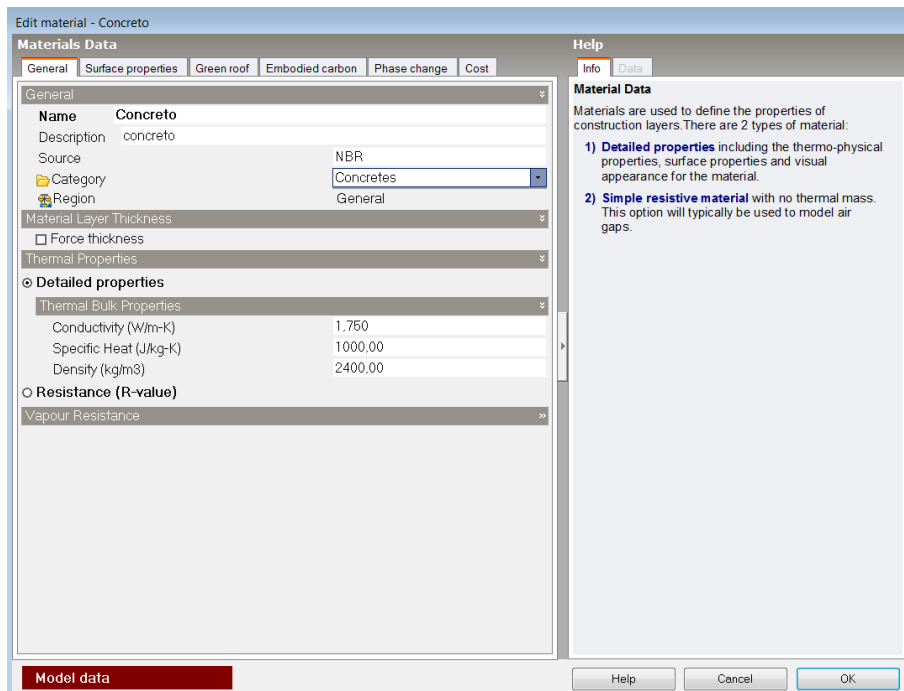


Fig. 3.20 – Inserção de dados do concreto (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

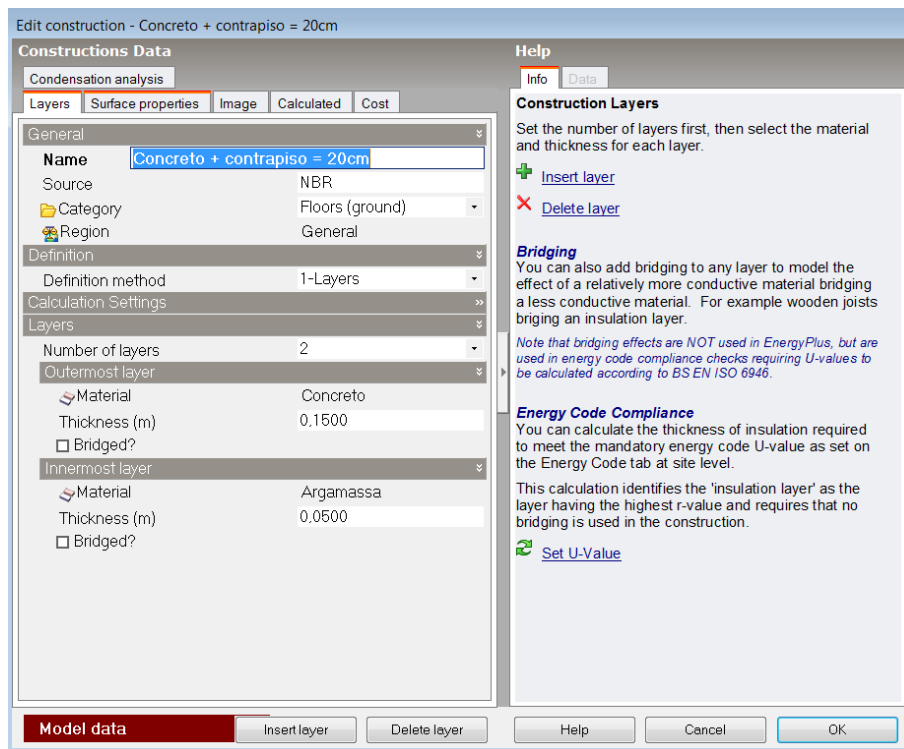


Fig. 3.21 – Inserção de dados da laje do 1º pavimento (fonte: *Design Builder V 4.2, 2015*)

3.3.5 Cobertura

Como foi explicado anteriormente, a cobertura foi modelada como um elemento único de três camadas, composto por telha, ar e gesso. Os dados da telha e do gesso foram inseridos no programa de acordo com a tabela x. Os dados do ar usado no modelo foram fornecidos pela biblioteca do programa e possui resistência térmica de $R = 0,18 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

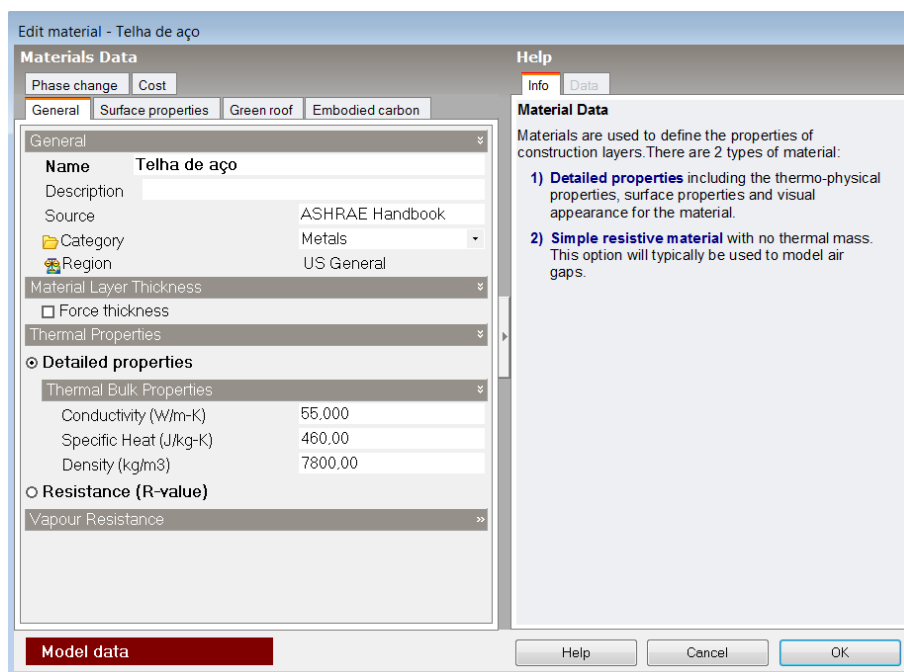


Fig. 3.22 – Inserção de dados da telha de aço (fonte: *Design Builder V 4.2, 2015*)

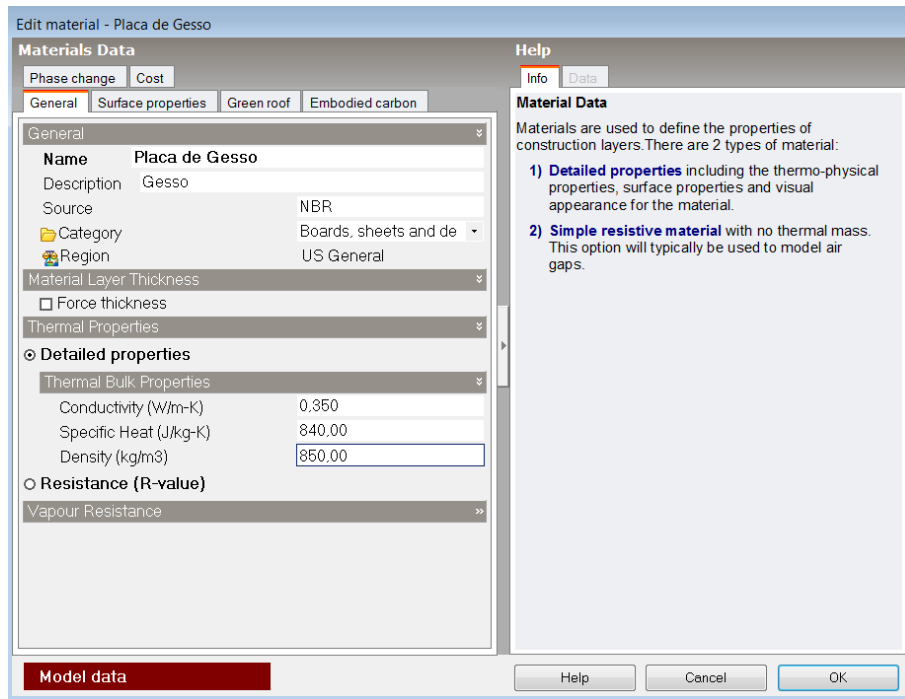


Fig. 3.23 – Inserção de dados do gesso do forro (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

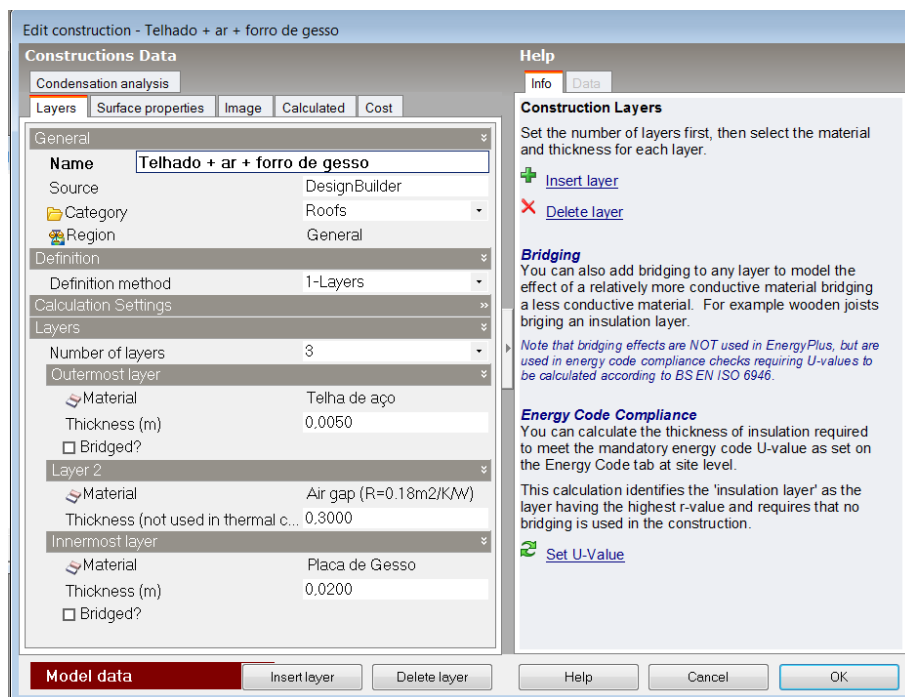


Fig. 3.24 – Inserção de dados da cobertura (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

3.4 Atividades

O desempenho térmico no bloco D da FACE foi modelado sem a consideração de atividades humanas, conforme o item 11.3.1 da norma NBR 15575/2013, que diz:

“O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.”

Para isso foi desabilitado o *template* de atividades, definindo-o como *None*.

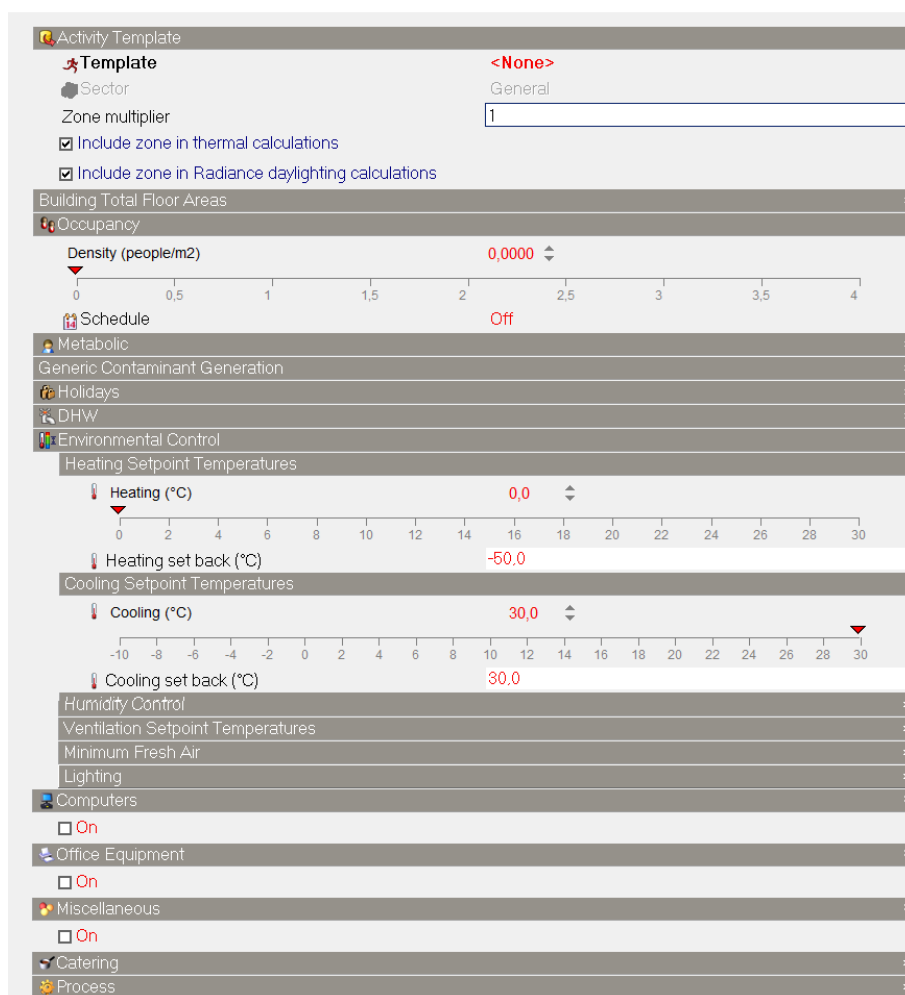


Fig. 3.25 – Atividades humanas desabilitadas (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

Trocas térmicas advindas das luzes, aquecedores e ar-condicionado também foram desativadas na aba de *Lighting* e *HVAC*. Foi definida a renovação de ar a cada hora.

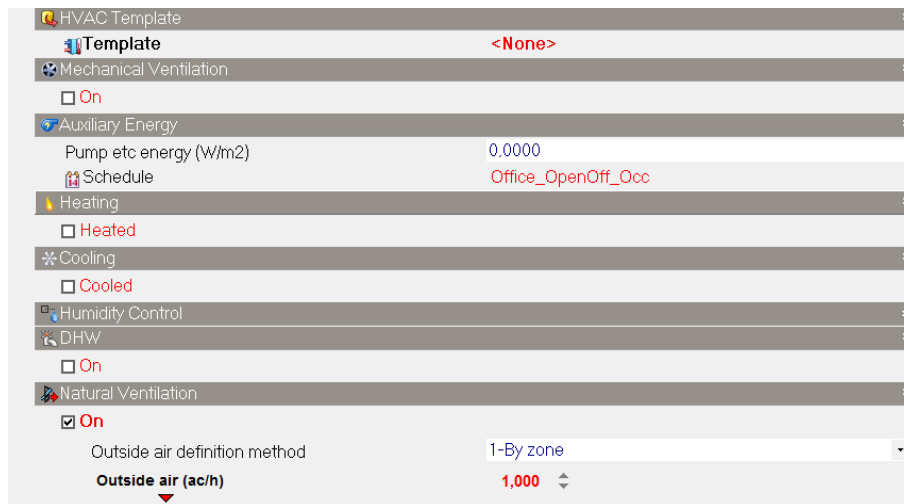


Fig. 3.26 – Desativando o uso de aquecedor e ar-condicionado e definindo a renovação de ar em 1(uma) troca por hora (fonte: *Design Builder V 4.2, 2015*)

3.5 Simulação

Para viabilizar o processamento dos dados, foi necessário ajustar a envoltória do prédio, de forma que o programa não tivesse erros. A maioria dos erros era causada por problemas na iteração entre os *blocks* e *component blocks*.

Com isto, alguns dos *component blocks* que estavam antes inseridos tiveram que ser removidos. Eles foram sendo retirados até que não houvesse mais erros no programa. Desta forma o modelo final ficou diferente do modelo inicial, que representava fielmente cada elemento arquitetônico previsto em projeto.

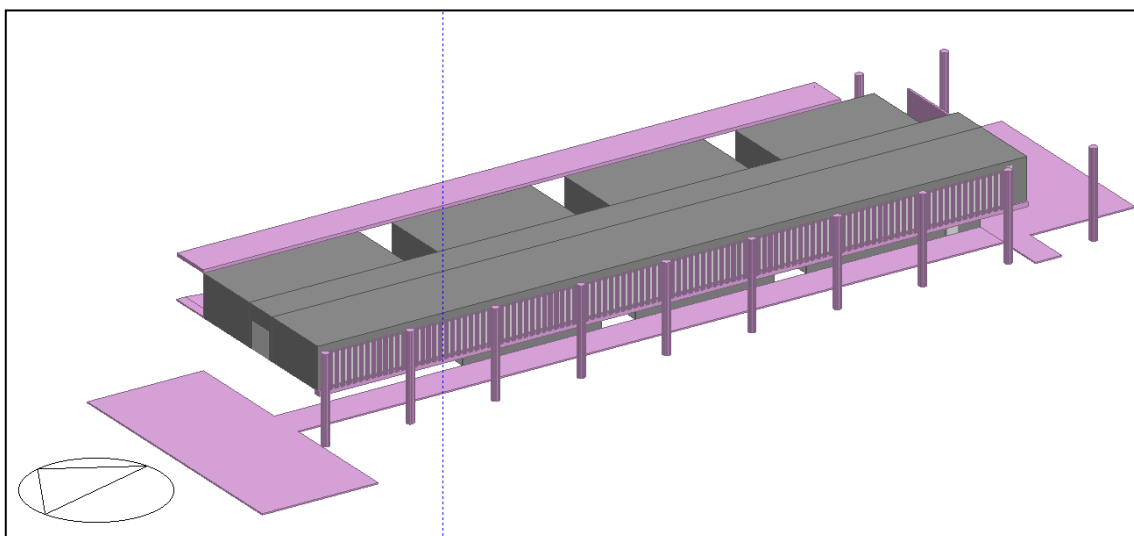


Fig. 3.27 – Projeto final modificado para a simulação (fonte: *Design Builder V 4.2, 2015*)

Não havendo mais erros durante a simulação, a envoltória do bloco D da FACE pôde ser calculada.

4. RESULTADOS

A simulação do programa *Design Builder* é feita pela máquina de cálculo do *Energy Plus*, fornecendo as temperaturas de todas as zonas do prédio a cada hora do ano, possibilitando análises mais profundas sobre o comportamento do edifício. A temperatura interna usada para as análises foi a temperatura operativa, que é ligeiramente superior ao *air temperature* fornecido pelo programa, mas que representa com mais segurança o desempenho interno.

O primeiro dos três gráficos avalia o comportamento das temperaturas internas e externas médias diárias ao longo do ano. A temperatura interna (em verde) apresenta-se ligeiramente superior à temperatura externa (em azul), evidenciando que a temperatura interna é sempre maior que a externa.

No segundo gráfico está descrito os ganhos solares diários (em amarelo) através das janelas e as perdas de calor por infiltração de ar externo (em verde).

O terceiro gráfico mostra a quantidade média diária de ar que é renovado por hora (Ren/h).

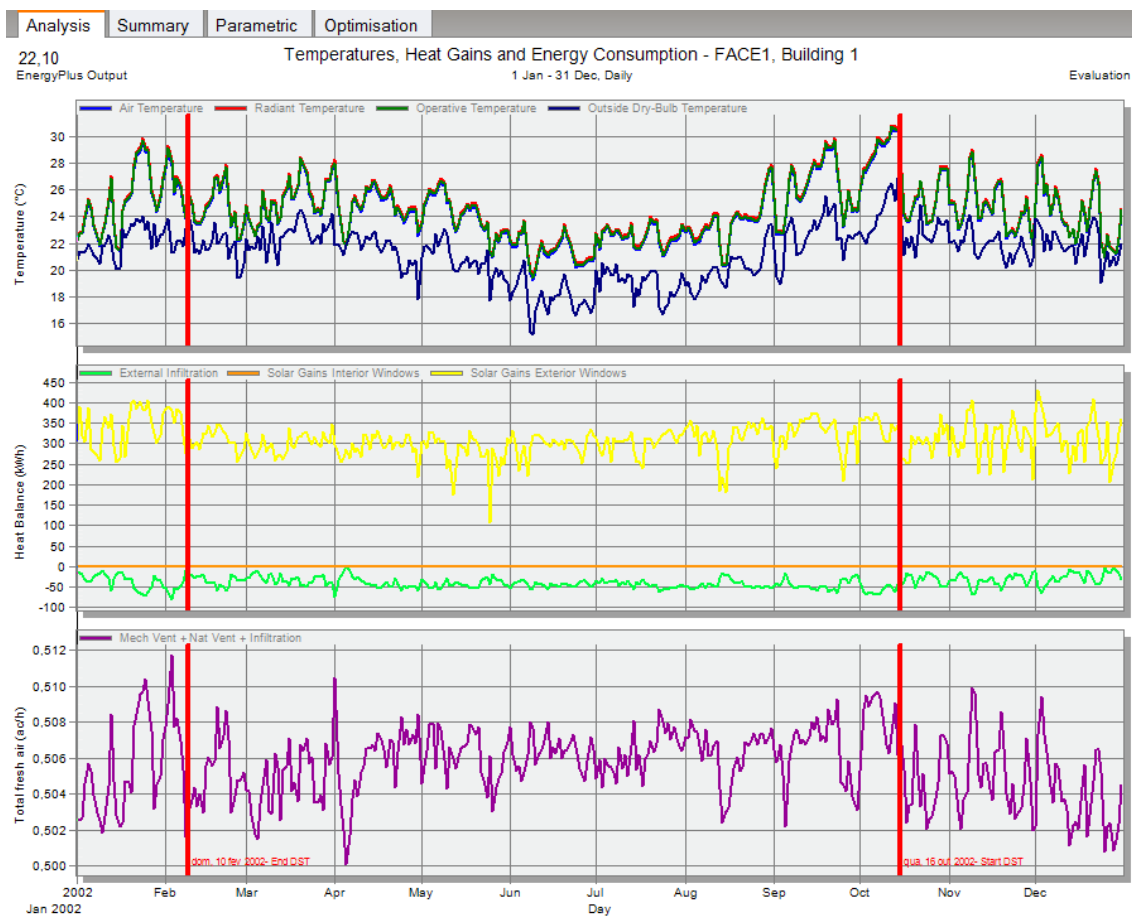


Fig. 4.1 – Gráficos sobre temperatura, entrada de calor e renovação de ar gerados na simulação (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

Para a norma NBR 15575/2013, o requisito mínimo para o desempenho térmico de um edifício habitacional é possuir uma temperatura interna média máxima inferior ou igual à temperatura externa no seu dia típico de verão. Segundo a tabela 2 do anexo A desta norma, a temperatura máxima de um dia típico de verão em Brasília é 31,2 °C. Como já foi mencionado anteriormente, o desempenho térmico no inverno não é objeto de estudo do presente trabalho.

O programa calculou para o edifício uma temperatura máxima diária, no período de 1 ano, de 31,08 °C no dia 12 de outubro. Desta forma, o bloco D está dentro das exigências de desempenho da norma NBR 15575/2013.

Tab. 4.1 – Temperatura interna diária máxima e temperatura do dia típico de verão, segundo NBR 15575/2013

Temperatura interna diária máxima	Temperatura dia típico de verão
31,08 °C	31,2 °C

A norma NBR15575/2013 determina três níveis de desempenho para a edificação, onde a temperatura máxima diária interna é comparada com a temperatura máxima diária externa. Quando a diferença é menor que 2 °C, seu nível é mínimo (M). Quando maior ou igual a 2 e menor que 4 °C é Intermediário (I). Quando é maior que 4 °C é considerado superior (S).

Tab. 4.2 – Critério de avaliação de desempenho da edificação segundo a NBR 15575/2013

Nível de Desempenho da Zona 4*	Critério
M	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$
I	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2 \text{ °C})$
S	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 4 \text{ °C})$

*Zonas climáticas de acordo com a norma NBR 15220-3/2007

No entanto, para este critério, o bloco D não atingiu o nível mínimo, pois todos os dias apresentam temperaturas internas superiores às temperaturas externas.

Outra proposta para avaliar o desempenho térmico do edifício é a porcentagem de horas ocupadas com conforto (POC). O método de Barbosa (1997) propõe uma faixa de conforto que varia entre 18 °C e 29 °C, que é pouco rigoroso, mas é indicado para climas muito quentes. No entanto Brasília está na Zona 4, zona com maior conforto térmico entre as oito zonas. Para os habitantes de Brasília, que estão acostumados com uma temperatura média anual de 21°C, não é comum sentir conforto aos 29 °C como propõe Barbosa (1997). Portanto, para nosso estudo, o método de Olgay (1963) é mais representativo, assumindo conforto entre 20 °C e 27 °C.

Comparando a temperatura interna horária com a faixa de conforto usando o método de Olgay (1963), o bloco D possui 5.721 horas de conforto, que representa 65,3% do total de horas.

Tab. 4.3 – Desempenho térmico do bloco D, segundo Olgay (1963)

Conforto térmico do bloco D segundo Olgay (1963)	
5.938 h	67,8%

Optou-se por avaliar separadamente a POC das salas de aula, utilizando novamente o método de Olgay (1963), pois é um ambiente que requer maior conforto para auxiliar no desempenho das atividades intelectuais e de aprendizado.

Tab. 4.4 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula segundo Olgay (1963).

Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Sala 05	Sala 06	Sala 07	Sala 08
66,2%	65,3%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	64,3%

Analisando o desempenho do bloco das salas de aula constatou-se uma grande entrada de calor pelas janelas durante o ano, totalizando 46,6 MWh.

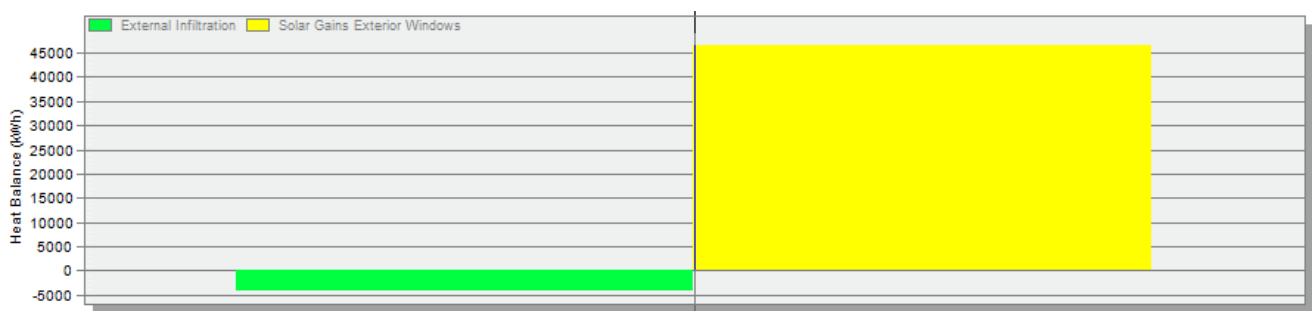


Fig. 4.2 – Entrada e saída de calor, ao longo do ano, no bloco das salas de aula. (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

4.1 Análise

Para o método de Olgay (1963), o edifício e as salas de aula tiveram um baixo desempenho, com o percentuais de horas de conforto inferiores à 70%.

Segundo a figura 3.29, as salas de aula absorvem mais de 46 MWh de calor através de raios solares que entram pelas janelas ao longo do ano. Este valor está alto e é possivelmente uma das causas do superaquecimento das salas de aula. As esquadrias das salas de aula possuem 2,45m de altura e cobrem a extensão de 6,8 m, num total de 16,7 m² de vidro, para uma fachada com 23,7m². Fachadas com grande porcentagem de vidro necessitam de vidros com baixo fator solar (F_s). Como foi tratado anteriormente na seção de esquadrias, os vidros usados são simples, sem nenhuma forma de tratamento para mitigar a entrada solar, possuindo um F_s de 81,9%.

Outro fator importante, porém ausente no projeto é a preocupação do isolamento térmico da cobertura. A construção de uma laje poderia trazer mais conforto térmico aos ambientes do 1º pavimento.

4.2 Propostas de Alteração

Em busca de alterações no projeto que melhorem o desempenho térmico do edifício e principalmente dentro das salas de aula, foram feitas as seguintes propostas:

1. Troca das telhas de aço zincadas por telhas termoacústicas. Verificar o desempenho térmico do edifício e salas de aula pelo método POC segundo Olgyay (1963).
2. Inserção de laje de concreto simples na cobertura e realizar a simulação. Verificar o desempenho térmico do edifício e salas de aula pelo método POC segundo Olgyay (1963).
3. Troca de todos os vidros de janelas externas (que eram simples, 8mm de espessura e $F_s = 81,9\%$) por vidros de baixo fator solar (F_s) e realizar simulação. Verificar o desempenho térmico do edifício e salas de aula pelo método POC segundo Olgyay (1963).

4.2.1 Troca das telhas de aço zincadas por telhas termoacústicas de EPS

O tipo de telha termoacústica escolhida foi de EPS, do fabricante MBP. Para escolher a espessura mais apropriada, é necessário saber a distância entre as vigas de apoio. Segundo o fabricante, as telhas termoacústicas que usam chapas de aço de 0,5 mm de cada lado, com sua altura máxima de 15 cm, estando bi-apoiada pode vencer um vão máximo de 5,49m à uma carga de 50kgf/m² (NBR 6120/1980). No projeto do bloco D da FACE, o maior vão possui 5,5m, permitindo o uso das telhas apenas de 15 cm.

Tab 4.5 – Vãos suportados por telhas termoacústicas de EPS, em relação ao número de apoios, espessura e carga aplicada (fonte: Catálogo MBP – coberturas e fechamentos)

Espessura (mm)	EPS = 50 mm			EPS = 75 mm			EPS = 100 mm			EPS = 125 mm			EPS = 150 mm		
	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
50 kgf/m ²	264	264	295	350	350	392	424	424	475	490	490	548	549	549	614
75 kgf/m ²	216	216	241	286	286	320	347	387	387	400	400	447	448	448	501
100 kgf/m ²	187	187	209	248	248	277	300	336	336	346	346	387	388	388	434
125 kgf/m ²	167	167	187	222	222	248	268	300	300	310	310	346	347	347	388
150 kgf/m ²	152	152	170	202	202	226	245	274	274	283	283	316	317	317	354

A telha termoacústica foi modelada com o *template* de EPS já disponibilizado na biblioteca do programa, com nome de *EPS Expanded Polystyrene (lightweight)*, com espessura de 15 cm e fechada por chapas de aço de 0,5 mm pintadas de branco.

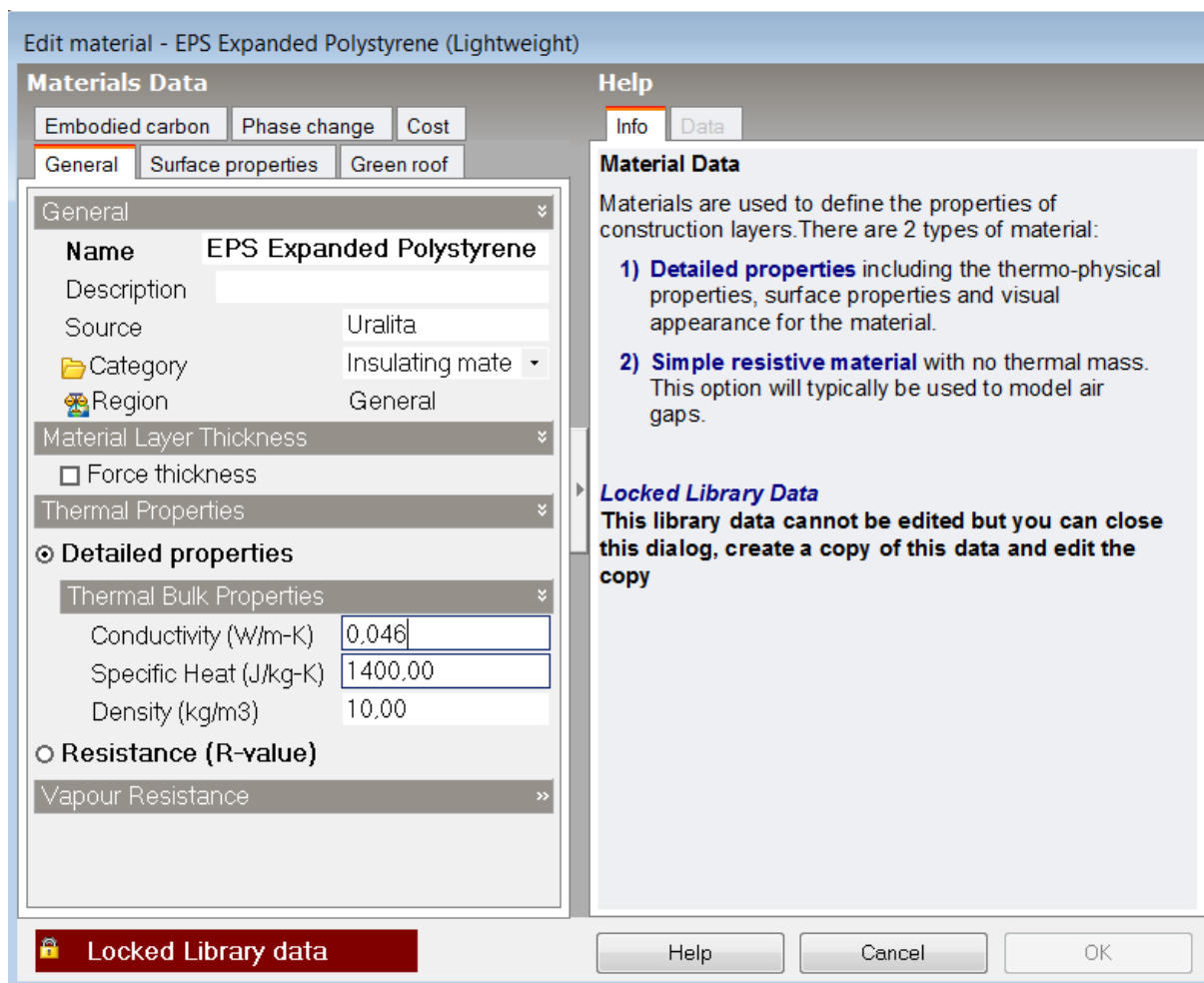


Fig. 4.3 – Definição do material de enchimento das telhas termoacústicas
(fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

Após a troca das telhas é realizada a simulação. Analisando o desempenho térmico pelo método POC com a premissa de Olgay (1963), encontrou-se conforto em 6.476 horas, 73,9% do total. Houve um acréscimo de 755 horas de conforto em relação ao projeto original, que representa um aumento de 6,1 pontos percentuais do total de horas de conforto.

Tab. 4.6 – Desempenho térmico do bloco D com a troca das telhas, segundo Olgay (1963)

Bloco D inicial		Bloco D com telhas termoacústicas	
5.938 h	67,8%	6.476 h	73,9%

O conforto das salas de aula também aumentou, subindo aproximadamente 2 pontos percentuais, porém ainda é incipiente.

Tab. 4.7 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula, com troca das telhas por telhas de aço termoacústicas, segundo Olgay (1963)

Alterações	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Sala 05	Sala 06	Sala 07	Sala 08
Inicial	66,2%	65,3%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	64,3%
Telhas termoacústicas	69,2%	67,2%	67,2%	67,2%	67,2%	67,2%	67,2%	69,6%

Percebeu-se um aumento tímido no desempenho térmico das salas de aula em relação ao projeto inicial. A transmitância da cobertura que antes era de $2,65\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ passou a ser $0,27\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

4.2.2 Inserção da Laje de Cobertura

Para comparar os resultados da telha termoacústica, supõe-se que no projeto inicial fosse concebida uma laje de cobertura. Para escolher sua espessura, deve ser analisada o vão livre e a carga aplicada. A distância entre apoios é de 7 m e 9 m, com uma carga característica para coberturas de $50\text{kg}/\text{m}^2$ (NBR 6120/1980). Esta laje precisa de altura suficiente para combater a flexão e não possuir flecha maior que $1/250$ do comprimento do vão. Para isso escolheu-se uma laje de 15 cm.

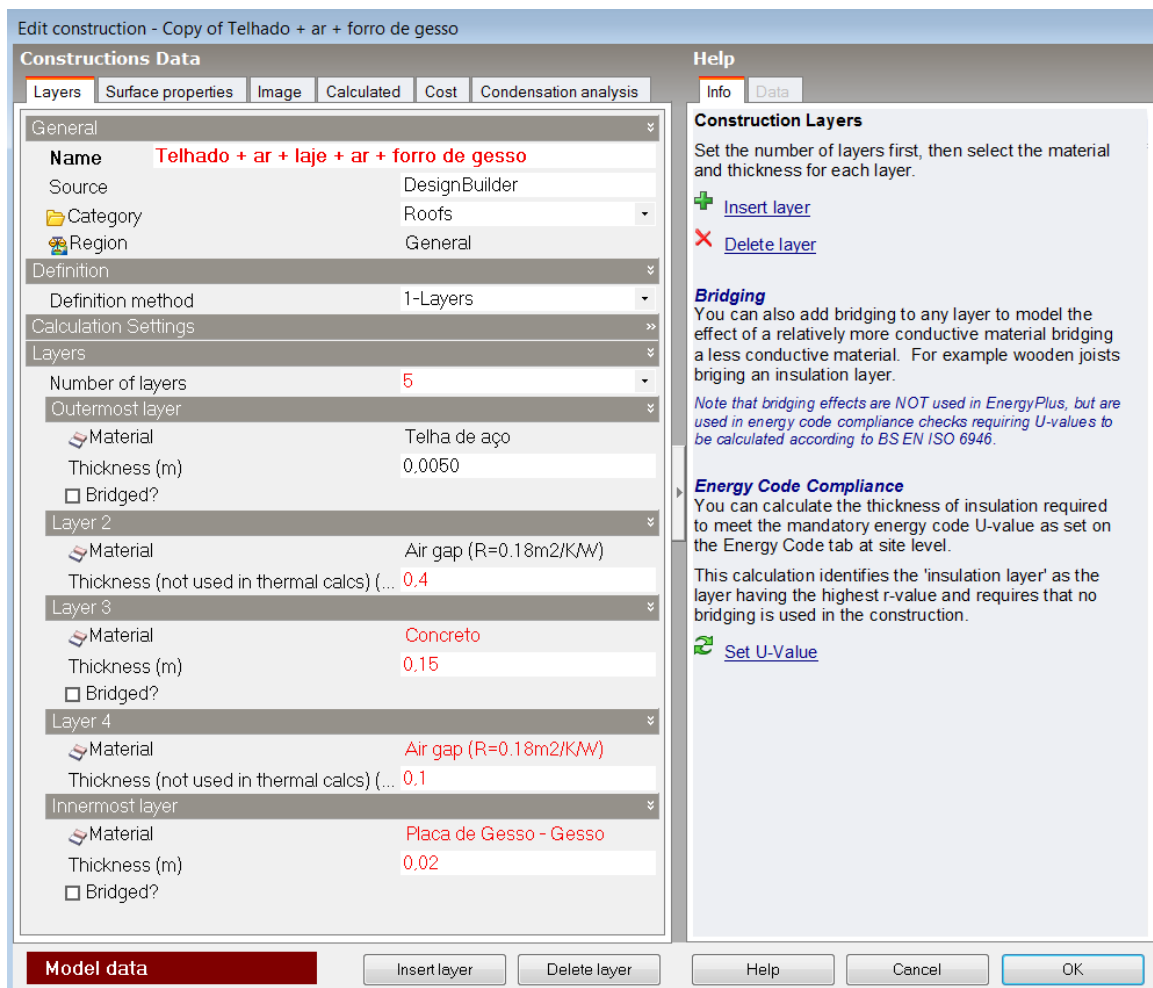


Fig. 4.4 – Inserção de laje na cobertura (fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

Após a inserção da laje é realizada a simulação. Analisando o desempenho térmico pelo método POC com a premissa de Olgyay (1963), encontrou-se conforto em 6.785 horas,

77,45% do total. Houve um acréscimo de 847 horas de conforto em relação ao projeto original, que representa um aumento de 9,6 pontos percentuais do total de horas de conforto.

Tab. 4.8 – Desempenho térmico do bloco D com inserção da laje, segundo Olgay (1963)

Bloco D inicial		Bloco D com laje de cobertura	
5.938 h	67,8%	6.785 h	77,45%

z

O aumento do desempenho térmico das salas de aula também foi notório, subiu aproximadamente oito pontos percentuais.

Tab. 4.9 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula com inserção da laje, segundo Olgay (1963)

Alterações	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Sala 05	Sala 06	Sala 07	Sala 08
Inicial	66,2%	65,3%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	64,3%
Com Laje	75,2%	73,8%	73,7%	73,7%	73,7%	73,7%	73,9%	74,6%

Com a inserção da laje, verificou-se um aumento ainda maior que o obtido com as telhas termoacústicas no número de horas de conforto no interior do prédio. Antes da laje, a transmitância térmica da cobertura era de 2,65 W/m².K, que passou a ser 1,56 W/m².K. Essa diminuição de 42% da transmitância teve impacto direto no conforto das salas de aula e nos laboratórios que ficam no 1º pavimento, no entanto não explica o melhor desempenho em relação às telhas termoacústicas.

Para explicar o melhor desempenho da laje em relação à da telha termoacústica, percebe-se que o resfriamento por massa térmica da laje sobressaiu-se à menor transmitância das telhas. A estratégia de resfriamento por massa térmica, item 2.3.4 da revisão bibliográfica, é uma das estratégias sugeridas para a Zona bioclimática 4 em 2,5% das horas de desconforto, conforme a tabela 2.6.

4.2.3 Substituição dos vidros antigos por vidros de baixo F_S, após inserção da laje

Juntamente com a solução da laje, é proposto a substituição dos vidros externos, que antes possuíam de F_S = 81,9%, por vidros de alto desempenho. Os vidros inseridos já estavam na biblioteca do programa, com o nome de *Sgl Ref-B-H Clr 6mm*. Eles possuem uma camada de vidro, que é transparente e com uma película reflexiva, que confere ao vidro um F_S = 40%.

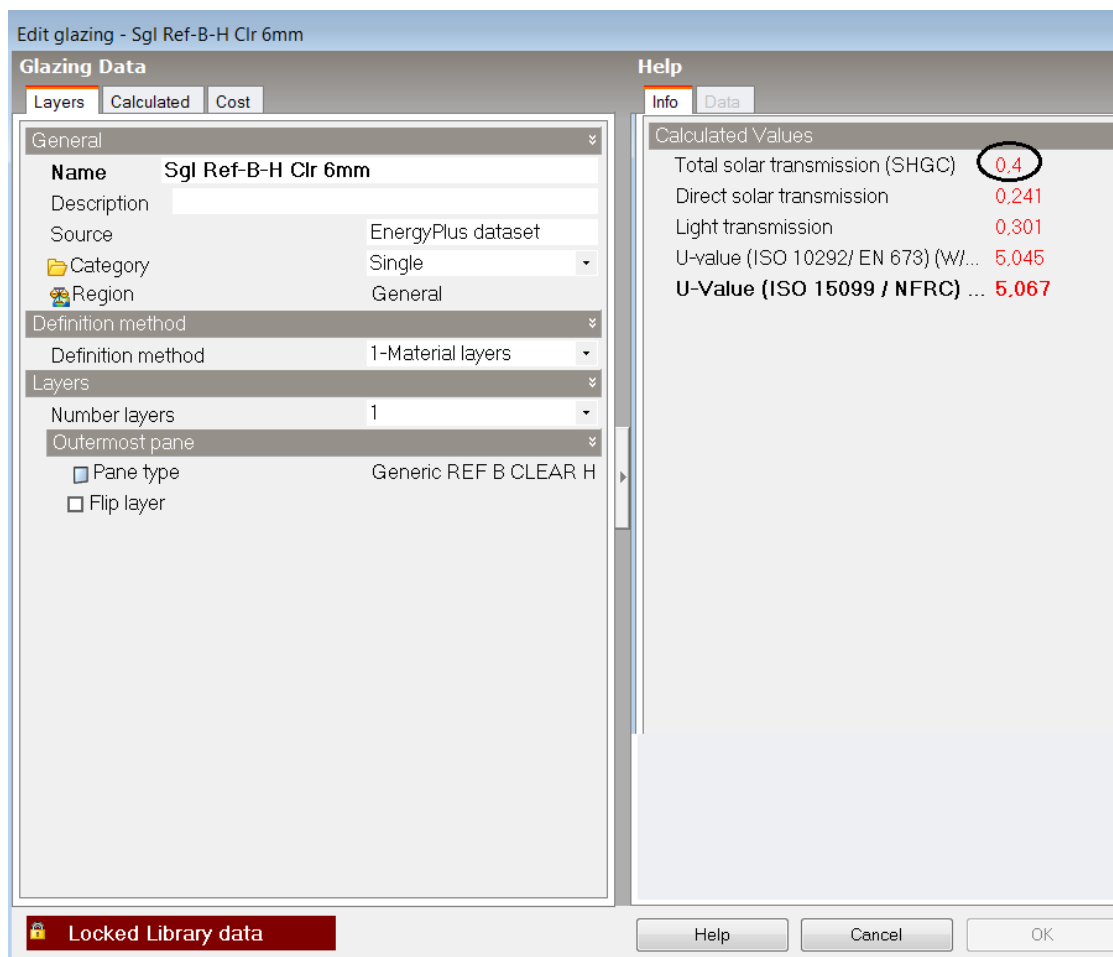


Fig. 4.5 – Inserção de vidros de baixo fator solar (F_s)
(fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

Após a troca de todos os vidros externos é realizada a simulação. A entrada de calor pelas janelas externas foi drasticamente diminuída dentro das salas de aula. Uma redução total de 70%, passando de 46,6 MWh para 14,1MWh, ao longo do ano.

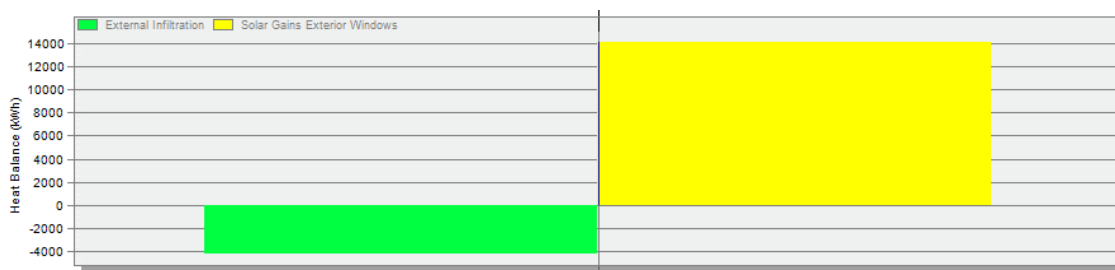


Fig. 4.6 – Entrada e saída de calor, ao longo do ano, no bloco das salas de aula
(fonte: *Design Builder V 4.2*, 2015)

Analisando o conforto térmico pelo método POC com a premissa de Olgay (1963), encontrou-se conforto em 7.031 horas, 80,26% do total. Em relação ao modelo inicial, houve um aumento de quinze pontos percentuais no total de horas de conforto, acrescentando 1.310 horas de conforto a mais para o edifício.

Tab. 4.10 – Desempenho térmico do bloco D após a inserção da laje e troca dos vidros, segundo Olgyay (1963)

Bloco D inicial		Bloco D com laje de cobertura		Bloco D com laje de cobertura e vidros de FS=40%	
5.938 h	67,8%	6.785 h	77,45%	7.031 h	80,26%

Pelo método de Barbosa (1997), o conforto do prédio passou a ser em 93,6% das horas, pois abrange uma faixa de conforto maior.

O conforto das salas de aula também foi notório. Subiu aproximadamente treze pontos percentuais, em relação ao inicial. Em relação ao modelo com inserção da laje de cobertura, a substituição dos vidros trouxe um aumento no conforto de aproximadamente cinco pontos percentuais.

Tab. 4.11 – Porcentagem de horas ocupadas de conforto (POC) nas salas de aula após inserção da laje e troca dos vidros, segundo Olgyay (1963)

Alterações	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Sala 05	Sala 06	Sala 07	Sala 08
Inicial	66,2%	65,3%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	65,2%	64,3%
Com laje	75,2%	73,8%	73,7%	73,7%	73,7%	73,7%	73,9%	74,6%
Com Laje e vidro reflexivo	79,3%	78,5%	78,5%	78,4%	78,5%	78,4%	78,4%	78,0%

Vale ressaltar que caso fossem instaladas películas nos vidros antigos também obteríamos resultados positivos, dependendo do F_s da película.

5. CONCLUSÕES

As variáveis climáticas e arquitetônicas são os responsáveis pelo desempenho térmico dos edifícios. A função da envoltória do prédio é mitigar a troca de calor indesejada da parte interna com o exterior. A análise computacional denotou um significativo desconforto no interior do edifício, de acordo com a proposta de Olgyay (1963).

O bloco D do edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade oferece aproximadamente 67% de horas de conforto aos seus usuários. Este baixo desempenho interfere nas atividades de ensino e pesquisa, interferindo em seus desempenhos, diminuindo em qualidade e rendimento.

A troca das telhas de aço zincadas por telhas termoacústicas repercutiu em um aumento de 755 horas de conforto para o edifício, passando de 67,8% para 73,9% o número total de horas de conforto. Com a inserção da laje de concreto na cobertura, este aumento foi ainda maior, totalizando 847 horas de conforto a mais, 77,5% do total. O desempenho da laje foi ligeiramente superior ao das telhas termoacústicas devido à sua massa térmica, que amorteceu a entrada de calor em períodos mais quentes do dia.

Juntamente com a inserção da laje, os vidros comuns foram trocados por vidros de baixo fator solar (F_s). A porcentagem de horas de conforto aumentou para 80,3%, enquadrando-se no nível A, segundo o RTQ-C. Desta forma seria possível diminuir consideravelmente o desconforto interno no edifício além de tornar desnecessário o uso de ar-condicionado nos laboratórios.

Quando um projeto pouco eficiente é executado, é comum a instalação de climatizadores artificiais não previstos no projeto inicial e que não são dimensionados para eficientemente, mas para por fim imediato ao desconforto, gerando gastos com energia com baixa eficiência, com alto custo por m^2 , que é o caso dos laboratórios do bloco D.

Outro fator que tem forte impacto no desempenho térmico nas salas de aula é a ventilação cruzada. A presença de um corredor com salas de aula em ambos os lados desincentiva a abertura das portas das salas de aula por causa dos ruídos ecoados pelos transeuntes e também de outras salas de aula. Este enclausuramento aumenta ainda mais o desconforto dentro das salas de aula, que acabam tendo que depender exclusivamente da renovação de ar advinda das janelas, que é incipiente. A renovação do ar que fica entre o telhado e forro também é importante, mas foi desconsiderado pelo modelo do software *Design Builder*. Por isso sugere-se ainda a abordagem desses temas em trabalhos futuros.

É evidente o quanto a bioclimatologia influi na concepção de um edifício energeticamente eficiente, principalmente quando o resfriamento é passivo, isto é, quando não são utilizados climatizadores artificiais (ativos), como o ar-condicionado. Para isso, as variáveis micro e macro climáticas, os materiais e tecnologias construtivas devem ser estudadas e respeitadas, para poderem ser usadas a favor do projetista, tanto para o arquiteto quanto para o engenheiro, influenciando em decisões estratégicas ainda na fase de projeto.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15220/2003 – Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15575/2013 – Edificações Habitacionais - Desempenho, Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 55– Thermal Environment Conditions for Human Occupancy.

BAGNATI, M. M. Zoneamento Bioclimático e Arquitetura Brasileira: Qualidade do Ambiente Construído. Porto Alegre, agosto de 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78378/000897077.pdf?sequence=1>> Acesso em 1 de Outubro, 2014.

BARBOSA, M. J. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997

CHRISTAKOU, E.D. Notas de aula, ENC/FT, UnB, 2014.

FERRAZ, E. Palácio Capanema: um marco estético mundial. Folha de São Paulo, 28 de abril de 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2013/04/1269952-palacio-capanema-um-marco-estetico-mundial.shtml>> Acesso em 6 de Novembro, 2014

GIVONI, V. (1992). Confort, climate analysis and building design guidelines, Energy and Building, vol. 18, pp. 11-23.

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.

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

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 1 de Outubro, 2014.

LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN – LEED. LEED para novas construções 2009. Disponível em: <<http://gbcbrasil.org.br/sistema/certificacao/CheckListLEEDNCv.3Portugues.pdf>> Acesso em 13 de Novembro, 2014.

OLGYAY, V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. 1963

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS- RTQ-C. Disponível em: <

http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf> Acesso em 13 de Novembro, 2014.

PLANO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA – PNEF. Premissas e Diretrizes Básicas na Elaboração do Plano. <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf_-_Premissas_e_Dir._Basicas.pdf> Acesso em 6 de Novembro, 2014.

SANTOS, J. P. ; RORIZ, M.. Influência do ângulo de incidência nos ganhos de calor solar através de materiais transparentes. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, Março 2012 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212012000100010&script=sci_arttext> Acesso em 6 de Novembro, 2014.

SOUZA, M. B. (2012). Revista Geonorte, Ed. Especial 2, V. 2, N.5 – Influência de lagos artificiais no clima local e no clima urbano. Disponível em: <[http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/013_\(INFLU%C3%8ANCIA%20DE%20LAGOS%20ARTIFICIAIS%20NO%20CLIMA%20LOCAL%20E%20NO%20CLIMA%20URBANO%20ESTUDO%20DE%20CASO%20EM%20PRESIDENTE%20EPIT%C3%81CIO%20_\(SP_\)\).pdf](http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/013_(INFLU%C3%8ANCIA%20DE%20LAGOS%20ARTIFICIAIS%20NO%20CLIMA%20LOCAL%20E%20NO%20CLIMA%20URBANO%20ESTUDO%20DE%20CASO%20EM%20PRESIDENTE%20EPIT%C3%81CIO%20_(SP_)).pdf)> Acesso em 25 de Setembro, 2014.

7. ANEXOS

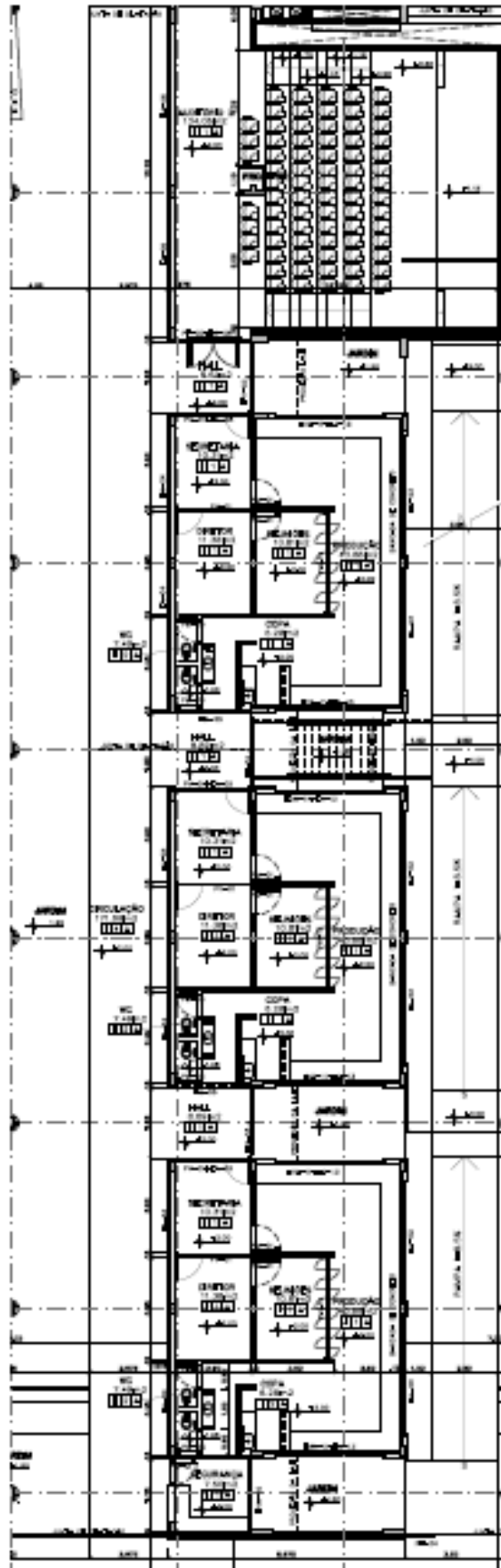


Fig. 7.1 – Planta do térreo do bloco D, FACE, UnB (fonte: CEPLAN, UnB, 2015)

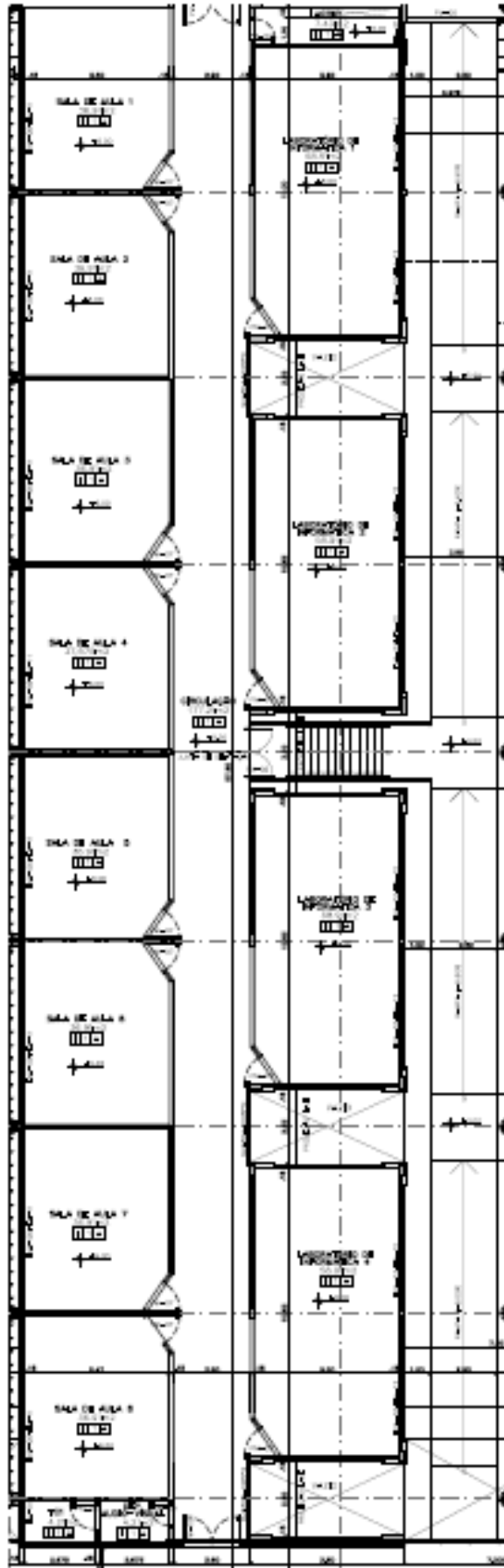


Fig. 7.2 – Planta do 1º pavimento do bloco D, FACE, UnB (fonte: CEPLAN, UnB, 2015)

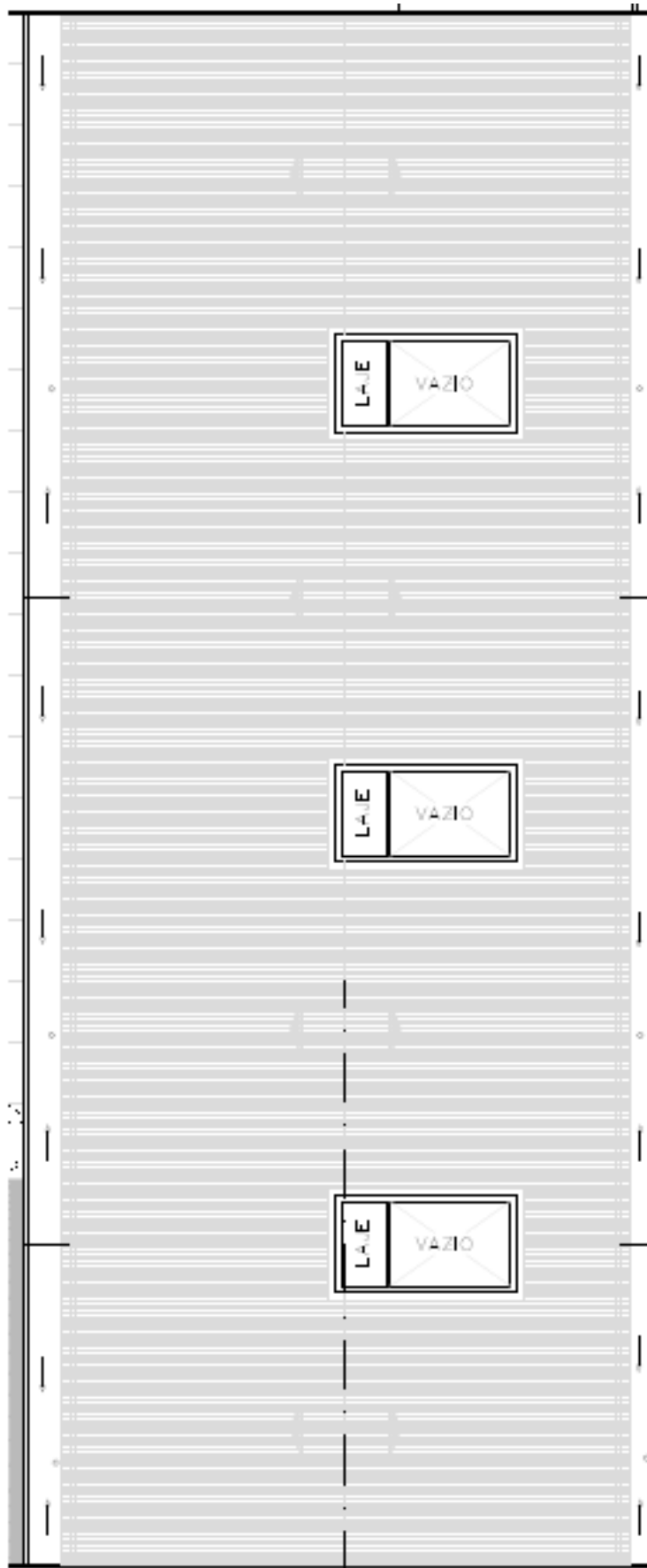


Fig. 7.3 – Planta de cobertura do bloco D, FACE, UnB (fonte: CEPLAN, UnB, 2015)