

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E VERIFICAÇÃO DO
POTENCIAL DE USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL PARA
EDIFICAÇÕES ESCOLARES**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA**

AMILCAR JOSÉ BOGO

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 1996

BOGO, Amilcar José. Análise do desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares. Florianópolis, 1996. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Fernando Oscar Ruttkay Pereira

Defesa: 29/03/96

Avaliação do [desempenho térmico] e do potencial de uso da [iluminação natural] para salas de aula de [escolas] em Florianópolis. Este estudo foi realizado através de [simulações] em edifícios protótipos representativos das salas de aula locais, frente as variáveis determinantes da envolvente da edificação. Foi utilizado o programa de simulação energética de edificações [DOE-2.1 E] e um arquivo de dados climáticos do tipo TRY para Florianópolis. Os resultados revelaram situações distintas de desempenho térmico das salas de aula, com a definição das melhores situações quanto as variáveis determinantes da envolvente, como também apresentam um elevado potencial de [conservação de energia] com a utilização da luz natural.

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E VERIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE
USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL PARA EDIFICAÇÕES ESCOLARES**

Amilcar José Bogo

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

Mestre em Engenharia

Especialidade **Engenharia Civil** e aprovada na sua forma final pelo

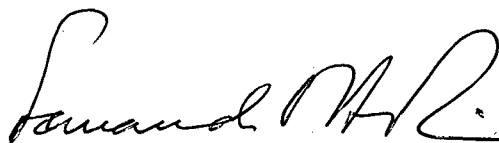
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira - Orientador



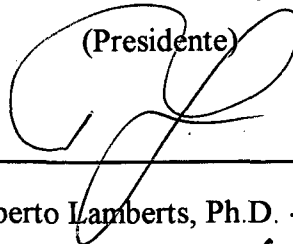
Prof. Carlos Alberto Szucs - Coordenador do Curso



Banca Examinadora:

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Ph.D. - ARQ/UFSC

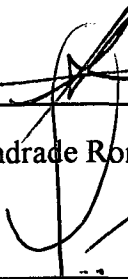
(Presidente)



Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. - ECV/UFSC



Prof. Marcelo de Andrade Romero, Dr. - FAU/USP



Prof. Paulo Cesar Philippi, Dr. Ing. - EMC/UFSC

A FORÇA ESTÁ COMIGO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Fernando Oscar Rutt kay Pereira pela orientação e comentários gerais;

Ao Prof. Roberto Lamberts, pelas sugestões no desenvolvimento do trabalho;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina;

Aos membros da banca examinadora;

Aos amigos e colegas pelas sugestões, companheirismo e auxílio;

Ao CNPq pela bolsa de estudos fornecida do período de abril de 1994 a março de 1996.

SUMÁRIO GERAL

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE GRÁFICOS.....	x
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	2
1.2 JUSTIFICATIVA.....	7
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	11
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
1.4 HIPÓTESES.....	11
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	12

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO	14
2.2 DESEMPENHO TÉRMICO	15
2.2.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	16
2.2.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS COMPONENTES	16
2.2.3 PROPRIEDADES RADIATIVAS QUANTO À RECEPÇÃO E EMISSÃO DE ENERGIA RADIANTE	18
2.2.4 VARIÁVEIS FORMULADORAS DO PROJETO E O DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES	19
2.2.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	21
2.2.6 O PROGRAMA DOE-2.1 E	23
2.2.6.1 Estrutura de Funcionamento e Cálculo do Programa DOE-2.1 E	23
2.2.6.2 Aplicações para o Programa DOE-2.1 E	26
2.2.6.3 Dados Climáticos Utilizados pelo DOE-2.1 E	26
2.2.7 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	27
2.2.7.1 MÉTODOS ADOTADOS	29
2.2.8 VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS INTERNOS PARA DIFERENTES TIPOS DE EDIFÍCIOS	31
2.2.9 DESEMPENHO TÉRMICO EM ESCOLAS	32
2.3 ILUMINAÇÃO NATURAL	34
2.3.1 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL	36
2.3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL	38
2.3.3 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL	39
2.3.4 AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	42
2.3.4.1 Modelos em Escala Reduzida	43
2.3.4.2 Técnicas Analíticas	43
2.3.4.3 Simulação Computacional	44
2.3.5 AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL COM O PROGRAMA DOE-2.1 E	45
2.3.5.1 Cálculo da Iluminância interna pelo DOE-2.1 E	46
2.3.5.2 Limitações do Cálculo da Luz Natural com o DOE-2.1 E	47
2.3.6 VARIÁVEIS FORMULADORAS DO PROJETO E A ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES	47
2.4 DESEMPENHO TÉRMICO E USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	48

CAPÍTULO 3**METODOLOGIA**

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	51
3.1.1 LEVANTAMENTO FÍSICO.....	53
3.1.2 LEVANTAMENTO DE UTILIZAÇÃO.....	54
3.2 MEDIÇÕES DE CAMPO	54
3.3 PROCESSO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	56
3.3.1 DEFINIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS	56
3.3.2 SIMPLIFICAÇÕES DOS MODELOS PROTÓTIPOS.....	56
3.3.3 DESCRIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS	57
3.4 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS OTIMIZADORAS.....	58
3.5 ANÁLISE DE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA	60
3.5.1 PROCESSO DE ANÁLISE E RESULTADOS SELECIONADOS.....	60
3.6 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO	61
3.6.1 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PMV E PPD.....	62
3.7 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CONFORTO TÉRMICO E O CONSUMO DE ENERGIA FRENTE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO	66

CAPÍTULO 4

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE DADOS	68
4.1.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	68
4.2 RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS.....	73
4.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MODELOS	73
4.2.2 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS MODELOS	75
4.3 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CAMPO NA SALA DE AULA.....	79
4.3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES.....	80
4.3.2 PONTOS DE MEDIÇÃO.....	81
4.4 RESULTADOS DE MEDIÇÕES EXTERNAS.....	85
4.5 CONCLUSÕES SOBRE AS MEDIÇÕES.....	87
4.6 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA.....	88
4.6.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS QUATRO MODELOS A, B, C E D.....	88
4.6.2 RESULTADOS DA PRIMEIRA AVALIAÇÃO DOS QUATRO MODELOS A, B, C E D.....	94
4.6.3 RESULTADOS DA SEGUNDA, TERCEIRA, QUARTA E QUINTA AVALIAÇÕES - MODELOS A E B SELECIONADOS.....	95
4.6.4 RESUMO DOS RESULTADOS COLETADOS NAS CINCO AVALIAÇÕES EFETUADAS - MODELOS A E B SELECIONADOS.....	102
4.6.5 INFLUÊNCIA DO AUMENTO DA RAZÃO WWR NO CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA E ECONOMIA DE ENERGIA COM O USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	104
4.6.5.1 Resultados da Primeira, Segunda, Terceira e Quarta Avaliações - Modelos A e B - Razão WWR de 50%.....	104
4.7 INFLUÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA COM A NÃO UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	107
4.8 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO.....	109
4.8.1 RESULTADOS DO COMPARATIVO DE TEMPERATURAS INTERNAS DO AR - MODELOS A E C.....	111
4.8.2 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PMV E PPD.....	120
4.8.3 RESULTADOS DA CORRELAÇÃO ENTRE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO FRENTE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO.....	129
4.9 RESULTADOS DE ECONOMIA REAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO.....	132

CAPÍTULO 5**CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

5.1 CONCLUSÕES	136
5.1.1 COMPROVAÇÃO DAS HIPÓTESES	139
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	140
5.2.1 RECOMENDAÇÕES QUANTO AO PROJETO DE SALAS DE AULA	140
5.2.2 RECOMENDAÇÕES QUANTO A TRABALHOS FUTUROS	140
5.3 LIMITAÇÕES.....	141

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	146

ANEXO

ANEXO 1:PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE VENTILAÇÃO NATURAL.....	149
--	-----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1 ILUMINAÇÃO NATURAL RECEBIDA NA EDIFICAÇÃO.....	6
--	---

CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1 TROCAS DE CALOR ENTRE A EDIFICAÇÃO E O MEIO EXTERNO.....	15
FIGURA 2.2 FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DOE-2.1 E.....	24
FIGURA 2.3 VARIAÇÃO DO PPD EM FUNÇÃO DO PMV	28
FIGURA 2.4 ZONAS DE ILUMINAÇÃO NA EDIFICAÇÃO COM ILUMINAÇÃO NATURAL.....	40
FIGURA 2.5 ZONAS DE ILUMINAÇÃO COM ILUMINAÇÃO NATURAL DE TETO.....	42

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA UTILIZADA NA ANÁLISE.	52
FIGURA 3.2: PLANTA-BAIXA DO BLOCO DE SALAS DE AULA NO SEGUNDO PAVIMENTO DA ESCOLA, COM A SALA MONITORADA.....	55

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1 <i>SCHEDULE</i> DE OCUPAÇÃO DAS SALAS DE AULA DE SEGUNDA À SEXTA-FEIRA	76
FIGURA 4.2 <i>SCHEDULE</i> DE INFILTRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA	77
FIGURA 4.3 <i>SCHEDULE</i> DE INFILTRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO.....	78
FIGURA 4.4 PONTOS DE MEDIÇÃO NA SALA DE AULA E VARIÁVEIS MEDIDAS.....	82

LISTA DE GRÁFICOS**CAPÍTULO 4**

GRÁFICO 4.1 CONSUMO TEÓRICO DE RESFRIAMENTO - CTR (RAZÃO WWR DE 25 %), PARA DIFERENTES ORIENTAÇÕES DE ABERTURAS.....	94
GRÁFICO 4.2 CONSUMO TEÓRICO DE RESFRIAMENTO - CTR, MODELOS A E B, NAS CINCO AVALIAÇÕES.....	103
GRÁFICO 4.3 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA PARA SITUAÇÃO SEM USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL (1) E COM USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL (2)	108
GRÁFICO 4.4 PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DE ENERGIA EM ILUMINAÇÃO PARA SITUAÇÃO SEM USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL (1) E SITUAÇÃO COM USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL (2).....	109
GRÁFICO 4.5 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - MODELO A EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA VERÃO 06 DE MARÇO.....	112
GRÁFICO 4.6 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - MODELO C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA VERÃO 06 DE MARÇO.....	113
GRÁFICO 4.7 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - MODELO A EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA MEIA-ESTAÇÃO (PRIMEIRO-SEMESTRE) 17 DE MAIO.....	115
GRÁFICO 4.8 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - MODELO C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA MEIA-ESTAÇÃO (PRIMEIRO-SEMESTRE) 17 DE MAIO.....	115
GRÁFICO 4.9 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - - MODELO A EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA INVERNO 02 DE AGOSTO.....	117
GRÁFICO 4.10 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - - MODELO C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA INVERNO 02 DE AGOSTO.....	117
GRÁFICO 4.11 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - MODELO A EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA MEIA-ESTAÇÃO (SEGUNDO-SEMESTRE) 27 DE SETEMBRO	118
GRÁFICO 4.12 COMPARATIVO DE TEMPERATURAS DO AR - MODELO C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA MEIA-ESTAÇÃO (SEGUNDO-SEMESTRE) 27 DE SETEMBRO	119

GRÁFICO 4.13 COMPARATIVO DE VALORES DE PMV, MODELO A, SITUAÇÕES (1), (2) E (3) - VERÃO 06 DE MARÇO.....	122
GRÁFICO 4.14 COMPARATIVO DE VALORES DE PPD, MODELO A, SITUAÇÕES (1), (2) E (3) - VERÃO 06 DE MARÇO.....	122
GRÁFICO 4.15 COMPARATIVO DE VALORES DE PMV, MODELO C, SITUAÇÕES (4), (5) E (6) - VERÃO 06 DE MARÇO.....	123
GRÁFICO 4.16 COMPARATIVO DE VALORES DE PPD, MODELO C, SITUAÇÕES (4), (5) E (6) - VERÃO 06 DE MARÇO.....	123
GRÁFICO 4.17 COMPARATIVO DE VALORES DE PMV, MODELO A, SITUAÇÕES (1), (2) E (3) - INVERNO 02 DE AGOSTO.....	126
GRÁFICO 4.18 COMPARATIVO DE VALORES DE PPD, MODELO A, SITUAÇÕES (1), (2) E (3) - INVERNO 02 DE AGOSTO.....	126
GRÁFICO 4.19 COMPARATIVO DE VALORES DE PMV, MODELO C, SITUAÇÕES (4), (5) E (6) - INVERNO 02 DE AGOSTO.....	127
GRÁFICO 4.20 COMPARATIVO DE VALORES DE PPD, MODELO C, SITUAÇÕES (4), (5) E (6) - INVERNO 02 DE AGOSTO.....	127
GRÁFICO 4.21 CORRELAÇÃO ENTRE O CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA DE RESFRIAMENTO (CTR) E O PMV, REFERENTE AS SITUAÇÕES (1), (2) E (3) DO MODELO A.....	131
GRÁFICO 4.22 CORRELAÇÃO ENTRE O CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA DE RESFRIAMENTO (CTR) E O PPD, REFERENTE AS SITUAÇÕES (1), (2) E (3) DO MODELO A.....	132

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

QUADRO 1.1 NÚMERO DE SALAS DE AULA EXISTENTES NA REDE ESCOLAR EM FLORIANÓPOLIS	8
---	---

CAPÍTULO 4

QUADRO 4.1 A LEVANTAMENTO FÍSICO DAS ESCOLAS SELECIONADAS	70
QUADRO 4.1 B LEVANTAMENTO FÍSICO DAS ESCOLAS SELECIONADAS (CONTINUAÇÃO)	71
QUADRO 4.2 MATERIAIS CONSTRUTIVOS UTILIZADOS NOS MODELOS PROTÓTIPOS.....	73
QUADRO 4.3 COMPONENTES CONSTRUTIVOS UTILIZADOS NOS MODELOS PROTÓTIPOS.....	74
QUADRO 4.4 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NA SALA DE AULA E TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA CALCULADA - DIA 18/12/95.....	83
QUADRO 4.5 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NA SALA DE AULA E TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA CALCULADA - DIA 19/12/95.....	84
QUADRO 4.6 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EXTERNAS - DIA 18/12/95	86
QUADRO 4.7 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EXTERNAS - DIA 19/12/95	86
QUADRO 4.8 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL - MODELO A, SALA TÉRREA EM MEIO DE PLANTA.....	89
QUADRO 4.9 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL - MODELO B, SALA TÉRREA EM CANTO DE PLANTA.....	90
QUADRO 4.10 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL (CONSIDERANDO NÃO HAVER TROCAS DE CALOR COM O PAVIMENTO TÉRREO) - MODELO C, SALA NO SEGUNDO PAVIMENTO EM MEIO DE PLANTA.....	91
QUADRO 4.11 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA	

ILUMINAÇÃO NATURAL (CONSIDERANDO NÃO HAVER TROCAS DE CALOR COM O PAVIMENTO TÉRREO) - MODELO D, SALA NO SEGUNDO PAVIMENTO EM CANTO DE PLANTA.....	92
QUADRO 4.12 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A, B, C E D: PRIMEIRA AVALIAÇÃO.	95
QUADRO 4.13 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: SEGUNDA AVALIAÇÃO (INICIAL).	96
QUADRO 4.14 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: SEGUNDA AVALIAÇÃO (FINAL)...	97
QUADRO 4.15 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: TERCEIRA AVALIAÇÃO.	98
QUADRO 4.16 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: QUARTA AVALIAÇÃO.....	99
QUADRO 4.17 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: QUINTA AVALIAÇÃO (COMPLEMENTAR).....	101
QUADRO 4.18 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: PRIMEIRA ATÉ A QUINTA AVALIAÇÃO.....	102
QUADRO 4.19 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: PRIMEIRA AVALIAÇÃO - RAZÃO WWR DE 50%	104
QUADRO 4.20 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: SEGUNDA AVALIAÇÃO - RAZÃO WWR DE 50%	105
QUADRO 4.21 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: TERCEIRA AVALIAÇÃO: RAZÃO WWR DE 50%	106

QUADRO 4.22 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B: SEM USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	108
QUADRO 4.23 TEMPERATURAS DO AR - MODELOS A E C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA VERÃO 06 DE MARÇO.....	112
QUADRO 4.24 TEMPERATURAS DO AR - MODELOS A E C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA MEIA-ESTAÇÃO (PRIMEIRO SEMESTRE), 17 DE MAIO	114
QUADRO 4.25 TEMPERATURAS DO AR - MODELOS A E C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA INVERNO 02 DE AGOSTO.....	116
QUADRO 4.26 TEMPERATURAS DO AR - MODELOS A E C EM DIFERENTES SITUAÇÕES, PARA MEIA-ESTAÇÃO (SEGUNDO SEMESTRE), 27 DE SETEMBRO.....	118
QUADRO 4.27 ÍNDICES PMV/PPD - MODELOS A E C - RAZÃO WWR DE 25% E 50% - SITUAÇÕES (1), (2), (3), (4), (5) E (6) - VERÃO 06 DE MARÇO	121
QUADRO 4.28 ÍNDICES PMV/PPD - MODELOS A E C - RAZÃO WWR DE 25% E 50% - SITUAÇÕES (1), (2), (3), (4), (5) E (6) - MEIA-ESTAÇÃO 17 DE MAIO.....	124
QUADRO 4.29 ÍNDICES PMV/PPD - MODELOS A E C - RAZÃO WWR DE 25% E 50% - SITUAÇÕES (1), (2), (3), (4), (5) E (6) - INVERNO 02 DE AGOSTO.....	125
QUADRO 4.30 ÍNDICES PMV/PPD - MODELOS A E C - RAZÃO WWR DE 25% E 50% - SITUAÇÕES (1), (2), (3), (4), (5) E (6) - MEIA-ESTAÇÃO 27 DE SETEMBRO	128
QUADRO 4.31 CONSUMO ANUAL DE ENERGIA E PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL, MODELOS A E B - DIFERENTES SITUAÇÕES DE ANÁLISE.....	133

LISTA DE ABREVIATURAS

- CTR** - Consumo teórico de resfriamento
CTA - Consumo teórico de aquecimento
CRIE - Consumo real de iluminação elétrica
REIN - Percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural
PMV - Voto médio estimado
PPD - Percentagem de pessoas insatisfeitas
k - Condutividade térmica
c - Calor específico
L - Espessura
cd - Calor específico volumétrico
cdL - Capacidade térmica do fechamento
R - Resistência térmica
U - Transmitância térmica
Y - Admitância
S - Fator solar
 α - Absortividade
 ρ - Refletividade
 τ - Transmissividade
 ε - Emissividade
WWR - window-to-wall-ratio
TRM - Temperatura radiante média
Var - Velocidade do ar
UR - Umidade relativa do ar
TBS - Temperatura de bulbo seco
TBU - Temperatura de bulbo úmido
TG - Temperatura de globo
° C - Grau Celsius
K - Grau Kelvin
Tn - Temperatura de neutralidade térmica

RESUMO

O desempenho térmico e o uso da iluminação natural em edificações escolares estão relacionados às variáveis formuladoras do projeto de arquitetura, mais especificamente aquelas determinantes da envolvente construída (forma; orientação das aberturas; razão WWR; proteções solares; materiais construtivos e de acabamento).

Estas variáveis são qualificadas como otimizadoras em relação ao desempenho térmico e uso da iluminação natural, sendo que a adequada definição destas variáveis durante o projeto das salas de aula, possibilita melhor qualidade térmica e lumínica interior.

Esta dissertação analisa através da simulação computacional o desempenho térmico e o potencial de uso da iluminação natural em salas de aula, com diferentes características em relação a envolvente construída (variáveis otimizadoras).

A análise foi realizada com o programa DOE-2.1 E e uma arquivo de dados climáticos do tipo TRY para Florianópolis, a partir de edificios protótipos representativos das salas de aula locais.

Foram realizadas dois tipos de análises, de consumo teórico de energia e de conforto térmico, possibilitando identificar a partir dos dados obtidos nas simulações, os tipos de salas de aula com melhores resultados de desempenho térmico e de aproveitamento da luz natural do ponto de vista de conservação de energia.

Com estes resultados, foram definidas recomendações de projeto para as salas de aula, com relação ao melhor desempenho térmico e aproveitamento da luz natural.

ABSTRACT

The thermal performance and daylighting use in schools are related to architecture design variables, mainly those which define the envelope building (shape; windows orientation; WWR ratio; overhangs; building materials).

These variables are assumed as optimizing variables of the envelope thermal performance and daylighting use. Therefore, their correct definition during design stages are important in order to achieve better thermal and luminous conditions in inner spaces.

This study describes a computer simulation analysis of the thermal performance and the daylighting potential use of classrooms with different building envelope characteristics (optimizing variables).

The analysis was performed using DOE -2.1 E program and a climatic data base (TRY) for Florianópolis, using a model building referring to local schools.

Two types of analysis were performed, theoretical energy consumption and thermal comfort, enabling the identification of the best thermal performance and daylighting exploitation for a given set of envelope characteristics.

From the produced data, several recommendations for classrooms design were made, regarding its thermal performance and daylighting conditions.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	2
1.2 JUSTIFICATIVA.....	7
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	11
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
1.4 HIPÓTESES.....	11
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	12

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS:

Uma edificação, como ambiente construído, deve satisfazer a uma série de requisitos de desempenho para a ocupação, objetivando a satisfação dos ocupantes quanto as condições internas oferecidas.

Esta avaliação de desempenho é uma abordagem complexa, onde interagem diversos fatores. Consiste em prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição, avaliando se tal comportamento satisfaz às exigências dos ocupantes.

Dentre estas exigências, pode-se citar como principais aquelas relacionadas às variáveis físicas e ambientais que interagem com a edificação, abordadas como exigências de desempenho, tais como: desempenho espacial (funcionalidade); desempenho térmico; desempenho visual (luminoso); desempenho acústico; desempenho quanto a qualidade do ar; e desempenho quanto a integridade do edifício (estrutural, proteção quanto às intempéries).

No que se refere às exigências ambientais das edificações, o desempenho térmico e o desempenho visual (luminoso) assumem um papel significativo, em virtude de estarem relacionados ao desempenho energético das edificações.

O desempenho energético, analisado na forma de consumo de energia, requer atuação em quatro áreas de pesquisa:

- produção de materiais de construção, procurando diminuir o consumo energético nesta fase produtiva;
- projeto, na definição adequada do partido arquitetônico e escolha dos materiais e componentes construtivos;
- construção, visando a regionalização de materiais de construção, como forma de minimizar o consumo no transporte e na própria construção;
- uso e operação, na definição adequada dos sistemas utilizados na edificação, como forma de racionalização do consumo energético necessário.

De acordo com **PEREIRA e CUNHA NETO [1988]**, o caminho científico para se obter a adequação térmica de um projeto ao seu meio ambiente é avaliar o seu

comportamento térmico tendo-se em vista fundamentalmente, as exigências térmicas do usuário nas condições climáticas a que a edificação será submetida.

O desempenho térmico é um dos condicionantes do comportamento ambiental das edificações, estudado em diversos níveis, na busca de parâmetros adequados para o projeto e avaliação de ambientes.

Assim, o melhor ou o pior atendimento às necessidades térmicas para obtenção de níveis de conforto, caracteriza uma edificação como sendo mais ou menos adequada termicamente ao seu meio.

No estudo do desempenho térmico da edificação, em relação as trocas de calor que ocorrem entre a mesma e o meio, analisam-se os seguintes fenômenos de transmissão de calor: condução, convecção, radiação e evaporação (ou condensação).

As diferentes características quanto a configuração espacial da edificação e de seus componentes, tais como forma, localização, características térmicas dos materiais de construção e características superficiais de acabamento, influenciam de maneira diferenciada as trocas de calor entre a edificação e o meio e vice-versa.

Estas trocas de calor entre a edificação e o meio ocorrem pela existência de fontes de calor interna ou externa à edificação, que ocasionam diferenças de temperatura, sendo o fluxo de calor no sentido do ponto de maior temperatura para o de menor temperatura, caracterizando direções de fluxo de calor diferentes para inverno e verão.

Como fontes de calor no interior da edificação temos os ganhos internos (corpo humano, lâmpadas, equipamentos) e como fontes exteriores à edificação temos o ganho solar devido a radiação solar (direta, difusa, refletida) e temperatura do ar.

O desempenho térmico dos materiais frente aos fenômenos de transmissão de calor é diferenciado, assim como à recepção as fontes de calor, devido às propriedades térmicas dos materiais e componentes e de suas características físicas superficiais, transmitindo e armazenando mais ou menos calor, amortecendo e retardando a variação de temperaturas ar externas de forma diferenciada e absorvendo, refletindo, transmitindo e emitindo energia também diferenciadamente.

Relacionados com o desempenho térmico, os fechamentos constituintes da envolvente física da edificação, podem ser agrupados em: fechamentos opacos (piso, cobertura, porta, paredes) e transparentes (vidros).

A cobertura, devido a sua enorme exposição as radiações solares, é um dos componentes mais solicitados termicamente da edificação, principalmente no caso das edificações térreas; o piso, pelo contato com o solo ou com outros pavimentos tem em geral uma pequena solicitação térmica; as paredes, portas, vidros possuem solicitações térmicas muito variáveis, devido a orientação a que estejam expostas ou sua proteção, recebendo mais ou menos a influência da radiação solar direta e dos movimentos de ar.

A transmissão de calor na envolvente da edificação acontece de forma diferenciada, com altas taxas de transmissão frente a radiação solar para os fechamentos transparentes; e valores de transmissão de calor muito distintos para os fechamentos opacos, dependendo das características térmicas e superficiais dos materiais.

Assim, na busca de condições mínimas de conforto térmico, assumindo como a condição ambiental que favoreça o equilíbrio térmico do corpo e ofereça a sensação de neutralidade térmica, os materiais e componentes da edificação devem satisfazer a determinadas exigências térmicas, a características de desempenho térmico, que possibilitarão a redução do ganho ou da perda de calor da edificação, frente às características climáticas.

Para a análise do desempenho térmico de materiais e componentes da envolvente da edificação, faz-se necessário uma descrição precisa das propriedades térmicas dos materiais (condutividade térmica, densidade, calor específico), que definem as propriedades térmicas dos componentes da edificação (capacidade térmica, resistência térmica, transmitância térmica, amortecimento, retardo, admitância) e das propriedades relativas a recepção e emissão de energia radiante (absortividade, refletividade, transmissividade, emissividade), frente à radiação solar (ondas curtas) e a energia dos demais corpos (onda longa).

Além das propriedades já mencionadas, as características formuladoras do projeto, determinantes da envolvente da edificação, como: forma (área de superfícies externas); orientação dos planos verticais; razão entre a área de aberturas e a área de fachada (WWR-window to wall ratio); e a utilização de proteções solares nas aberturas, são as principais definidoras das solicitações térmicas a que a edificação estará sujeita.

Constata-se desta forma, que a fase de definição do projeto de arquitetura, é o momento fundamental para a verificação das condições de desempenho térmico da edificação, adequando-a às necessidades de conforto térmico exigidas.

No que se refere as edificações escolares, o desempenho térmico das mesmas assume maior importância em virtude do elevado número de ocupantes, nas salas de aula; dos períodos concentrados de ocupação; e da importância das atividades lá desenvolvidas, que exigem atenção e disposição por parte dos ocupantes (estudantes).

Outra característica das edificações escolares é que o seu desempenho térmico com vistas as condições de conforto térmico, deve ser garantido quase que totalmente por meios passivos, uma vez que na maioria dos casos o condicionamento artificial não é economicamente viável.

Assim sendo, a importância do projeto de arquitetura, no que se refere principalmente a definição da envolvente da edificação e especificação de materiais construtivos e das características superficiais de acabamento, é fundamental.

O conhecimento do desempenho térmico dos componentes e o global da edificação, possibilita, ainda na fase de projeto, correções e complementações, que na maioria das vezes não são possíveis de serem efetuadas após a edificação já construída.

Em relação ao aproveitamento da iluminação natural nas edificações, verifica-se uma elevada disponibilidade de luz natural para utilização como iluminamento mínimo ou complementar, com um nível de qualidade de luz e satisfação visual melhor que a iluminação artificial, possibilitando também a redução no consumo de energia elétrica, quando esta pode ser desligada total ou parcialmente.

Os fatores determinantes da envolvente da edificação e as características de acabamento dos materiais construtivos, influenciam a quantidade e qualidade da iluminação natural numa edificação.

Os principais fatores que influenciam a iluminação natural recebida na edificação são os descritos pelo esquema abaixo:



Fonte: PEREIRA [1994]

Figura 1.1: Iluminação natural recebida na edificação.

O aproveitamento da iluminação natural necessita de dados disponíveis de luz natural como base para análise de iluminação para céu claro e encoberto; necessita de métodos sistemáticos de descrição de conceitos de iluminação natural (para desenvolver intuições de projeto sobre o melhor caminho para uso da iluminação natural); necessita do conhecimento de métodos de análise que englobem todos os aspectos do desempenho do sistema (iluminação, energia e conforto visual); necessita de um método para integração entre iluminação natural e artificial; e necessita de uma melhor definição sobre a responsabilidade para o projeto de iluminação natural (arquiteto, engenheiro, projetista, consultor).

A definição do aproveitamento da iluminação natural engloba a definição de um sistema para tal, que inclui: aberturas para iluminação natural; tipo de envidraçamento; sombreamento e controle solar; controle da iluminação artificial.

Analisando os principais definidores do aproveitamento da iluminação natural

(relacionados também com o desempenho térmico do edifício), existem as variáveis de formulação do projeto, aquelas determinantes da envolvente da edificação, que influenciam quanto a quantidade de luz natural recebida, como: razão WWR (influência na recepção da luz natural nos planos de trabalho); orientação das aberturas (relativo a visão do céu com maior ou menor concentração de luminâncias); utilização de proteções solares junto as aberturas (referente a porção de céu visível); forma (referente a profundidade, pé-direito, possibilidade de localização da aberturas); materiais construtivos (transmissividade do vidro utilizado); e entorno (obstruções externas à edificação).

Para o projeto de edificações escolares (salas de aula), na análise do ponto de vista de conforto ambiental, a caracterização do desempenho térmico e do aproveitamento da iluminação natural disponível, é efetuada analisando-se soluções de projeto pelo estudo das variáveis de projeto/concepção; variáveis construtivas; variáveis de acabamento; e variável externa (obstruções junto as aberturas em diferentes distâncias).

Neste estudo referente as edificações escolares, temos como referência a realidade local construída, a partir das características físicas e sócio-econômicas das escolas analisadas, atuando principalmente nas ações de projeto, definidoras do micro-clima interno e do ambiente lumínico das escolas.

Neste aspecto, foi identificado no levantamento de dados e de campo, um padrão construtivo bastante uniforme no que se refere aos materiais utilizados em paredes, cobertura, piso, vidros; uma faixa de variação da razão WWR pequena, de 25 a 50 %; diferenças acentuadas quanto a existência e dimensão de proteções solares nas aberturas (inexistentes, beirais, marquises); e uma enorme variação no que se refere a orientação das aberturas das salas de aula (norte, sul ,leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste, sudoeste), caracterizando em princípio o entendimento de uma edificação sem compromisso com o local de implantação e a respectiva atenção às ações climáticas.

1.2 JUSTIFICATIVA:

O crescimento físico da rede escolar em Florianópolis, foi de aproximadamente 224 salas de aula, no período de 1989 a 1993, com a construção de novas escolas e ampliação das já existentes, segundo dados da **SECRETARIA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO [1995]**, apresentados a seguir:

Quadro 1.1: Número de salas de aula existentes na rede escolar em Florianópolis.

Dependência administrativa	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Municipal	260	265	283	319	389	*	*
Estadual	589	579	639	663	684	701	709
Federal	81	79	79	80	79	*	*
Particular	714	730	722	708	712	*	*
Total	1644	1653	1723	1770	1864	*	*

* Dados não disponíveis.

A preocupação quanto ao desempenho térmico e ao uso da iluminação natural, não aparece de forma clara, já que estas questões pressupõem atitudes projetuais que incorporem estes assuntos nas edificações, através de intenções de projeto, materializadas na forma construída.

Através do levantamento de dados e impressões colhidas, verificou-se para Florianópolis, no processo de projeção das edificações escolares, que existe uma posição discursiva no sentido de se preocupar com as questões térmicas e lumínicas, no entanto, esta posição dificilmente se manifesta objetivamente no projeto. Provavelmente devido a quantidade de condicionantes envolvidos num projeto, a ausência de conhecimentos, informações adequadas e ferramentas de projeto, entre outras.

Esta situação faz com que não exista efetivamente uma ação projetiva clara, consciente e embasada sobre as questões térmicas e lumínicas no projeto das edificações escolares, conduzindo à repetição de ações e posturas projetuais que não colaboram com a alteração da situação atual.

A constatação desta situação foi feita através de medições de campo em uma escola de Florianópolis, definida como representativa da prática projetual/construtiva atual.

Pelas medições horárias de temperaturas do ar (TBS, TBU), temperatura de globo (TG), velocidade do ar, ficou identificado para dois dias típicos de calor, 18 e 19 de dezembro de 1995, o desconforto existente na sala de aula monitorada, atribuído principalmente ao ganho de calor solar da edificação e as temperaturas externas do ar.

Para a sala de aula monitorada, com uma razão WWR próxima de 50%, verificou-se que os níveis de iluminação interno, considerando somente o uso da iluminação natural, foram elevados, registrando valores duas vezes maiores que o recomendado pela norma **NBR 5413 [1991]**.

Também verificou-se a presença de determinadas estratégias de condicionamento natural, como é o caso da ventilação natural, porém não funcionando adequadamente.

Com a não existência de uma postura clara de projeto, o atendimento às exigências humanas quanto ao desempenho térmico da edificação e o aproveitamento da luz natural, dificilmente é conseguido, ou o é inconscientemente, dependendo do partido arquitetônico, da definição da envolvente da edificação e da especificação de materiais utilizada.

A incorporação das preocupações em relação ao desempenho térmico e do aproveitamento da iluminação natural no projeto, possibilita oferecer uma edificação com condições ambientais de ocupação melhores, mais próximas das condições de conforto térmico, com um ambiente visual de melhor qualidade e menos oneroso.

Diante desta situação, onde as questões térmicas e lumínicas não são claramente abordadas no projeto de arquitetura, será efetuada uma verificação das solicitações térmicas a que a edificação estará sujeita e a possibilidade de aproveitamento da iluminação natural, através da análise da influência nestas questões das variáveis que definem a arquitetura, em termos dos ambientes térmico e lumínico.

Para isto será utilizado o programa de simulação energética de edificações DOE 2.1 E, justificado pelos seguintes aspectos: ser um programa de prestígio internacional; de ser o programa padrão de referência para os EUA; de estar disponível para utilização; de poder simular com maior precisão os fenômenos de transmissão de calor do que os métodos simplificados de cálculo (em geral utilizados em regime estacionário) e para um período de tempo maior; de incorporar o estudo da iluminação natural do ponto de vista quantitativo (conservação de energia); de avaliar o desempenho térmico global do edifício (em termos de temperatura interna dos ambientes e em relação ao consumo de energia para resfriamento e aquecimento); de a simulação computacional ser recomendada como um mecanismo de avaliação energética de edifícios, por ser mais completa que os métodos simplificados de cálculo de temperaturas internas e/ou superficiais e os parâmetros normalisadores das propriedades térmicas dos componentes (resistência ou transmitância térmica); e de facilitar a substituição de variáveis de entrada para análises paramétricas.

Para a análise do desempenho térmico dos ambientes, a partir dos modelos protótipos (modelo sala de aula), através do DOE-2.1 E, utilizou-se o artifício de supor que os ambientes de simulação são condicionados artificialmente, com a fixação de uma temperatura do ar interno e dos set-points de resfriamento e aquecimento de acordo com a zona de conforto.

Através das simulações, é feito o cálculo das temperaturas do ar internas dos ambientes frente as suas solicitações térmicas, e o respectivo consumo de energia elétrica para resfriamento e aquecimento para a manutenção da temperatura do ar interna na zona de conforto especificada, sendo o consumo de energia maior quanto maiores forem as temperaturas internas dos ambientes acima da zona de conforto.

Como a situação na prática é a de ambientes não condicionados, será feita uma verificação de conforto térmico através das temperaturas do ar interno dos ambientes, calculadas sem o condicionamento arifical e os demais fatores ambientais e pessoais, segundo o método de **FANGER [1972]**, procurando verificar se existe correlação entre os níveis de conforto térmico (PMV e PPD) e o consumo de energia para resfriamento.

Uma vez verificada a correlação, é possível estimar os níveis de conforto térmico a partir das simulações com o DOE 2.1 E para Florianópolis SC.

Complementarmente a análise de desempenho térmico (análise de consumo de energia e análise de conforto térmico), será feita a verificação da economia em energia elétrica de iluminação artificial pelo uso da iluminação natural.

A análise das variáveis otimizadoras mencionadas, para o desempenho térmico e uso da iluminação natural, foi efetuada pela avaliação direta dos valores encontrados (escolha dos melhores valores de consumo do ponto de vista quantitativo), tomando-se decisões entre alternativas em cada etapa, assumindo-se que para as condições climáticas de Florianópolis, no horário diurno das 8 as 18 h, as necessidades de resfriamento e a economia de energia elétrica em iluminação pelo uso da iluminação natural são os critérios de avaliação adotados.

Será verificado quantitativamente quais as situações de projeto que proporcionam os melhores valores dos critérios adotados (menor consumo de energia para resfriamento; maior percentagem de redução do uso de energia elétrica com a utilização da iluminação natural) e os respectivos índices de conforto térmico - PMV, PPD; definindo as melhores situações de projeto para os ambientes escolares simulados.

1.3 OBJETIVOS:

1.3.1 OBJETIVOS GERAIS:

1. Estudo do desempenho térmico de edificações com ambientes não condicionados artificialmente (situação majoritária no Brasil), frente as intervenções na envolvente da edificação.

2. Estudo do desempenho térmico e do potencial de aproveitamento da iluminação natural para o projeto de edificações escolares (salas de aula), pela análise de variáveis formuladoras do projeto de arquitetura (variáveis de projeto/concepção; variáveis construtivas; variáveis de acabamento).

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO:

1. Determinação quantitativa das melhores situações de projeto de salas de aula em termos de consumo teórico de energia para condicionamento artificial; temperaturas internas do ar dos ambientes; economia de energia elétrica em iluminação pelo uso da luz natural; e em termos de conforto térmico dos ocupantes dos ambientes analisados (PMV e PPD).

1.4 HIPÓTESES:

Para o estudo efetuado, assumiu-se que:

1. Nos projetos de edificações escolares em Florianópolis, as preocupações quanto ao desempenho térmico da edificação e de aproveitamento da iluminação natural não são objetivamente consideradas nas decisões de projeto de arquitetura.

2. As variáveis formuladoras do projeto (variáveis de projeto/concepção; variáveis construtivas; variáveis de acabamento) interferem decisivamente no desempenho térmico das edificações frente as solicitações térmicas existentes e, possibilitam o aproveitamento da iluminação natural disponível.

3. A simulação computacional com o programa DOE- 2.1 E, é um mecanismo válido para o estudo do desempenho térmico e do aproveitamento da iluminação natural em edificações, na área de conservação de energia.

4. O consumo de energia para condicionamento artificial é proporcional ao distanciamento das temperaturas do ar interno dos ambientes à zona de conforto térmico, sendo um parâmetro válido como critério de avaliação.

5. O consumo de energia é uma situação teórica, sem sentido direto como valor, mas com validade como parâmetro para comparação das situações simuladas, já que as intervenções na envolvente da edificação e no uso de materiais construtivos e de acabamento, se manifestam facilmente no consumo de energia (consumo teórico de resfriamento-CTR e consumo teórico de aquecimento-CTA).

6. Com a comparação das situações de projeto analisadas e avaliação em cima dos critérios de CTR e CTA, pode-se avaliar as melhores soluções de projeto para as salas de aula simuladas.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO:

O capítulo 1 apresenta uma introdução às questões de desempenho térmico e uso da iluminação natural nas edificações, como também a justificativa para o estudo, os objetivos a atingir e as hipóteses adotadas no desenvolvimento do mesmo.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre desempenho térmico e uso da iluminação natural, onde são abordadas as principais questões inerentes a temática da dissertação.

O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada para a elaboração da pesquisa, a partir de um fluxograma explicativo, consistindo em: levantamento de dados, medições de campo, processo de simulação computacional.

No capítulo 4 são apresentadas as análises realizadas e os dados obtidos através das simulações dos modelos protótipos. Também é apresentada a comparação de diferentes situações de projeto frente aos critérios de avaliação adotados (menor consumo teórico de energia para resfriamento e maior economia de energia elétrica de iluminação com o uso da iluminação natural).

No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões, recomendações e limitações do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO	14
2.2 DESEMPENHO TÉRMICO	15
2.2.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	16
2.2.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS COMPONENTES	16
2.2.3 PROPRIEDADES RADIATIVAS QUANTO À RECEPÇÃO E EMISSÃO DE ENERGIA RADIANTE	18
2.2.4 VARIÁVEIS FORMULADORAS DO PROJETO E O DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES	19
2.2.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	21
2.2.6 O PROGRAMA DOE-2.1 E	23
2.2.6.1 Estrutura de Funcionamento e Cálculo do Programa DOE-2.1 E	23
2.2.6.2 Aplicações para o Programa DOE-2.1 E	26
2.2.6.3 Dados Climáticos Utilizados pelo DOE-2.1 E	26
2.2.7 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	27
2.2.7.1 MÉTODOS ADOTADOS	29
2.2.8 VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS INTERNOS PARA DIFERENTES TIPOS DE EDIFÍCIOS	31
2.2.9 DESEMPENHO TÉRMICO EM ESCOLAS	32
2.3 ILUMINAÇÃO NATURAL	34
2.3.1 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL	36
2.3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL	38
2.3.3 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL	39
2.3.4 AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	42
2.3.4.1 Modelos em Escala Reduzida	43
2.3.4.2 Técnicas Analíticas	43
2.3.4.3 Simulação Computacional	44
2.3.5 AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL COM O PROGRAMA DOE-2.1 E	45
2.3.5.1 Cálculo da Iluminância interna pelo DOE-2.1 E	46
2.3.5.2 Limitações do Cálculo da Luz Natural com o DOE-2.1 E	47
2.3.6 VARIÁVEIS FORMULADORAS DO PROJETO E A ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES	47
2.4 DESEMPENHO TÉRMICO E USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	48

2.1 INTRODUÇÃO:

A caracterização dos fatores que influenciam o desempenho térmico da edificação e a possibilidade de aproveitamento da iluminação natural, envolve principalmente os aspectos relacionados a determinação da configuração espacial da edificação e uso de materiais, definidos no início do processo projetivo e, geradores de uma determinada arquitetura.

No que se refere ao desempenho térmico e a iluminação natural de ambientes, a adequada tomada de decisões durante o processo projetivo possibilita, uma acentuada redução no consumo de energia, seja para o caso de resfriamento e aquecimento (para edifícios com condicionamento artificial); como para o caso da iluminação elétrica, a partir do uso da luz natural.

Neste sentido, de acordo com **HIRST in ROMÉRO [1991]**, os potenciais de redução do consumo de energia nas etapas de projeto do edifício podem ser de 0 a 10% no estudo preliminar, 40 a 50% no anteprojeto e de 30 a 40% no projeto executivo, ou seja, durante as fases de definição do projeto de arquitetura. No Brasil, acredita-se que estes potenciais sejam ainda maiores, principalmente no que se refere as etapas iniciais do processo de elaboração do projeto (partido arquitetônico, estudo preliminar).

A atenção quanto as questões de conservação de energia, possibilita à edificação um melhor desempenho, a um custo menor, e propicia condições ambientais internas mais próximas das de conforto térmico.

Segundo **ARZTEGUI [1993]**, é reconhecido que as primeiras decisões gerais da concepção arquitetônica - forma, orientação, distribuição espaço/funcional, transparências, etc, são decisivas para a qualidade térmica do espaço interior.

Assim, para que uma edificação dê respostas aceitáveis quanto a níveis térmicos, este condicionante, como vários outros (funcionais, formais, estéticos, econômicos, culturais, tecnológicos), deve ser estudado e previsto, ou melhor, incluído na fase de projeto da edificação.

O mesmo ocorre com o aproveitamento da iluminação natural, que precisa ser considerada desde as etapas iniciais do projeto, em integração com a iluminação artificial.

Como a arquitetura projetada e construída é a principal criadora do microclima do ambiente interno e do ambiente lumínico da edificação, a preocupação quanto as suas variáveis formuladoras é de fundamental importância durante o processo de elaboração do projeto.

2.2 DESEMPENHO TÉRMICO:

O conceito de desempenho térmico é a clara definição do comportamento térmico esperado dos materiais e dos componentes da envolvente da edificação, que participam da caracterização do desempenho térmico global da mesma, em termos das variáveis ambientais.

O desempenho térmico de uma edificação é influenciado pelas características espaciais da envolvente da edificação, no que se refere a sua forma, orientação, razão WWR, proteções solares, obstruções vizinhas; pelas características dos materiais construtivos, no que se refere as propriedades térmicas dos materiais e componentes; e em relação as propriedades dos materiais relativas à recepção e emissão de energia radiante; tudo isto influenciado pelas características climáticas a que a edificação está sujeita.

Estas características influenciam os processos de troca de calor existentes na edificação, descritas na figura a seguir:

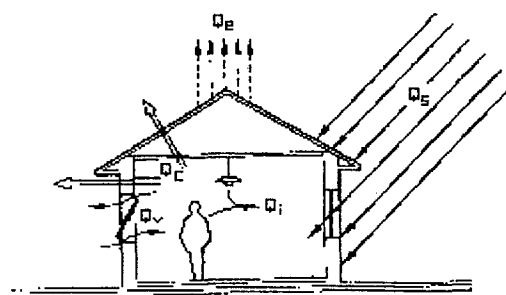


Figura 2.1: Trocas de calor entre a edificação e o meio externo.

Onde: Q_i = ganhos internos de calor

Q_s = ganhos de calor solar por radiação

Q_c = troca de calor por condução

Q_v = troca de calor por ventilação

Q_e = troca de calor por evaporação

2.2.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:

Condutividade térmica (k): $W/(m \text{ } ^\circ C)$

Calor específico (c): $kJ/(Kg \text{ } ^\circ C)$

Calor específico volumétrico (cd): $kJ/(m^3 \text{ } ^\circ C)$.

2.2.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS COMPONENTES:

Quando associados a uma espessura (L), os materiais de construção representam um determinado componente, homogêneo ou não, que apresenta diversas propriedades térmicas.

Capacidade térmica (cdL): $kJ/(m^2 \text{ } ^\circ C)$.

Resistência térmica (R): $(m^2 \text{ } ^\circ C)/W$.

Transmitância térmica (U): $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$). Representa o inverso da resistência térmica total (Rt), ou seja, a quantidade de calor transmitido de um meio a outro através de um fechamento, em regime uniforme, na unidade de tempo e por unidade de área, quando a diferença entre as temperaturas é igual a unidade; $U=1/Rt$.

Admitância (Y): $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$. Representa a relação entre o fluxo de calor gerado em um m^2 de fechamento pela oscilação cíclica da temperatura ambiente. Exprime a habilidade dos elementos construtivos de absorverem ou liberarem calor.

A admitância depende das propriedades térmicas das camadas próximas a superfície do fechamento, e é diretamente proporcional ao aumento de k,c,d.

Para elementos de capacidade térmica muito baixas (vidro, materiais isolantes), a admitância é de valor igual ou muito próximo ao da transmitância térmica.

Amortecimento (μ): Representa a capacidade de um fechamento em diminuir a amplitude das variações térmicas, em regime variável do tipo periódico.

O amortecimento é calculado em função da densidade e espessura (dL) e da resistência térmica do fechamento, dependendo então de c,k,d,L. O coeficiente de amortecimento possui valores entre 0 e 1, sendo que quanto maior for este valor, maior será a capacidade de amortecimento do fechamento.

Retardo $\Delta\tau$ (h): Representa o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento, em regime variável do

tipo periódico. Exprime a demora de ocorrer uma diferença térmica exterior em relação a superfície interior do fechamento.

O retardo é calculado em função da densidade e espessura (dL) e da resistência térmica do fechamento, dependendo também de c , k , d , L .

Fator solar S (com valores entre 0 e 1): válido somente para os fechamentos transparentes, representa a razão entre o ganho de energia através da janela e o ganho de energia através de uma superfície transparente comum (vidro claro 3 mm), quando as mesmas são simultaneamente expostas à ação direta da radiação solar, em igualdade de condições. É uma propriedade que considera no ganho de energia através da janela, a parcela de radiação transmitida, mais as parcelas transferidas para o interior por convecção e radiação térmica, devido ao aquecimento da janela promovido pela absorção de radiação solar.

Inércia térmica: representa o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento ou resfriamento dos materiais. Esta depende das características térmicas da envolvente, no que se refere aos componentes construtivos. Assim, a inércia térmica é função da densidade (d), da condutividade (k) e do calor específico (c), associados a espessura (L) de determinado fechamento, onde quanto maior a inércia térmica, maiores serão o amortecimento e o retardo.

A inércia térmica de um edifício representa o seu grau de isolamento térmico, que é função da resistência térmica e da capacidade térmica dos fechamentos existentes.

O isolamento térmico pode ser abordado sob três aspectos:

- Isolamento resistivo: relativo a capacidade de resistência à passagem de calor, função da resistência térmica.

- Isolamento refletivo: relativo a capacidade de reflexão e emissão do fluxo de calor, função da refletividade e da emissividade das superfícies.

- Isolamento capacitivo: relativo a capacidade térmica dos materiais, para o controle dos tempos de entrada do calor para o interior dos ambientes, função do calor específico (c), densidade (d) e espessura (L) dos fechamentos.

2.2.3 PROPRIEDADES RADIATIVAS QUANTO À RECEPÇÃO E EMISSÃO DE ENERGIA RADIANTE:

As propriedades relacionadas à capacidade dos materiais em relação à recepção e emissão da energia radiante, inerente a característica superficial dos materiais, são a absorvidade, refletividade, transmissividade e emissividade.

Estas propriedades são usualmente analisadas da seguinte forma:

Em relação à recepção da energia radiante incidente:

Para os fechamentos transparentes, a absorvidade (α), a refletividade (ρ), e a transmissividade (τ) são parcelas que variam de acordo com as propriedades destes fechamentos, onde a soma das três parcelas totalizam 100 % ($\alpha + \rho + \tau = 1$). Para os fechamentos transparentes a transmissividade é a maior parcela existente, sendo que para o vidro comum de 3 mm seu coeficiente é de valor 0,85.

Para os fechamentos opacos, a absorvidade (α) e a refletividade (ρ) são as parcelas existentes (não existe a transmissividade), totalizando 100 % da energia ($\alpha + \rho = 1$).

Assim, α, ρ, τ são as propriedades caracterizadoras da absorção, reflexão e transmissão da energia radiante incidente nos materiais.

Em relação a emissão de energia radiante:

A propriedade caracterizadora da emissão de energia térmica interna dos corpos, como energia radiante, é a emissividade (ϵ).

Do ponto de vista destas quatro propriedades, é importante fazer uma distinção entre o tipo da fonte de energia radiante:

- Corpo de alta temperatura (sol): radiação solar, em onda curta.
- Corpos a baixa temperatura (demais elementos que compõem o ambiente construído): radiação emitida pela energia interna destes corpos.

Para o desempenho térmico de edificações, verificamos o seguinte comportamento dos corpos opacos diante da energia radiante:

A absorvidade à radiação solar (onda curta) depende da cor do material, pois:

- materiais claros, absorvem pouco.

- materiais escuros, absorvem muito.

A absorvidade à radiação de onda longa é a mesma que a emissividade e depende das características do material, apresentando o seguinte comportamento:

- materiais metálicos são pouco absorventes e pouco emissores.
- materiais não metálicos são muito absorventes e muito emissores.

Todo material bom absorvedor é um bom emissor (num mesmo comprimento de onda) e a maior parte dos materiais de construção se enquadram nesta situação.

2.2.4 VARIÁVEIS FORMULADORAS DO PROJETO E O DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES:

As características espaciais da envolvente da edificação que influenciam o seu desempenho térmico são, de acordo com **BOGO [1995]**, as variáveis formuladoras otimizadoras do projeto de arquitetura: **forma; orientação; razão WWR; proteção solar;** juntamente com as **obstruções** no entorno da edificação.

Cada uma destas, influencia de determinada maneira o desempenho térmico do edifício (fisicamente constituído pelos materiais construtivos dos componentes) frente as solicitações térmicas existentes.

Forma: relacionada com o volume do edifício, e referente a quantidade de superfícies exteriores, já que o total dos fluxos de calor dentro e fora de um edifício é proporcional a área de superfícies externas.

Assim, é aconselhável sob o ponto de vista das perdas de calor do edifício, situação de inverno ou clima frio, uma menor área de superfície externa para um mesmo volume, sendo que um edifício compacto é mais eficiente termicamente que um extenso e/ou de forma recortada. Para a situação de verão ou ganho de calor, a menor área de superfícies externas também é adequada, no entanto um edifício de forma recortada apresenta o benefício do auto-sombreamento.

Este total de fluxos de calor do edifício aumenta, conforme a área de superfícies exteriores devido ao ganho solar; e devido aos ganhos por infiltração, referente a maior ou menor área exterior sujeita a infiltração pelas aberturas existentes.

Neste sentido, os diferentes ambientes de uma edificação também estão expostos a solicitações térmicas de forma diferenciada, ou seja, comportamento térmico diferenciado devido a sua posição em planta e em volume, como os ambientes em contato com o solo (térreos), em pavimento intermediário ou de cobertura, assim como se possuem uma ou mais paredes externas (ambientes em meio ou em canto de planta).

Orientação: relacionada com a incidência de radiação solar de maneira diferenciada devido ao ângulo de incidência da mesma nas diversas superfícies exteriores e/ou aberturas, e relacionada com os ganhos por infiltração, devido a ação da carga de ventos nos planos externos.

A quantidade de energia radiante admitida pela edificação, como ganho solar pelas aberturas, e como ganho por condução pelas superfícies exteriores (paredes principalmente), é variável ao longo do dia e do ano, com variação mais significativa para as localidades em latitudes médias e altas.

Razão WWR (razão entre área de janela e área de fachada): relacionado com a quantidade de energia térmica radiante (radiação solar) que penetra nos ambientes sob a forma de ganho solar; e relacionado com a maior ou menor carga por infiltração, devido a dimensão das frestas das aberturas.

Está estreitamente ligada a orientação, pois para uma mesma área de janelas, tem-se diferentes ganhos solares, conforme a orientação a que estejam expostas.

Proteção solar: relacionado ao ganho solar diferenciado pela existência ou não de proteções junto as aberturas (beiral, marquise), já que estas atuam como barreira à transmissão de calor por radiação (radiação solar) para o interior da edificação pelas aberturas.

Afetam também os ganhos por condução pela janela (vidro+caixilho) e os ganhos por infiltração (devido a maior proteção das aberturas à ação do vento).

Obstruções: referente a existência de obstáculos no entorno do edifício (edificações vizinhas), afetando principalmente o ganho solar na edificação (pelo sombreamento

efetuado) e a ação de ganhos por infiltração (pelo bloqueio de movimentos de ar direcionais - ventos).

O efeito das obstruções é mais considerado, quando se trata de obstáculos na direção das aberturas, que normalmente recebem um maior ganho de calor solar.

2.2.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO:

Na avaliação do desempenho térmico de um edifício utilizam-se diversos métodos, aplicáveis a edifícios em uso e a edifícios não construídos (na fase de projeto), utilizando-se de diferentes critérios de avaliação.

Pode-se citar como principais os seguintes métodos:

1. Experimentais: destinado a avaliação de desempenho térmico de edificações já construídas, em escala real ou através de protótipos, possibilitando a constatação efetiva das condições ambientais no interior da edificação, necessitando para tal um considerável rigor (precisão) nas medições. É normalmente um método de avaliação que acarreta dificuldades operacionais (dada a sua natureza), com razoável dispêndio de recursos materiais e humanos, custo e espaço de tempo elevados.

2. Cálculos matemáticos: destinado principalmente a avaliação de edificações não construídas (na fase de projeto) e de edificações já construídas em uso.

Estes métodos podem ser divididos em:

- Cálculos simplificados: rápidos, com ou sem o auxílio do computador; com pouca precisão quanto à representação física dos fenômenos de transmissão de calor; são adequados quando utilizados como critério para comparação de diferentes soluções construtivas e/ou de projeto.

- Cálculos complexos com auxílio de computador: com maior precisão quanto à representação física dos fenômenos de transmissão de calor, funcionando com diferentes algoritmos de cálculo e mais adequados para análises globais de edificações, análises paramétricas, análises com grande número de variáveis envolvidas.

Nos métodos simplificados, calcula-se em conjunto ou separadamente os seguintes parâmetros:

A. Temperatura do ar interno (média, máxima, mínima).

B. Temperatura superficial interior de fechamentos exteriores.

C. Consumo de energia para condicionamento artificial (resfriamento e aquecimento).

D. Propriedades térmicas de componentes da edificação, como resistência e transmitância térmica.

Estes cálculos são na sua maioria em regime uniforme, não considerando a armazenagem de calor pelos materiais e componentes e a variação de temperaturas externas ao longo do tempo.

Os métodos complexos, como os códigos de simulação computacional dos fenômenos de transmissão de calor em edificações, apresentam diferentes tipos de resultados, como os parâmetros calculados para os métodos simplificados (como já mencionados) e uma grande quantidade de outras informações.

Estes programas computacionais, originalmente desenvolvidos em mainframes e minicomputadores, estão hoje sendo usados em PCs e estações de trabalho, sendo que para as estações, o sistema operacional mais utilizado é o UNIX, enquanto que para os PCs, o sistema operacional é o DOS, existindo para muitos programas interface para o ambiente WINDOWS.

O uso de estações de trabalho tem a vantagem da maior capacidade de processamento, como também saídas gráficas incorporáveis, contrastando com os preços mais baixos do PC e de seus aplicativos.

Entre os principais programas de simulação energética de edificações e os respectivos métodos de resolução, destacam-se:

- ARCHIPAK (Austrália); BRE (Inglaterra); e SETI, que utilizam o método da admitância;
- NBSLD, HVACSIM, BLAST e DOE-2 (EUA), que utilizam o método dos fatores de resposta;
- ESP (Escócia), que utiliza o método das diferenças finitas;
- COMFIE (França), que utiliza o método da análise modal.

Dos programas mencionados, citam-se que o ESP é considerado o padrão europeu e, o DOE-2 é tido como o padrão de referência para os Estados Unidos (utilizado para o desenvolvimento de normas para conservação de energia). Este último, incorpora cálculos de iluminação natural e controle de iluminação artificial.

Com esta referência, potencialidade e disponibilidade para utilização, o DOE, na versão 2.1 E, foi adotado para a elaboração desta dissertação.

2.2.6 O PROGRAMA DOE-2.1 E:

O DOE-2.1 E é um programa computacional de domínio público para análise energética de edifícios, desenvolvido pelo Building Energy Simulation Group do Lawrence Berkeley Laboratory em conjunto com a University of Califórnia, Estados Unidos, um programa de referência com elevado prestígio internacional.

Neste software, através da simulação energética, avalia-se o desempenho térmico da edificação (com o cálculo do consumo de energia a partir de temperaturas médias para as zonas especificadas, da descrição da edificação e dos equipamentos de condicionamento artificial dos ambientes) e o potencial de uso da iluminação natural (sob o ponto de vista energético), com base em um arquivo de dados climáticos, permitindo ao projetista determinar a escolha de parâmetros construtivos e de equipamentos que melhorem a eficiência energética do edifício, mantendo condições de conforto térmico.

O código está implementado na linguagem FORTRAN, sendo utilizado em grande variedade de plataformas, como DOS e UNIX, sendo esta última a utilizada nesta dissertação, através de estações de trabalho SUNs.

O DOE-2.1 E não pretende ser a única fonte de informação sobre o projeto de edifícios, entendendo-se ainda o julgamento e a experiência de arquitetos/engenheiros como os mais importantes elementos do projeto do edifício.

2.2.6.1 ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO E CÁLCULO DO PROGRAMA DOE-2.1 E:

O DOE-2.1 E possui cinco partes, conforme a figura a seguir apresentada, sendo um programa para interpretação de dados e quatro subprogramas de simulação. Estes quatro subprogramas são executados em sequência, onde a saída de um é a entrada de dados do próximo. Cada um dos quatro subprogramas de simulação produzem relatórios com os resultados dos cálculos efetuados de acordo com a especificação e dependendo da análise pretendida, um ou outro subprograma pode não ser utilizado.

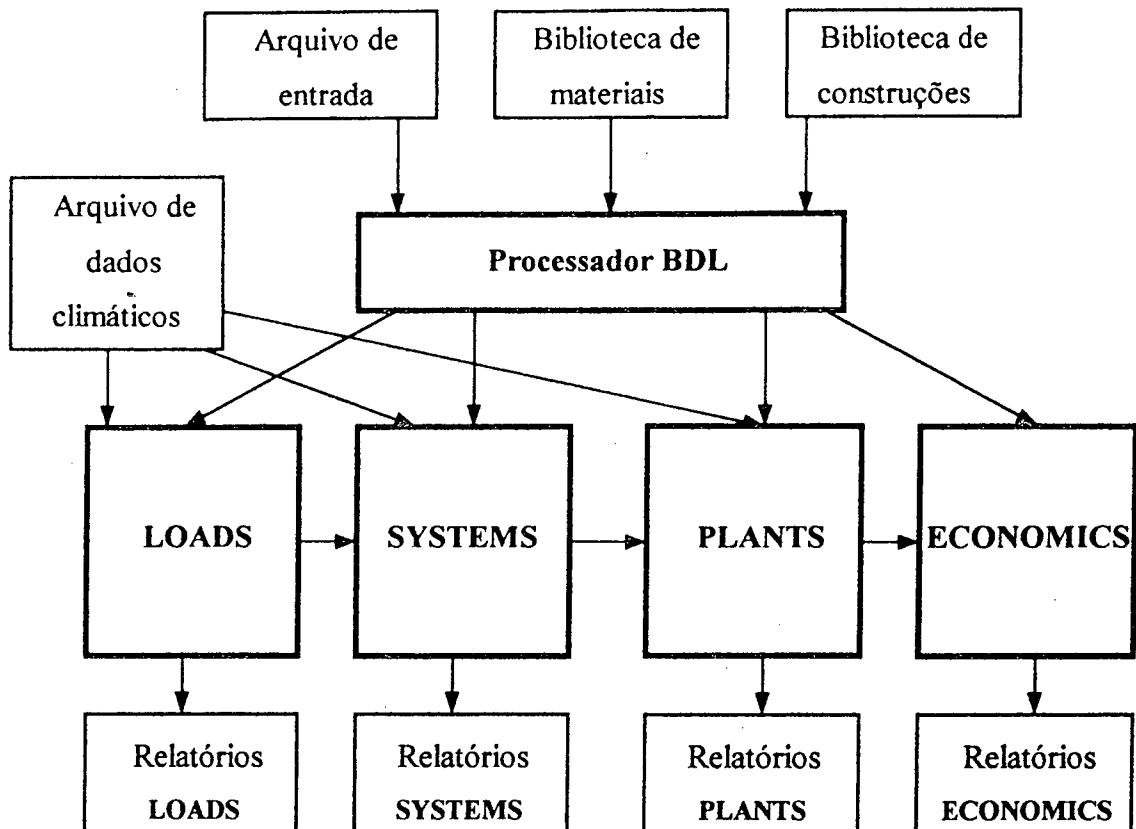


Figura 2.2: Fluxograma do programa DOE-2.1 E.

PROCESSADOR BDL (BUILDING DESCRIPTION LANGUAGE):

Utilizado pelo DOE-2.1 E para a entrada de dados, permitindo ao usuário fornecer as informações necessárias para determinar o consumo de energia do edifício. Para a redução de tempo de preparação da entrada, pode-se omitir a entrada de dados de algumas variáveis, para o qual o BDL assume o valor de *default*.

SUBPROGRAMA LOADS:

Calcula as componentes sensível e latente das cargas horárias de resfriamento e aquecimento para cada espaço de edifício definido, assumindo que cada espaço possui uma temperatura constante especificada.

Estas cargas calculadas, são função de vários parâmetros, sendo os principais os seguintes:

- Latitude, longitude e altitude local;
- Orientação do edifício;
- Condutividade térmica, densidade e calor específico dos materiais construtivos utilizados;
- Espessura e sequência de camadas de materiais utilizados em cada componente de construção;
- *Schedules* (padrões) de ocupação, iluminação, infiltração e equipamentos;
- Taxas de infiltração;
- Posicionamento dos espaços em relação ao edifício e das paredes, piso, teto em relação a cada espaço.

SUBPROGRAMA SYSTEMS:

O SYSTEMS simula o sistema secundário de condicionamento de ar. O LOADS produz a primeira aproximação da demanda de energia do edifício, enquanto o SYSTEMS corrige esta aproximação considerando os requerimentos de ar externo, horas de funcionamento do equipamento, estratégias de controle do equipamento (fixação de *set-points* de temperaturas e períodos de funcionamento).

No SYSTEMS é possível simular uma grande variedade de sistemas de condicionamento de ar, conforme o mais adequado para cada tipo de análise.

SUBPROGRAMA PLANT:

O PLANT simula o sistema primário de condicionamento de ar, simulando o comportamento de boilers, chillers, torres de resfriamento, etc, de acordo com as cargas de resfriamento e aquecimento do sistema secundário. O PLANT calcula o consumo de energia do edifício, para os diferentes tipos de uso desta (iluminação, resfriamento, aquecimento, equipamentos, bombas).

Para o PLANT, com a definição anterior do tipo de equipamento condicionador do ar utilizado (no SYSTEMS), existe a opção pelo autodimensionamento dos equipamentos especificados.

SUBPROGRAMA ECONOMICS:

Utilizado para a análise econômica, calculando o custo da energia consumida no edifício, de acordo com a estrutura tarifária adotada. Pode ser utilizado para comparar os custos de operação de diferentes projetos de edifícios ou para calcular a economia possível para edifícios já existentes, a partir de melhorias implementadas.

2.2.6.2 APLICAÇÕES PARA O PROGRAMA DOE-2.1 E:

As principais aplicações onde o DOE-2.1 E pode ser utilizado, são aquelas que envolvem o projeto do envelope do edifício e do equipamento de condicionamento de ar.

Dentre as principais, no âmbito da dissertação, citam-se os estudos de conservação de energia, com a consideração do impacto de:

- Espessura, sequência e tipo de materiais, e orientação de paredes externas e coberturas;
- Armazenamento térmico em paredes e pisos;
- Ocupação, iluminação e *schedules* de equipamentos;
- Sombreamento interno e externo, vidros colorizados e refletivos, uso da iluminação natural.

2.2.6.3 DADOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS PELO DOE-2.1 E:

O programa utiliza para a simulação do desempenho térmico (como também para o cálculo da iluminação natural), um arquivo de dados climáticos de Florianópolis, arquivo meteorológico do tipo TRY (Test Reference Year), contendo os dados de um ano típico, preparado por GOULART [1993], com as seguintes informações para as 8760 (24 X 365) horas do ano:

- Mês, dia, hora;
- Temperatura de bulbo seco (TBS);
- Temperatura de bulbo úmido (TBU);
- Umidade relativa do ar (UR);
- Direção do vento;
- Pressão barométrica;
- Nebulosidade;

- Radiação solar (estimada a partir da nebulosidade).

Neste arquivo climático também foram incorporados a latitude, a longitude e a hora local oficial da região, de acordo com o meridiano de referência.

2.2.7 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO:

Existem diversos métodos para avaliação do desempenho térmico de edificações (com o cálculo de parâmetros ambientais) para a verificação da adequabilidade ou não destes parâmetros, comparando-os posteriormente com índices e escalas de conforto térmico, parâmetros normalisadores de consumo de energia ou de transmitância térmica de componentes.

Esta verificação do desempenho térmico de edificações, envolve a avaliação de conforto térmico dos ocupantes, pois na medida em que sejam atendidas as condições de conforto térmico, a edificação responde de maneira adequada em termos de desempenho térmico.

Neste sentido, pode-se citar como um dos principais métodos de avaliação de conforto térmico, o método a seguir apresentado:

Método de FANGER [1972]: índices PMV (voto médio estimado) e PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas), calculados a partir da temperatura do ar, temperatura radiante média do ar, velocidade do ar, umidade relativa do ar, atividade metabólica dos ocupantes, vestimenta utilizada pelos ocupantes, para a verificação de níveis de conforto térmico e identificação de desconforto localizado por: não uniformidade da temperatura do ar no sentido vertical; assimetria de campo radiante. Estes parâmetros são comumente utilizados para avaliação de conforto térmico em ambientes por medições de campo e são os parâmetros de avaliação de conforto térmico utilizados na norma ISO 7730 [1984].

Escala do PMV (voto médio estimado em relação à sensação térmica):

- + 3 muito calor
- + 2 calor
- + 1 leve sensação de calor
- 0 neutro

- 1 leve sensação de frio
- 2 frio
- 3 muito frio

PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas com a sensação térmica): para o melhor valor de PMV (zero), tem-se um mínimo de 5% de pessoas insatisfeitas (estatisticamente definido). O aumento do PPD varia de acordo com uma curva representativa para cada valor correspondente de PMV, conforme a seguir apresentado:

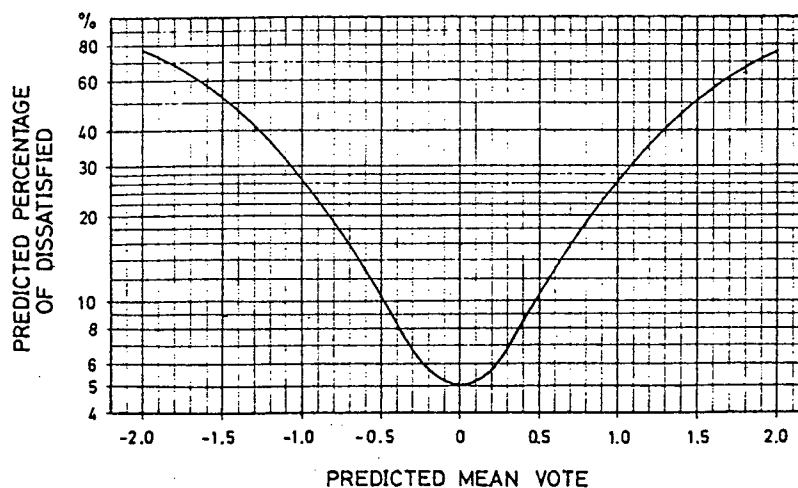


Figura 2.3: Variação do PPD em função do PMV.

Também citam-se outros tipos de métodos , como os seguintes:

Cálculo do consumo de energia para resfriamento e aquecimento: cálculo do consumo de energia necessária para condicionamento do ar interno de um ambiente, em regime uniforme ou periódico, a partir do cálculo da respectiva carga térmica (ganhos de calor solar pela envolvente, ganhos de calor devido a ocupantes, equipamentos, etc). No cálculo da contribuição de cada componente da edificação (paredes externas, cobertura, janelas), é possível verificar a diminuição na carga térmica, quando incorporado aos vários componentes, materiais que melhorem o seu desempenho térmico.

Método mencionado por ALUCCI [1992]: cálculo da temperatura do ar interno máxima e mínima mensais, em regime variável do tipo periódico (para os meses que o ambiente não precisa de condicionamento artificial) e comparação com as condições de conforto térmico da região, expressas em função da temperatura de neutralidade térmica, esta com base na temperatura do ar externa anual ou mensal; cálculo da temperatura

superficial interior dos componentes verticais e horizontais, visando detectar desconforto localizado no que se refere a planos irradiantes e para evitar a condensação superficial; e cálculo da energia gasta em resfriamento e aquecimento para os meses com condicionamento artificial.

Método mencionado por FROTA et al [1988]: cálculo em regime uniforme da temperatura do ar interna máxima e comparação com índices de conforto: temperatura efetiva ou índice de conforto equatorial.

Método mencionado por RIVERO [1986]: cálculo em regime periódico das temperaturas superficiais internas mínima de inverno e máxima de verão para os fechamentos, comparando com temperatura interna do ar desejada para inverno e verão, verificando-se a variação encontrada.

Método mencionado por SZOKOLAY [1987]: cálculo em regime uniforme (inverno) e variável do tipo periódico (verão) da temperatura do ar interno dos ambientes e comparação com uma temperatura de neutralidade térmica, formadora de uma zona de conforto, demarcada sobre uma carta psicrométrica.

Método mencionado por AROZTEGUI [1993]: em regime uniforme (inverno) e variável do tipo periódico (verão), baseado na fixação de uma temperatura interna do ar média para inverno e do cálculo respectivo dos fluxos de calor necessários para se manter esta temperatura, e na diferença entre a temperatura do ar máxima e temperatura do ar média internas, denominada flutuação da temperatura interna.

2.2.7.1 MÉTODOS ADOTADOS:

Na elaboração desta dissertação, foi adotado como método de avaliação do desempenho térmico, o cálculo do consumo teórico de energia para resfriamento e o respectivo reflexo deste consumo nas condições de conforto térmico interno dos ambientes simulados.

Para isto foram feitos dois tipos de análise, análise de consumo de energia e análise de conforto térmico.

- Análise do consumo de energia:

O consumo de energia, é um parâmetro usual de avaliação do desempenho térmico de edificações condicionadas artificialmente (resfriamento e aquecimento).

No consumo, se manifestam claramente as intervenções quanto ao projeto da envolvente da edificação (sombreamento, área de janelas, materiais construtivos e de acabamento em paredes externas e cobertura).

Assim, como o consumo de energia é bastante sensível às variações da carga térmica da edificação, frente as ações climáticas, o mesmo foi considerado como critério para avaliação das diferentes situações analisadas, sendo que este é apenas um valor teórico para comparação de situações, definido como consumo teórico de resfriamento (CTR) e consumo teórico de aquecimento (CTA), em virtude de na situação prática não haver condicionamento artificial dos ambientes escolares (sala de aula).

Uma edificação com uma maior carga térmica interna, proveniente dos diversos ganhos de calor, tem um maior consumo de energia para condicionamento artificial; no entanto, quando se tratam de edificações não condicionadas artificialmente (a situação prática das salas de aula), o recurso da ventilação natural pode ser utilizado nos períodos de calor para dissipação de parte do calor interno da edificação (quando a temperatura do ar externo é menor que a temperatura do ar interno), recurso este que na análise de CTR não é utilizado, pois a ventilação natural é incompatível com o condicionamento artificial.

Na análise de consumo de energia, o programa utilizado, DOE-2.1 E, calcula o mesmo a partir do gasto de energia necessário para manter os níveis de temperatura dentro da faixa de *set-points* especificada, calculando então o consumo de energia a partir da temperatura média do ar de cada ambiente simulado.

- Análise de conforto térmico:

Como mencionado anteriormente, um menor consumo de energia para resfriamento do ar, se reflete em menores temperaturas internas do ar, ou seja, temperaturas mais próximas das condições de conforto térmico de verão. Para o inverno, um menor consumo de energia para aquecimento do ar, se reflete em maiores temperaturas internas do ar, mais próximas das condições de conforto térmico de inverno.

Estas temperaturas internas, juntamente com outras variáveis ambientais (TRM, Var, UR) e variáveis pessoais (vestimenta e atividade metabólica), influenciam nas diferentes sensações de conforto térmico dos ocupantes dos ambientes.

Sendo assim, as temperaturas internas do ar dos ambientes, são calculadas pelo DOE-2.1 E como a temperatura média do ambiente, considerando a não existência de condicionamento artificial do ar (a situação usual das salas de aula) e, considerando

também o recurso da ventilação natural, com a situação de janelas e porta abertas para ventilação cruzada, no sentido de redução das temperaturas internas do ar, para as condições de verão.

Desta forma, com o cálculo das temperaturas internas do ar, mais a especificação das demais variáveis de conforto térmico, para os diferentes meses e estações do ano, de acordo com as características físicas dos ambientes simulados, é possível avaliar as condições de conforto térmico pelo método de **FANGER [1972]**, com o cálculo dos índices de avaliação de conforto térmico PMV (voto médio estimado) e PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas), referente a resposta dos ocupantes dos ambientes simulados frente a sensação térmica apresentada pelos mesmos.

2.2.8 VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS INTERNOS PARA DIFERENTES TIPOS DE EDIFÍCIOS:

Na formulação do projeto envolvem-se as variáveis de projeto/concepção; materiais construtivos; características de acabamento. Estas variáveis influenciam diretamente na envolvente da edificação, na relação com as trocas de calor entre a mesma e o meio externo.

Segundo **GIVONI [1976]**, podem ocorrer variações nos valores dos elementos climáticos internos da edificação, variação esta de acordo com a ação de projeto:

Radiação solar:

- Absorvida em paredes: de 15 a 90% da radiação solar incidente, conforme a cor da superfície externa.

-Que atravessa as janelas: de 10 a 90% da radiação solar incidente, conforme as características físicas do vidro e do tipo do dispositivo de proteção solar.

Amplitude da temperatura do ar interno:

De 10 a 150% da amplitude de temperaturas externa.

Temperatura interna do ar máxima:

De -10 a +10 C a partir da temperatura do ar máxima externa.

Temperatura interna do ar mínima:

De 0 a +7 C a partir da temperatura do ar mínima externa.

Temperatura superficial interna:

De -8 a +30 C a partir das temperaturas do ar máxima e mínima externas.

A relação da temperatura interna do ar para a temperatura externa do ar e temperatura superficial interna, depende de:

- cor externa do fechamento
- materiais construtivos (propriedades térmicas)
- dimensão e sombreamento das janelas
- ventilação

Velocidade do ar interna média com janela aberta:

De 15 a 60% da velocidade do vento externa.

Com efeito de ventilação cruzada, a velocidade interna do ar média pode ir de 60 a 120% da velocidade do vento livre externa.

Velocidade do ar em qualquer ponto do ambiente:

De 10 a 120% da velocidade do vento externa.

Pressão de vapor interna (umidade relativa do ar):

De 0 a 7 mm de Hg sobre nível externo.

Igual a externa para edifícios ventilados; e para edifícios compactos com janelas fechadas por dias, pode ir a 7 mm de Hg sobre o nível externo.

2.2.9 DESEMPENHO TÉRMICO EM ESCOLAS:

Considerando a questão da tomada de decisões projetuais corretas, frente aos condicionantes térmicos, o que verifica-se é que esta adequação pode e deve ser feita com grandes resultados, através de pequenas ações de projeto, usualmente definidas como recomendações para projeto.

AZEVEDO e BASTOS [1995], recomenda a atenção para os projetos escolares no Rio de Janeiro, com relação aos seguintes elementos: implantação (fachadas com maiores dimensões para norte e sul; utilização de grandes espaços abertos entre os blocos de salas de aula, favorecendo a penetração dos ventos); ventilação/aberturas (ventilação cruzada, com aberturas em paredes opostas; vão das janelas para norte e sul); proteção e sombreamento (proteção da fachada norte com beirais, brises, etc; utilização de vegetação para as fachadas leste e oeste); materiais e padrão construtivo (acabamentos em cores

claras; cobertura com forro isolante e com ventilação no ático; evitar a utilização de materiais de pequena espessura sozinhos; utilização de 3 m de pé-direito mínimo).

Segundo **ORNSTEIN [1995]**, numa análise quanto ao conforto térmico tomada a partir da impressão dos usuários e vistoria técnica de campo (para uma amostra de 27 escolas da rede estadual de ensino de São Paulo, localizadas na região metropolitana da capital), verificou-se que:

- Para a cobertura, em 63% da amostra, não existe tratamento térmico.

- Para as temperaturas do ar internas (relativo as salas de aula):

No verão, 55% ficaram como moderadas e 40% como elevadas

No inverno, 30% ficaram como moderadas e 63% como baixas.

Também verificou-se que:

Para o inverno, a ventilação foi considerada ineficiente (relativo as salas de aula).

Para o verão, a ventilação ficou em 33% como ótima e 52% como satisfatória (relativo as salas de aula).

Ainda, no que se refere ao ganho solar pelas aberturas, em 63% das escolas foi verificado a existência de incidência direta de radiação solar no plano de trabalho.

Na verificação do desempenho térmico das edificações escolares, identifica-se que, segundo o **IPT [1987]**, as condições de não uniformidade do ambiente não são comuns para as escolas, e estas edificações são usualmente avaliadas de forma similar as habitações convencionais.

No entanto, pode-se considerar algumas diferenças nas edificações escolares, inerentes a sua natureza:

- Horários definidos com períodos compactos de utilização;
- Taxa de ocupação constante e elevada;
- Ausência de fontes de calor significativas, no que se refere a equipamentos internos, mas sim no que se refere aos ocupantes;
- Dimensão padronizada dos espaços das sala de aula;
- Faixa de variação da relação WWR reduzida.

Considerando então que as características de uniformidade dos ambientes das salas de aula são comuns, e que os programas computacionais de simulação consideram a temperatura interna do ar uniforme, temos um fator positivo para considerar na avaliação das condições de conforto térmico, temperaturas internas do ar dos espaços simulados.

2.3 ILUMINAÇÃO NATURAL:

De acordo com **CARVALHO [1983]**, as decisões a respeito do uso da iluminação natural devem ser tomadas numa fase inicial de projeto, juntamente com os outros aspectos que com ela se articulam.

É na fase inicial de projeto que são definidas as características físicas/espaciais da envolvente da edificação, uso de materiais construtivos e de acabamento.

Com estas definições, identificam-se os principais determinantes do projeto quanto a quantidade de iluminação natural num edifício, que são:

- Área efetiva de envidraçado em relação a área do pavimento;
- Dimensões do ambiente: pé-direito e profundidade;
- Localização e distribuição das janelas;
- Localização de obstruções externas e internas;
- Características refletoras das superfícies interiores.

Considerando a incorporação do uso da iluminação natural, identifica-se a necessidade de uma nova postura projetual que incorpore a iluminação natural como mais um item de projeto.

COOPER [1984], identificou uma série de barreiras para a exploração da iluminação natural no projeto de edifícios na Inglaterra, a partir de uma investigação com arquitetos e engenheiros a partir do estudo amostral. As principais desvantagens atribuídas para o uso da iluminação natural foram: os problemas do ganho de calor solar ou insolação direta; problemas de ofuscamento; variabilidade da intensidade da iluminação natural; necessidades para controles ou sombreamento. Como principais vantagens foram: benefícios emocionais ou psicológicos a partir do contato com o meio exterior; variabilidade da intensidade da iluminação natural; qualidade da iluminação natural/satisfação e preferência

dos ocupantes pela luz natural; efeito de direcionalidade e modelagem/recurso natural gratuito.

Também de acordo com este trabalho, a redução no consumo de energia foi identificada em ordem de citação, apenas como a quinta vantagem mais importante, superada pelas quatro anteriormente mencionadas.

A utilização da iluminação natural em edificações deve ser feita de forma integrada com a iluminação artificial, para a redução da sua utilização, com conseqüente redução do ganho de calor das lâmpadas; e em relação apropriada com a questão do desempenho térmico da edificação, devido aos ganhos de calor solar proveniente do ganho em luz natural.

Para as edificações escolares, devido a sua natureza de atividade, a utilização de uma luz de melhor qualidade a um custo nulo é de grande importância, na medida em que se pode economizar energia elétrica em iluminação artificial, com melhoria do ambiente visual e benefícios psicológicos e fisiológicos.

Para a economia em energia elétrica e a manutenção de níveis de iluminamento adequados, deve existir um sistema de controle para a iluminação artificial, de forma a utilizá-la no todo ou em partes, de acordo com o iluminamento natural disponível.

Em relação ao potencial de aproveitamento da iluminação natural do ponto de vista de conservação de energia, verifica-se que este é grande, podendo variar de 30 a 70%, conforme **THE EUROPEAN COMMISSION [1994]**.

Também neste sentido, de acordo com **GATES e WILCOX [1984]**, numa análise de iluminação natural para salas de aula usando o DOE-2.1 B, realizada para três cidades da Califórnia (incluídas em três zonas climáticas diferentes), as economias em iluminação foram maiores de 90%. Neste trabalho, a economia verificada foi de valores similares para diferentes conceitos de iluminação, como a iluminação lateral, a iluminação por aberturas no teto e a iluminação zenital.

Segundo **THAM [1993]**, num trabalho de simulação com o DOE-2.1 E sobre edifícios de escritórios condicionados artificialmente em Singapura, a inclusão da iluminação natural foi o parâmetro de maior influência na redução do consumo de energia total, com 25,1%, seguido da diminuição da densidade de potência em iluminação, que pode ser reduzida dos níveis altíssimos, preconizados pelos usos, com redução de 12,8%.

SOUZA [1995], também trabalhando com simulação com o DOE-2.1 E, referente a um edifício protótipo de escritórios condicionados artificialmente em Florianópolis SC, menciona a economia em energia elétrica para iluminação na faixa de 35 a 70 %, dependendo da combinação dos parâmetros utilizados na análise (profundidade da sala, potência de iluminação, orientação da fachada envidraçada, nível de iluminamento).

MASCARÓ e MASCARÓ [1992] citam que o Brasil tem a sua abóboda celeste bem iluminada, permitindo nos edifícios bem projetados, a dispensa de iluminação artificial na maioria das horas do dia.

Com isto, considera-se que atualmente a iluminação natural é uma alternativa tecnológica, assim como a luz elétrica foi a cem anos atrás.

O consumo em energia devido a iluminação artificial é o dominante nos edifícios que não possuem condicionamento artificial de ar, como o caso das edificações escolares, e a redução do seu uso, a partir do aproveitamento da iluminação natural, propicia além de conservação de energia, um menor ganho interno de calor devido a menor quantidade de horas que a iluminação artificial permanecerá ligada, dissipando calor.

2.3.1 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL:

A luz natural possui características próprias à sua natureza, como o fato de ser variável, em intensidade e espectro ao longo do dia, de dia para dia, de estação para estação e de local para local, sendo que o seu uso pode ter ramificações por todos aspectos do processo de projeto do edifício, desde planejamento urbano até o projeto interno do ambiente. O seu uso pode afetar o lay-out dos espaços, o conforto térmico, visual, a estrutura, o uso da energia no edifício, o tipo e uso da iluminação artificial, e os sistemas de controle da iluminação artificial.

A luz natural é a combinação da luz do sol com a luz do céu e possibilita a melhor reprodução das cores, melhor definição de objetos, que influenciam na habilidade de ver objetos e desempenhar tarefas visuais.

Fontes da luz natural:

A iluminação natural que entra num espaço, como já visto, varia de acordo com o tipo de céu existente, sendo estes classificados em diferentes modelos, como os seguintes:

- Céu encoberto: com distribuição de luminâncias uniforme, onde a fonte primária de luz é a atmosfera difusora do céu, proporcionando a penetração mais profunda da luz dentro do ambiente. As sombras são suaves e o brilho deste céu tem um aumento na direção da linha de horizonte, sendo que em algumas horas o brilho deste céu é maior que do céu claro.

- Céu claro: com distribuição de luminâncias não uniforme, onde a fonte principal de luz é a abóboda celeste, com distribuição de luminâncias influenciada de acordo com a “trajetória do sol”; proporciona uma fonte de luz que estabelece sombras fortes.

- Céu parcialmente claro/encoberto: é o céu real, de difícil modelagem matemática, devido a constante variação das condições do céu.

A iluminação natural não substitui o uso dos sistemas de iluminação artificial, pois quando a luz natural for insuficiente (inverno, hora do dia, noite), o sistema artificial é necessário, sendo que a chave para a integração entre os dois sistemas é a estratégia de controle da iluminação artificial, de forma a poder complementar por partes a iluminação natural quando insuficiente, nas diversas zonas lumínicas existentes no ambiente, desde a mais próxima da janela, a intermediária, e a mais afastada.

Ao encontro disto, **CARVALHO [1983]**, classifica os locais de acordo com a sua disponibilidade de luz natural, em três níveis:

- Locais iluminados primordialmente pela luz natural: corresponde em geral aos locais pouco profundos. Devido a variabilidade da luz natural, esta nem sempre assegurará condições de iluminação suficientes, sendo necessário nos dias mais escuros fazer uso da luz artificial.

- Locais iluminados primordialmente pela luz artificial: corresponde em geral aos locais profundos ou tendo uma área de vãos muito reduzida. Uma instalação de luz artificial preparada para assegurar um nível de iluminação uniforme é em geral suficiente.

- Locais iluminados simultaneamente pela luz natural e artificial: corresponde aos locais onde a iluminação natural e a artificial são de importância idêntica. A luz artificial não deverá limitar-se a assegurar o nível de iluminação desejado, mas também estabelecer um equilíbrio de luminosidades no local.

Também de acordo com este trabalho, a situação mais comum encontrada em edifícios escolares é a referida em primeiro e terceiro lugares.

Com o aproveitamento da luz natural, em maior ou menor grau, o consumo de energia elétrica de iluminação durante o dia, será apenas necessário num número limitado de horas diurnas ao longo do ano.

Para a iluminação natural, a quantidade de aberturas envidraçadas existentes é menos importante do que como são distribuídas e localizadas, e o seu uso pode ser abordado a partir de um sistema para a iluminação natural.

Segundo **CARVALHO [1983]**, referente a um estudo sobre o projeto de um edifício destinado a gabinetes de trabalho e salas de reunião na Inglaterra, o consumo de energia com a variação da área das janelas era aproximadamente constante na faixa de 30 a 60% de WWR, concluindo que a influência da área de janelas no consumo de energia era praticamente desprezável entre os limites mencionados, segundo o referido estudo.

Esta pequena variação do consumo de energia frente a variação de WWR, é aparentemente devida a predominância do céu do tipo encoberto, predominante na região do estudo.

2.3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Segundo **ROBBINS [1986]**, a proposta de um sistema de iluminação natural, semelhante a qualquer outro sistema de iluminação, é prover uma razoável quantia de luz onde esta é necessária na edificação, enquanto assegura bom desempenho visual e produz suficiente contraste de iluminação para o conforto visual.

Um sistema de iluminação natural inclui todas as necessidades para satisfazer a finalidade do uso da iluminação natural como um sistema do edifício, incluindo:

- Aberturas
- Tipo de envidraçamento
- Sombreamento e controle solar
- Controle da iluminação artificial

O projeto de iluminação natural é a combinação dos aspectos anteriores para prover uma desejada distribuição de luz diurna num edifício.

O projeto de áreas iluminadas naturalmente é baseado em relações geométricas entre o ambiente iluminado e o tamanho, forma e localização das aberturas que proporcionam luz natural.

O conhecimento destas relações permite que o projetista manipule-as, possibilitando mudar a penetração, distribuição, quantidade e qualidade da luz diurna no espaço; sendo que esta relação geométrica entre o espaço e cada abertura, deve ser estabelecida antes do impacto do envidraçamento, controle solar, mobiliário interno e outros atributos modificantes.

As relações entre o conceito de iluminação natural e o espaço iluminado podem ser classificadas em:

- Proporções espaciais: tamanho, volume e áreas relacionadas no edifício a ser iluminado.
- Proporções de aberturas: características de desempenho da iluminação, a partir do conceito adotado (iluminação lateral, superior/de teto, inclinada, etc).
- Proporções espaciais/abertura: relação entre a abertura e a maior área de superfície do ambiente, como o teto, piso e paredes.

2.3.3 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

De acordo com **ROBBINS [1986]**, o conceito de iluminação natural compreende a otimização da área do edifício e o número de pessoas, animais, plantas ou objetos internos ou no entorno do edifício, de modo que possam beneficiar-se com o uso da iluminação natural.

Um conceito de iluminação natural é a combinação das aberturas de iluminação natural necessárias para prover a desejada distribuição de iluminação natural numa sala ou edifício.

Durante o processo de projeto do edifício, o projetista estabelece o conceito de iluminação natural necessário para iluminar o edifício, conceito este empregado como um sistema ambiental.

Como já visto, a distribuição e a localização das aberturas de iluminação natural, são de vital importância. **ROBBINS [1986]**, aborda estes aspectos a partir dos conceitos de iluminação natural, agrupados em sete categorias principais:

- Iluminação lateral;
- Iluminação superior/de teto;
- Iluminação inclinada;
- Iluminação direta;

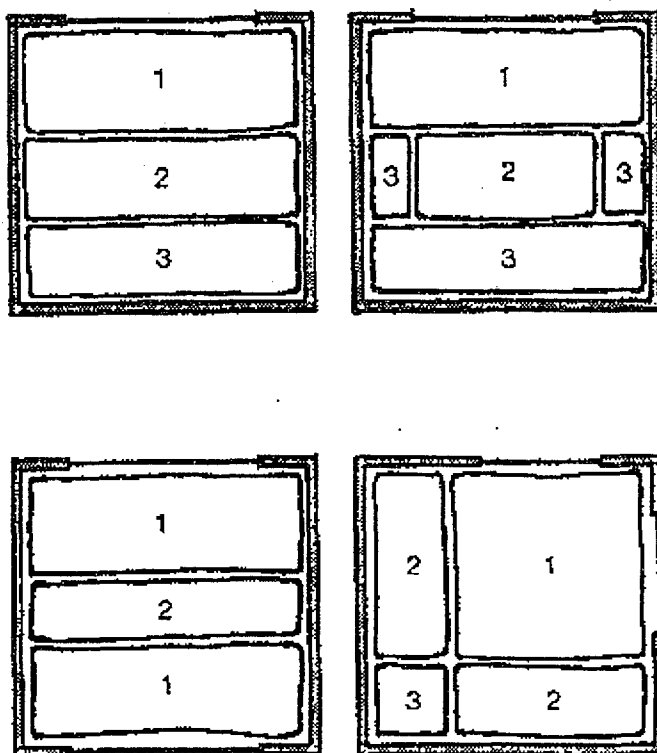
- Iluminação indireta;
- Iluminação por espaços de transição (átrios, pátios, etc);
- Iluminação a partir da combinação das categorias anteriores.

Para o aproveitamento da iluminação natural, são abordados aqui os conceitos de iluminação lateral e superior/de teto.

1. Conceito de iluminação lateral: é a iluminação pelas aberturas das superfícies verticais (paredes), tendo como características positivas a forte direcionalidade da luz, capacidade de fornecer iluminação na superfície horizontal em duas dimensões; e como características negativas a grande capacidade de brilho e alto contraste no espaço.

No que se refere a distribuição padrão de iluminação para a iluminação lateral, esta é a combinação da penetração e da extensão lateral da luz natural no espaço, a partir da abertura, formando-se zonas de iluminação diferentes e que devem ser consideradas no projeto de iluminação, para o controle da iluminação artificial.

Estas zonas de iluminação, conforme a figura abaixo, podem ser divididas em:



Fonte: ROBBINS [1986].

Figura 2.4: Zonas de iluminação na edificação com iluminação lateral.

Onde:

(1) Zona primária: a mais próxima da abertura, que recebe uma maior quantidade de iluminação natural e onde a iluminação artificial pode ser dispensada.

(2) Zona secundária: na parte central e intermediária do espaço, onde tanto a iluminação natural como a artificial coexistem, sendo a artificial usada nos períodos em que a natural não pode fornecer um nível de iluminamento interior adequado.

(3) Zona terciária: a mais afastada da abertura, onde a iluminação natural não fornece quantidades mínimas e a iluminação artificial é usada continuamente.

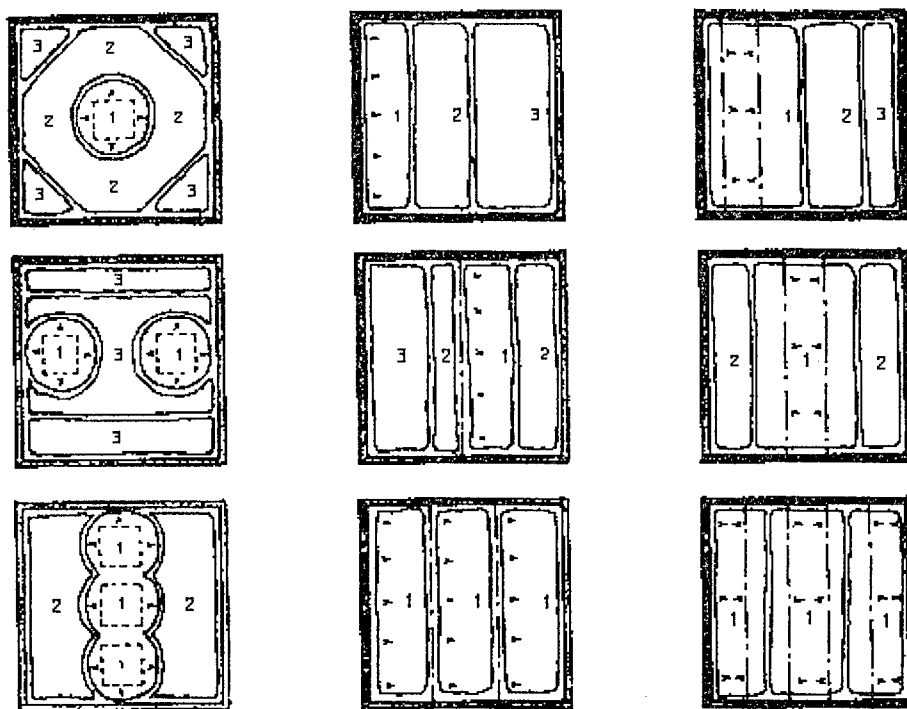
2. Conceito de iluminação superior/de teto: é a iluminação a partir de aberturas localizadas acima da linha de forro, constituindo em geral parte do telhado do edifício. Este conceito permite aumentar a profundidade de penetração da luz e é mais utilizado onde a iluminação lateral não é apropriada ou possível.

Quanto a distribuição padrão de iluminação para a iluminação superior/de teto, esta é de acordo com:

Penetração: não tão importante, pela facilidade de atingir toda a altura do ambiente.

Extensão: distribuição ao longo do comprimento da abertura (longitudinal) e normal a abertura (lateral).

Esta distribuição de iluminação também resulta num zoneamento de iluminação, similar ao da iluminação lateral, apresentado na página seguinte.



Fonte: ROBBINS [1986].

Figura 2.5: Zonas de iluminação na edificação com iluminação natural de teto.

Onde:

- (1) Zona primária: localizada debaixo da abertura.
- (2) (3) Zonas secundária e terciária: localizadas a partir do perímetro do espaço, em direção das aberturas superiores.

2.3.4 AVALIAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL:

Para a avaliação do potencial de utilização da iluminação natural de um edifício, é necessário primariamente considerar a integração entre as necessidades visuais e térmicas, e as implicações nas trocas de energia, térmica e lumínica, das estratégias de iluminação natural.

Estas estratégias (os meios para se obter a iluminação natural desejada) podem possibilitar: um ambiente luminoso interno que melhor atenda as exigências de conforto visual, melhorando a produtividade e a satisfação com o ambiente luminoso; redução da demanda de energia para iluminação artificial; redução dos ganhos internos de calor devido a iluminação artificial funcionar por menor tempo, com reflexos nas cargas de resfriamento (para edifícios condicionados artificialmente); influenciando no pico de demanda elétrica e no dimensionamento do sistema de condicionamento de ar, quando existente.

No sentido de avaliação da iluminação natural, existem de acordo com **THE EUROPEAN COMMISSION [1994]**, três principais tipos de ferramentas para prever o desempenho da iluminação nos estágios iniciais de projeto:

- Modelos em escala reduzida;
- Técnicas analíticas;
- Simulação computacional.

2.3.4.1 MODELOS EM ESCALA REDUZIDA:

Como o comportamento da luz, do ponto de vista físico, independe da escala (devido ao fato de que o comprimento de onda da luz visível ser extremamente pequeno quando comparado com as dimensões do modelo), os modelos em escala reduzida podem ser utilizados como ferramenta de projeto e pesquisa, com resultados precisos, uma vez que a luz se reflete nas superfícies internas do modelo da mesma forma que no espaço real.

Estes modelos, são bastante adequados para determinação dos níveis de iluminação internos e o estudo de sistemas de aberturas complexos.

2.3.4.2 TÉCNICAS ANALÍTICAS:

A penetração da luz em um edifício é um fenômeno do qual são conhecidas as leis físicas. Com isto, fenômenos como a iluminância numa superfície devido a uma fonte pontual de luz; a difusão da luz provocada por superfícies de brilho uniforme; a luz refletida dentro de uma cavidade difusora, são fenômenos conhecidos.

Assim, pelo conhecimento físico destes e de outros fenômenos, algumas destas situações tem sido pré-calculadas para a produção de fórmulas, cartas, nomogramas e ferramentas gráficas, que podem ser utilizadas para estimativa do Fator de Luz Diurna

(Daylight Factor) para situações reais, como uma sala retangular sob condições de céu definidas, gerando resultados aproximados.

O Fator de Luz Diurna é definido como a razão da iluminância interior numa superfície horizontal, pela iluminância exterior numa superfície horizontal simultaneamente disponíveis externamente.

Para este fator são consideradas três componentes da luz natural que entra no ambiente, de acordo com o tipo de fonte:

- **Componente do céu:** proveniente diretamente da abóboda celeste.
- **Componente de reflexão externa:** proveniente da luz refletida pelas superfícies externas naturais ou construídas do entorno ao edifício.
- **Componente de reflexão interna:** proveniente das interreflexões internas do ambiente, que ocorrem pelas características refletivas dos materiais, a partir da entrada da luz no espaço.

Estes métodos analíticos, principalmente os gráficos, são considerados de fácil aplicação, proporcionando uma rápida análise do efeito dos diversos parâmetros de projeto. Neste sentido, técnicas para o cálculo do efeito de brises, beirais, marquises, bancadas de luz e persianas estão sendo desenvolvidas e ferramentas para estimar o brilho já são disponíveis.

2.3.4.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL:

Existe um grande número de ferramentas computacionais para simulação de iluminação natural, como, programas para cálculo do fator de luz diurna em espaços geometricamente simples. A maior parte dos programas incorporam simplificações a cerca dos parâmetros do projeto envolvido. Somente os programas mais sofisticados, podem simular espaços com geometria complexa, sendo que estes programas são os que apresentam resultados mais precisos e representam melhor as condições de iluminação interior.

A simulação computacional, permite desenvolver análises térmicas e de consumo de energia simultaneamente com o estudo da iluminação natural (determinando a economia anual de energia pelo seu uso), oferecendo então vantagens em relação a análise em modelos em escala reduzida e em relação as técnicas analíticas.

A simulação avançada do desempenho de componentes de iluminação natural, com verificação detalhada de sistemas de iluminação natural complexos (incluindo conforto visual, qualidade luminosa dos espaços interiores, conforto térmico e consumo de energia), está presentemente fora do campo da prática profissional usual, estando mais ao alcance de empresas especializadas em projetos ou laboratórios de pesquisa.

A análise quanto a iluminação pode ser abordada a partir de objetivos principais, separados ou conjuntamente, que são:

- Conforto visual;
- Níveis de iluminamento adequados;
- Distribuição de luminâncias adequadas;
- Conservação de energia.

Para esta dissertação, abrangendo o desempenho térmico e o uso da iluminação natural, através da simulação computacional com o programa DOE-2.1 E, a análise de iluminação natural é abordada sob o ponto de vista de conservação de energia, que o programa trata de forma confiável.

2.3.5 AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL COM O PROGRAMA DOE-2.1 E:

O DOE-2.1 E tem a capacidade de, a partir do modelo de iluminação natural, em conjunto com as cargas térmicas existentes no edifício, determinar o impacto das diferentes estratégias de projeto de iluminação natural, baseado em análises horárias da disponibilidade de luz natural, condições locais, gerenciamento dos dispositivos da janela em relação ao controle do ofuscamento e das várias estratégias de controle da iluminação natural.

Como potencial para conservação de energia, a iluminação natural é calculada no DOE-2.1 E, para que a iluminação elétrica possa ser desligada quando os níveis de iluminação natural são suficientes para prover o nível de iluminamento especificado, que para os ambientes escolares (salas de aula), é de 300 lux, de acordo com a **NBR 5413 [1991]**. Este valor também é considerado adequado, conforme **THE EUROPEAN COMMISSION [1994]**, para a consideração quando do projeto de iluminação natural em escolas.

2.3.5.1 CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA INTERNA PELO DOE-2.1 E:

O programa calcula a iluminação natural, permitindo a determinação do efeito desta sobre o uso da energia elétrica de iluminação, cargas térmicas de pico e custos energéticos.

O cálculo é executado no subprograma LOADS, em três principais estágios:

(1) Um preprocessor calcula em detalhes um conjunto de coeficientes de luz diurna - daylight factor (iluminância interior dividida pela iluminância exterior horizontal) para posterior uso no cálculo das cargas horárias. São especificadas as coordenadas de um ou dois pontos de referência no espaço. O DOE-2.1 E então faz a integração sobre a área de cada janela para obter a contribuição da luz direta da janela, para a iluminância no ponto de referência, e a contribuição da luz do céu e da superfície do chão, o qual entram na janela e refletem nas paredes, piso e teto antes de alcançar os pontos de referência especificados.

Neste cálculo são levados em conta fatores como: dimensões e orientação das janelas, transmissividade do vidro, refletividade das superfícies interiores do espaço, dispositivos de controle solar como cortinas e projeções (beirais, brises, marquises), e a distribuição de luminâncias do céu.

Como esta distribuição de luminâncias depende da posição do sol e da nebulosidade do céu, o cálculo é feito para as condições de céu claro e céu encoberto, para uma série de vinte diferentes altitudes solares e valores de azimute, cobrindo a variação anual de posições do sol. Fatores para desconforto por ofuscamento são também calculados para as condições de céu claro e céu encoberto e armazenados.

(2) O cálculo da iluminação natural e do ofuscamento são efetuados. A contribuição de iluminância de cada janela é determinada pela interpolação dos coeficientes de luz diurna armazenados, usando a respectiva posição horária do sol e cobertura de nuvens, multiplicado então pela respectiva iluminância horária exterior horizontal.

(3) Sistemas de controle da iluminação elétrica por etapas (*stepped*) e contínuo (*continuous*) são simulados para determinar a energia elétrica de iluminação necessária para suprir a diferença, entre o nível de iluminação natural e a iluminância requerida. Finalmente, as exigências energéticas da zona de iluminação elétrica são passadas para o cálculo das cargas térmicas no DOE-2.1 E.

2.3.5.2 LIMITAÇÕES DO CÁLCULO DA LUZ NATURAL COM O DOE-2.1 E:

O cálculo da iluminância natural efetuado no DOE-2.1 E trabalha melhor quando a maior parte da iluminância num ponto de referência é devido a luz que alcança o ponto diretamente a partir da janela (sem reflexões a partir das superfícies interiores) e, quando os dispositivos de sombreamento na janela, se existentes, comportam-se como difusores (cortinas, grades, telas).

Como resultado, os cálculos de iluminância efetuados não podem simular confiavelmente as seguintes configurações:

- Bancadas de luz interiores e exteriores;
- Poços de luz muito profundos;
- Clarabóias de teto (roof monitors);
- Salas com obstruções internas (divisórias) que bloqueiam a luz direta das janelas;
- Pontos de referência próximos ao fundo de salas muito profundas, isto é, quando a profundidade é maior que três vezes o pé-direito;
- A luz que alcança o ponto de referência vem de janelas de outros espaços (por exemplo, um átrio fornecendo luz natural para espaços adjacentes); e
- Janelas com venezianas ou outros dispositivos direcionadores da luz solar direta.

Na realização das análises de iluminação natural, as limitações mencionadas não fazem parte das características dos modelos protótipos estudados, de forma que o DOE-2.1 E consegue realizar os cálculos com confiabilidade.

2.3.6 VARIÁVEIS FORMULADORAS DO PROJETO E A ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES:

Em relação as variáveis formuladoras do projeto, definidas como otimizadoras, como as variáveis de projeto/concepção, variáveis construtivas e variáveis de acabamento, existem aquelas que também podem ser abordadas no que se refere ao uso da iluminação natural, influenciando a quantidade e a sua distribuição pelo espaço.

A quantidade (relacionada a possibilidade de economia de energia elétrica) de iluminação natural é influenciada por:

- **Orientação, localização e espaçamento das aberturas: (para céu claro):** devido a distribuição de luminâncias diferenciadas do céu para as aberturas localizadas nas direções das diferentes “trajetórias aparentes do sol”.

- **Razão WWR:** devido a maior área de visão de exterior (céu e entorno), com penetração e extensão da iluminação natural diferenciadas.

- **Forma (pé-direito e profundidade do espaço):** devido a penetração e extensão da iluminação natural poder atingir diferenciadas áreas do pavimento.

- **Proteção solar (obstrução interna ou externa):** devido a passagem diferenciada de luz natural para dentro do espaço pelas aberturas, com ou sem dispositivos de proteção solar.

- **Acabamento superficial interior:** devido as características refletivas das superfícies interiores do ambiente.

- **Características Refletivas do Entorno (natural ou construído):** devido a maior ou menor reflexão da luz natural no ambiente externo.

2.4 DESEMPENHO TÉRMICO E USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL:

A iluminação natural, como um potencial para utilização na edificação, deve ser considerada numa estreita relação com o desempenho térmico da mesma, uma vez que com o aumento da luz natural recebida na edificação através das suas aberturas, também ocorre o aumento do ganho térmico de calor solar. Isto ocorre porque no comprimento de onda da radiação térmica, encontra-se também a radiação visível (luz).

No entanto, com a utilização da luz natural, a iluminação artificial pode deixar de ser utilizada, no todo ou em parte, contribuindo para a redução do ganho interno de calor na edificação e para a economia de energia elétrica em iluminação.

Assim, é recomendado do ponto de vista das condições de conforto térmico e lumínico dos ocupantes, que estes requerimentos sejam analisados conjuntamente.

A análise do desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural em edificações escolares, foi feita pela avaliação de diferentes situações a que uma sala de aula está sujeita, do ponto de vista da sua configuração física/espacial, de utilização, com base nos critérios de avaliação adotados.

Esta abordagem, atende as preocupações quanto a esfera de intervenção, pois, segundo **MASCARÓ [1985]**, “o centro do problema encontra-se no campo de elaboração do projeto arquitetônico, no qual as metodologias e tecnologias podem (e devem) amadurecer continuamente e fornecer respostas cada vez mais adequadas, inclusive para as intervenções de recuperação”.

O presente estudo procura colaborar então com a produção de informação, que possa funcionar como balizadora de intenções de projeto de arquitetura, mais especificamente para o projeto de salas de aula (escolas).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	51
3.1.1 LEVANTAMENTO FÍSICO.....	53
3.1.2 LEVANTAMENTO DE UTILIZAÇÃO.....	54
3.2 MEDIÇÕES DE CAMPO	54
3.3 PROCESSO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	56
3.3.1 DEFINIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS	56
3.3.2 SIMPLIFICAÇÕES DOS MODELOS PROTÓTIPOS.....	56
3.3.3 DESCRIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS	57
3.4 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS OTIMIZADORAS.....	58
3.5 ANÁLISE DE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA	60
3.5.1 PROCESSO DE ANÁLISE E RESULTADOS SELECIONADOS.....	60
3.6 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO	61
3.6.1 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PMV E PPD.....	62
3.7 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CONFORTO TÉRMICO E O CONSUMO DE ENERGIA FRENTE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO	66

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo sobre a análise do desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares, está descrita no fluxograma apresentado na página seguinte e é a seguir especificada.

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS:

O estudo envolve a temática escola, a edificação escolar, analisada sob o ponto de vista da configuração física/espacial das sala de aula, espaços estes integrantes do setor pedagógico das escolas e concentrador dos estudantes em períodos específicos e com grande ocupação, espaço este definido como o modelo protótipo de análise.

Esta etapa consiste em determinar as características físicas/espaciais das salas de aula atualmente em construção e das recentemente construídas, relatando então a prática projetual/construtiva adotada.

Neste levantamento, determinam-se as características físicas das salas de aula no que se refere as variáveis de análise, as variáveis otimizadoras, definidas estas como de projeto/concepção; materiais construtivos; de acabamento.

Assim, a partir das variáveis de análise, identificou-se a situação das salas de aula quanto a configuração física/espacial, referente a:

A) Salas de aula no pavimento térreo e no segundo pavimento.

B) Salas de aula localizadas em meio de planta ou em canto de planta.

Estas duas situações iniciais, caracterizam a situação de maior ou menor número de superfícies verticais (paredes) voltadas ao meio externo.

C) Razão entre a área de janela e a área de fachada: WWR.

D) Orientação das aberturas.

E) Existência ou não de proteções solares junto as janelas, como beirais, marquises, platibandas, brises.

F) Materiais utilizados em cobertura (forro + telha).

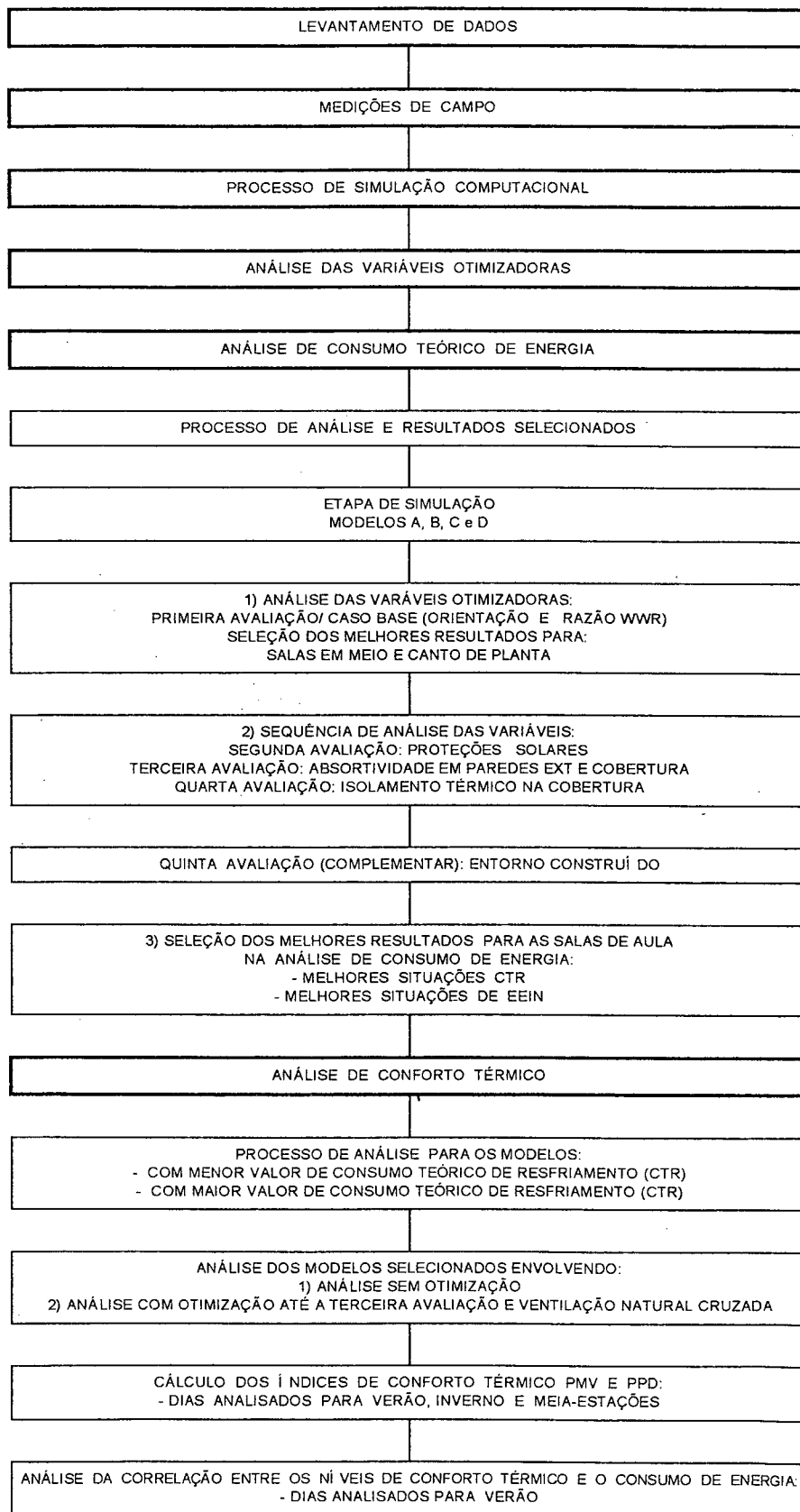


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia utilizada na análise.

Visando atender este objetivo de definição das características físicas/espaciais das salas de aula, foi feito um contato com os setores responsáveis pelo projeto de edificações escolares, das redes municipal e estadual de ensino.

Junto as mesmas redes de ensino, a partir das respectivas secretarias de educação, levantaram-se o número atual de salas de aula existentes e o crescimento físico da rede escolar, conforme dados já apresentados na seção 1.2 do primeiro capítulo.

A partir da informação quanto ao número de salas de aula existentes, de acordo com a sua dependência administrativa (federal, estadual, municipal, particular), identificou-se o aumento do número de salas de aula, referente a construção de novas escolas e ampliação das existentes, para a rede escolar de primeiro e segundo graus em Florianópolis.

Prosseguindo, foi identificado junto as secretarias municipal e estadual de educação, as últimas dez escolas construídas e/ou ampliadas para a rede municipal e as últimas dez para a rede estadual. Com isto, foi feito um cruzamento de dados, com o objetivo de determinar as últimas dez escolas construídas e/ou ampliadas, em ordem cronológica (independente da situação administrativa), que representam a prática projetual/construtiva vigente, e que é a amostra utilizada para a etapa de levantamento físico, envolvendo a definição das características das salas de aula.

A escolha de dez escolas, justifica-se como sendo um tamanho de amostra possível para o levantamento de campo, em virtude da localização dispersa das escolas e em virtude deste levantamento ser feito por apenas uma pessoa.

As seguintes características físicas/espaciais foram levantadas, visando embasar o processo de análise das salas de aula, estas definidas como o modelo protótipo:

3.1.1 LEVANTAMENTO FÍSICO:

Levantamento das características físicas da envolvente, construtivas e complementares da edificação, conforme especificadas abaixo e apresentadas na seção 4.2 do capítulo quatro.

- Características físicas da envolvente:

Forma: - Dimensões

- Pé-direito

- Número de superfícies exteriores: salas de aula térreas, no segundo pavimento; em meio e canto de planta.

Orientação das aberturas (janelas).

Razão entre a área de janelas e a área de fachada: WWR.

Existência de proteções solares junto as janelas : beiral, brise, marquise, platibanda ou outro tipo.

- Características construtivas : materiais utilizados em:

Piso

Paredes externas e internas

Cobertura: forro e telha

Janela: vidro e caixilho

- Características complementares:

Tipo de iluminação artificial e potência utilizada

Número de luminárias e lâmpadas

3.1.2 LEVANTAMENTO DE UTILIZAÇÃO:

Número de ocupantes

Taxa de ocupação ao longo do dia

Horários de ocupação

Período semanal de ocupação

Ano letivo usual

3.2 MEDIÇÕES DE CAMPO:

Visando constatar a situação encontrada nas escolas em termos térmicos e lumínicos, foi selecionada uma sala de aula de uma escola, dentre as dez escolhidas, representativa da prática projetiva/construtiva atual, com as características físicas próximas às definições do modelo protótipo de análise (sala de aula no segundo pavimento em meio de planta).

A escolha desta escola se baseou nos seguintes motivos: facilidade de acesso (proximidade); colaboração por parte da diretora da escola, no sentido de permitir a

monitoração da sala de aula; e de ser uma escola em um bairro urbano típico de Florianópolis.

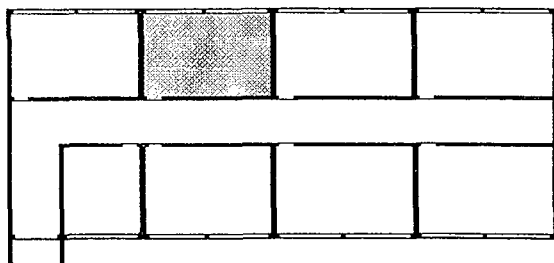


Figura 3.2 : Planta-baixa do bloco de salas de aula no segundo pavimento da escola, com a sala monitorada.

Nesta etapa de medições para dois dias típicos de verão (18 e 19/12/95), foram medidas as variáveis térmicas ambientais temperatura de bulbo seco do ar (TBS), temperatura de bulbo úmido do ar (TBU), temperatura de globo (TG), velocidade do ar (Var); e a variável nível de iluminamento (E).

Estas medições forneceram uma impressão da sala de aula frente as solicitações térmicas e a disponibilidade de luz natural , para os dois dias, no horários de 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16 e 17 horas.

Após as etapas de levantamento de dados e medições de campo (ver seções 4.2 e 4.3 do capítulo quatro), etapas que reuniram informações para a caracterização física, de ocupação e utilização das escolas (salas de aula), como informações embasadoras do processo de análise das salas quanto ao seu desempenho térmico e uso da iluminação natural, será efetuado o processo de simulação computacional.

3.3 PROCESSO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL:

A análise do desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares, será efetuada através da simulação computacional, pelo uso do software DOE-2.1 E, com a definição de edifícios protótipos para simulação, denominados modelos protótipos de análise. Estes são representativos de uma sala de aula típica, em diferentes situações quanto a sua configuração espacial.

3.3.1 DEFINIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS:

A definição dos modelos protótipos ocorreu a partir das informações levantadas na etapa de levantamento de dados, onde foi identificado a configuração física/espacial das escolas, seus materiais construtivos e características de operação e ocupação, reduzidos agora a uma sala de aula, o setor pedagógico utilizado com maior frequência pelos estudantes.

Assim, toda a análise é baseada no comportamento dos modelos protótipos, a sala de aula, frente as solicitações térmicas e a disponibilidade de luz natural exterior.

As variáveis de análise forma, orientação das aberturas, razão WWR, proteções solares nas janelas, material de cobertura (forro e telha), absorvidade de paredes externas e cobertura, isolamento térmico da cobertura e existência de obstáculos junto as janelas, são avaliadas a partir dos modelos protótipos definidos.

A definição dos modelos protótipos de análise, considera diretamente as variáveis mencionadas acima, que estão inseridas no conceito de variáveis otimizadoras de projeto, que são as formuladoras do projeto de arquitetura: variáveis de projeto/concepção; variáveis construtivas; variáveis de acabamento, que retratam diferentes situações existentes a que a sala de aula está exposta.

3.3.2 SIMPLIFICAÇÕES DOS MODELOS PROTÓTIPOS:

Na simulação computacional efetuada, foram consideradas as seguintes simplificações quanto aos modelos de análise:

1. Os ambientes analisados não trocam calor pelas paredes internas, sendo estas especificadas como do tipo adiabáticas.

2. Os ambientes analisados quando localizados no segundo pavimento, não trocam calor pela laje de piso deste pavimento com o pavimento térreo abaixo, sendo a laje especificada como do tipo adiabática.

3. As coberturas especificadas são consideradas planas, na sequência de camadas de materiais existentes na situação prática real (telha + câmara-de-ar + laje de forro).

4. O número de superfícies exteriores dos modelos protótipos é o considerado para a análise quanto a forma sala de aula, ou seja, a posição que a mesma ocupa nos blocos de salas, em planta e volume.

3.3.3 DESCRIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS:

Descrição das características identificadas nas etapas de levantamento de dados (levantamento físico), definidoras dos modelos protótipos de análise, englobando:

Características físicas dos modelos: levantamento de:

- Dimensões e a situação quanto a forma dos modelos protótipos.
- Características físicas dos materiais (espessura, condutividade térmica, densidade, calor específico, resistência térmica) e componentes da edificação (resistência térmica, transmitância térmica).
- Características de absorvidade de paredes externas e cobertura e as características de refletividade de paredes internas, piso e teto.

Condições de operação dos modelos: levantamento de:

- Condições identificadas para as salas de aula, no que se refere a ocupação, infiltração, iluminação e sistema de ar condicionado.

Estas condições foram especificadas a partir de padrões de operação (*schedules*), que são percentuais dos valores máximos adotados para cada uma das condições de operação ou que indicam a ativação ou não a cada hora do dia e a cada dia da semana, de determinado dispositivo ou situação.

A partir das características físicas e condições de operação das salas de aula, são analisadas a influência das variáveis otimizadoras do projeto de arquitetura nos modelos protótipos:

3.4 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS OTIMIZADORAS:

A análise será efetuada a partir de salas de aula localizadas em blocos de salas com outros ambientes adjacentes, salas estas definidas nos modelos A, B, C e D, a seguir descritos, que abrangem as situações existentes das salas de aula no que se refere a variável otimizadora **forma** (posição da sala de aula em planta e volume).

- **Modelo A:** sala de aula térrea, em meio de planta, com uma parede e cobertura voltadas ao exterior e três paredes internas do tipo adiabática (não transmitem calor).

- **Modelo B:** sala de aula térrea, em canto de planta, com duas paredes (uma a das janelas e a outra a de fundo da sala) e cobertura voltadas ao exterior e duas paredes internas do tipo adiabática.

- **Modelo C:** sala de aula no segundo pavimento, em meio de planta, com uma parede e cobertura voltadas ao exterior e três paredes internas e laje de piso do tipo adiabáticas (as paredes e o piso não trocam calor com o pavimento térreo).

- **Modelo D:** sala de aula no segundo pavimento, em canto de planta, com duas paredes (uma a das janelas e a outra a de fundo da sala) e cobertura voltadas ao exterior e duas paredes internas e laje de piso do tipo adiabáticas (as paredes e o piso não trocam calor com o pavimento térreo).

Assim, com os quatro modelos A, B, C e D, serão analisadas e avaliadas as demais variáveis otimizadoras, na sequência abaixo:

- **Orientação das aberturas e razão WWR:**

Norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste, sudoeste com razão WWR de 25, 35 e 50% (valores estes identificados no levantamento de dados e de campo como os padrões utilizados).

- **Proteções solares nas aberturas:**

Beiral/marquise com 0,7 e 1,0 m de largura, com comprimento em toda a extensão das janelas, localizados a 2,7 m do piso, conforme identificado no levantamento de dados e de campo.

- Material de cobertura:

A análise com a alteração do tipo de telha, de fibrocimento para cerâmica (as telhas utilizadas na cobertura conforme identificado no levantamento físico), não será realizada, por limitações do programa de simulação.

Isto em virtude destes dois tipos de telha apresentarem valores de transmitância térmica aproximadamente iguais e de que o DOE-2.1 E não simula o efeito da umidade nestas telhas, que é o fator modificante das características de transmissão de calor da telha cerâmica para a de fibrocimento.

- Absortividade frente à radiação solar de paredes externas e cobertura:

Utilização de um coeficiente de absorção baixo ($\alpha=0,2$), para paredes externas e cobertura, melhorando o desempenho térmico da envolvente da edificação.

- Isolamento térmico da cobertura:

Utilização de uma camada de 2,54 cm de poliuretano expandido sobre a laje de forro.

- Entorno construído:

Visando verificar a influência do entorno construído, foi analisado a localização de obstáculos próximos as aberturas, em diferentes distâncias, obstáculo este representativo de um edifício vizinho com 12 m de altura (quatro andares).

Obstáculos a distância de:

- 20,0 m: representando recuo frontal + rua local com passeios + recuo frontal da edificação vizinha de frente.

- 5,0 m: representando recuo frontal

- 1,5 m: representando recuo lateral mínimo.

3.5 ANÁLISE DE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA:

A análise de consumo teórico de energia (ver resultados na seção 4.6 do capítulo quatro), foi efetuada para os quatro modelos protótipos A, B, C e D, frente as variáveis otimizadoras, tendo como critério de avaliação os citados a seguir, na ordem de importância apresentada:

- 1) Os menores valores anuais de consumo teórico de resfriamento (CTR), já que estes são os de maior valor devido as condições climáticas de Florianópolis;
- 2) Os valores de percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural (REIN);
- 3) Os valores de consumo real em iluminação elétrica (CRIE);
- 4) Os valores de consumo teórico de aquecimento (CTA);

3.5.1 PROCESSO DE ANÁLISE E RESULTADOS SELECIONADOS:

A etapa de análise e avaliação (ver seção 4.6 do capítulo quatro), a partir dos modelos A, B, C e D, que abrangem os quatro tipos de salas de aula, foi efetuada na seguinte sequência:

Primeira análise: avaliação em conjunto de orientação das aberturas e razão WWR:

Norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste, sudoeste e razão WWR de 25, 35 e 50%.

Resultados parciais: verificação das oito melhores situações de CTR frente aos quatro modelos analisados (uma situação para cada orientação), com relação a orientação das aberturas e razão WWR.

Segunda análise: avaliação do uso de proteções solares nas aberturas, com larguras de 0,7 e 1,0 m.

Resultados parciais: verificação das oito situações de CTR (uma para cada orientação), frente as situações anteriores, com relação a orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar.

Terceira análise: avaliação da absorvidade frente à radiação solar de paredes externas e cobertura, com um coeficiente α de 0,2 (pintura branca).

Resultados parciais: verificação das oito situações de CTR (uma para cada orientação), com relação a orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar + absorvidade.

Quarta análise: avaliação da utilização de isolamento térmico na cobertura, com 2,54 cm de poliuretano expandido sobre a laje de forro.

Resultados parciais: verificação das oito situações de CTR (uma para cada orientação), com relação a orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar + absorvidade + isolamento térmico.

Quinta Análise (complementar): avaliação da influência do entorno construído sobre os modelos protótipos:

Resultados complementares: verificação da influência de obstáculos no desempenho térmico e uso da iluminação natural, nas oito situações finais de CTR (uma para cada orientação).

3.6 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO:

A avaliação de conforto térmico (ver resultados na seção 4.8 do capítulo quatro), através do método de FANGER [1972], será efetuada para as situações de modelo protótipo a seguir mencionadas, selecionadas com base na análise de consumo teórico de energia (CTR) e percentagem de redução do uso de energia elétrica com a utilização da iluminação natural (REIN), a partir dos critérios de avaliação apresentados anteriormente na seção 3.4.1, para as situações definidas como as melhores e as piores para as salas de aula.

Assim serão analisados os seguintes modelos:

1. O modelo que apresentar o menor valor de consumo teórico de resfriamento (CTR), ou seja, a melhor situação dentre as situações selecionadas na primeira análise, com relação a orientação das aberturas e razão WWR de 25 %.

Para este modelo será analisado sob duas condições:

- modelo sem otimização;
- modelo otimizado até a terceira avaliação* e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

* Até a terceira avaliação a atuação na melhoria do desempenho térmico é relativa unicamente a edificação, sem interferências externas ao projeto da edificação.

2. O modelo que apresentar o maior valor de consumo teórico de resfriamento (CTR), ou seja, a pior situação dentre as situações selecionadas na primeira análise, com relação a orientação das aberturas e razão WWR de 25 %.

Para este modelo será analisado sob duas condições:

- modelo sem otimização;
- modelo otimizado até a terceira avaliação* e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Tanto para a primeira situação como para a segunda acima mencionadas, será verificado os resultados em termos de conforto térmico para as situações de aumento de razão WWR de 50 %, considerando o modelo otimizado até a terceira avaliação e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Com isto, será possível identificar na análise de conforto térmico, as diferenças existentes em termos de conforto térmico, entre um modelo com baixo consumo teórico de energia e um modelo com alto consumo de energia, referente ao processo de melhoria de desempenho térmico da envolvente.

3.6.1 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PMV E PPD:

A verificação das condições de conforto térmico no interior dos ambientes selecionados (ver seção 4.9.3 do capítulo quatro), será efetuada pelo método de FANGER [1972], a partir da avaliação das seguintes variáveis:

Variáveis Ambientais:

- Temperatura do ar (TBS):

Calculada pelo DOE-2.1 E como a temperatura média da zona, considerando agora a sala de aula como não condicionada artificialmente, ou seja, a temperatura interna do ar do ambiente sala de aula na situação prática usual das escolas. Será considerado também o

uso da iluminação natural, com a iluminação artificial contribuindo menos como ganho interno de calor, devido a sua menor utilização.

- Temperatura radiante média (TRM):

Calculada a partir das temperaturas superficiais (T_s), pela seguinte equação, de acordo com RIVERO [1986]:

$$TRM = (A_1 \times T_{s1} + A_2 \times T_{s2} + \dots + A_n \times T_{sn}) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad \text{onde:}$$

T_{s1} a T_{sn} são as temperaturas superficiais médias de cada elemento de envolvente analisada

A_1 a A_n são as áreas respectivas de cada elemento da envolvente

As temperaturas superficiais médias (T_s), são calculadas a partir do fluxo de calor que atravessa cada elemento da envolvente (parede, viga, teto e janela):

$$T_s = T_i + (R_{si} \times q) \quad \text{onde:}$$

T_i é a temperatura interna do ar, calculada pelo DOE (temperatura média da zona) em ° C.

q é a densidade de fluxo de calor transmitido (em W/m^2) pelos elementos da envolvente, calculado a partir dos valores de fluxo de calor Q (em W), calculado pelo DOE-2.1 E, representando a quantidade de calor transmitido por cada elemento de acordo com sua respectiva dimensão.

R_{si} é o valor tabelado da resistência térmica superficial interna

- Velocidade do ar (V_{ar}):

Especificada de acordo com o efeito da ventilação natural, considerando alta taxa de renovação de ar: ventilação natural cruzada.

Assim, de acordo com o número de renovações de ar especificado na análise de conforto térmico para os diferentes valores de razão WWR, foram definidos os respectivos valores de vazão de ar resultantes.

Com isto, obtém-se os valores de velocidade do ar interna, considerando a área das janelas nas diferentes razões WWR, como a seguir apresentado:

Ventilação cruzada:

- Razão WWR de 25%:

$$N=(Q \times 3600)/V \text{ onde:}$$

N é o número de renovações de ar por hora devido a infiltração

Q é a vazão de ar resultante das renovações de ar

V é o volume da sala de aula

Para 42 renovações de ar por hora, referente a razão WWR de 25% temos:

$$42=(Q \times 3600)/144 \text{ ficando } Q=1,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim, a velocidade interna do ar junto as janelas será:

$$v=Q/A_{jan} \text{ onde:}$$

Q é a vazão de ar resultante das renovações de ar especificada

A_{jan} é a área da janela considerada

$$\text{Logo: } v=1,68/6=0,28 \text{ m/s (25\% WWR)}$$

Para outro valor de razão WWR, com os respectivo valor de renovação de ar e a respectiva área de janela, temos o seguinte valor de velocidade interna do ar:

- Razão WWR de 50%, $v = 0,14 \text{ m/s}$

Para o cálculo dos índices PMV/PPD, vai ser considerado o menor valor de velocidade do ar, no caso a situação mais desfavorável, de $v = 0,14 \text{ m/s}$, considerando então que nas demais situações, haveria uma melhoria no que se refere a ventilação natural.

- Umidade relativa do ar (UR):

Adotada a umidade relativa média mensal, de acordo com o arquivo climático.

Variáveis pessoais:

- Atividade metabólica:

Definida como a atividade usual de escritório, assistência de aulas, com 90 W de geração de calor (75 W/m^2) para crianças, valor este inferior ao utilizado normalmente para a mesma atividade, no caso de adultos, calculado como a seguir apresentado:

- área corporal do adulto, usuário médio (70 Kg e 1,7 m altura) = $1,8 \text{ m}^2$

- área corporal da criança, usuário médio (35 Kg e 1,4 m altura) = 1,2 m²

Logo 90 W é o equivalente em geração de calor para o usuário criança, proporcionalmente a área corporal e geração de calor do usuário adulto.

- Vestimenta:

Definida como a vestimenta usual dos estudantes para os períodos de verão, inverno e meia-estações.

Calculada de acordo com procedimento da norma ISO 7730 [1984], onde :

$I_{cl} = 0,82 \sum I_{cli}$, sendo que I_{cl} é a resistência térmica total da vestimenta utilizada e I_{cli} é a resistência térmica de cada uma das peças da vestimenta.

Logo, a vestimenta foi especificada com a seguinte resistência térmica, em valores de clo:

- 0,3 clo para verão (roupa de baixo, meia, tênis leve, bermuda, camisa leve);
- 1,0 clo para inverno (roupa de baixo, meia grossa, tênis de inverno, calça tipo *jeans*, camisa manga longa, blusa manga longa, jaqueta grossa);
- 0,5 clo para meia-estações (roupa de baixo, meia, tênis, calça tipo *jeans*, camisa manga longa).

O nível de conforto térmico, avaliado através do PMV (voto médio estimado) e do PPD (percentagem de pessoas insatisfeitas), será calculado hora a hora, num período de dez horas diárias (das 8 até as 17 horas), para dias representativos de cada estação do ano.

Estes serão escolhidos a partir de um sorteio, estatisticamente definido como uma das formas de escolha amostral, considerando para estes dias as seguintes condições:

- Devem ser dias com ocupação para as salas de aula;
- Não devem ser dias com valores extremos de temperatura externa do ar, pois conduziria a valores de PMV e PPD altíssimos em todos os horários, invalidando a comparação da variação destes índices com o consumo teórico de energia para resfriamento.

Com isto, será realizada a análise de conforto térmico para o período de verão; para meia-estações, primeiro semestre e segundo semestre; e para o período de inverno.

3.7 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CONFORTO TÉRMICO E O CONSUMO DE ENERGIA FRENTE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO:

Verificação da correlação entre os resultados da análise de consumo teórico de energia (CTR) e os resultados da análise de conforto térmico, para três dias da situação de verão.

Escolhida esta situação, pois o consumo de energia no verão é maior (devido as condições climáticas externas), possibilitando então, a comparação dos níveis de conforto térmico horários dos ocupantes do ambiente, com o consumo horário de energia para condicionamento artificial (consumo teórico de resfriamento - CTR).

Para esta análise, será feita uma verificação a partir do seguinte modelo:

- Modelo com o melhor resultado de consumo teórico de resfriamento (menor valor de CTR).

Estes valores são os respectivos para a orientação e razão WWR encontrada na primeira avaliação das variáveis otimizadoras.

Como estes valores de CTR ocorreram para a razão WWR menor, de 25% (devido ao menor ganho de calor solar contribuir menos para a carga térmica a ser condicionada, resultando num menor consumo de energia), será efetuada também a análise para a situação de melhor valor de CTR para a razão WWR de 50%, na situação de otimização até a terceira avaliação e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Com esta verificação, procura-se identificar se para a melhor situação de consumo teórico de energia (CTR), existe respectivamente os melhores resultados de conforto térmico (índices PMV e PPD), durante as horas dos dias analisados.

Os resultados encontrados das diferentes etapas do capítulo três, levantamento de dados, medições de campo, processo de simulação computacional, análise de consumo de energia , análise de conforto térmico, análise da correlação entre consumo de energia e conforto térmico frente o processo de otimização, são apresentados e analisados no capítulo quatro.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE DADOS	68
4.1.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	68
4.2 RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS	73
4.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MODELOS	73
4.2.2 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS MODELOS	75
4.3 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CAMPO NA SALA DE AULA	79
4.3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES	80
4.3.2 PONTOS DE MEDIÇÃO	81
4.4 RESULTADOS DE MEDIÇÕES EXTERNAS	85
4.5 CONCLUSÕES SOBRE AS MEDIÇÕES	87
4.6 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA	88
4.6.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS QUATRO MODELOS A, B, C E D.....	88
4.6.2 RESULTADOS DA PRIMEIRA AVALIAÇÃO DOS QUATRO MODELOS A, B, C E D.....	94
4.6.3 RESULTADOS DA SEGUNDA, TERCEIRA, QUARTA E QUINTA AVALIAÇÕES - MODELOS A E B SELECIONADOS	95
4.6.4 RESUMO DOS RESULTADOS COLETADOS NAS CINCO AVALIAÇÕES EFETUADAS - MODELOS A E B SELECIONADOS.....	102
4.6.5 INFLUÊNCIA DO AUMENTO DA RAZÃO WWR NO CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA E ECONOMIA DE ENERGIA COM O USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	104
4.6.5.1 Resultados da Primeira, Segunda, Terceira e Quarta Avaliações - Modelos A e B - Razão WWR de 50%.....	104
4.7 INFLUÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA COM A NÃO UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	107
4.8 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO	109
4.8.1 RESULTADOS DO COMPARATIVO DE TEMPERATURAS INTERNAS DO AR - MODELOS A E C	111
4.8.2 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PMV E PPD.....	120
4.8.3 RESULTADOS DA CORRELAÇÃO ENTRE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO FRENTE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO.....	129
4.9 RESULTADOS DE ECONOMIA REAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO	132

4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE DADOS:

Com base nos dados da **SECRETARIA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO [1995]**, o crescimento do número de salas de aula para a rede escolar de primeiro e segundo graus em Florianópolis, foi de 224 salas, no período de 1989 a 1993, concentradas nas redes municipal e estadual de ensino, conforme já apresentado na seção 1.2 do primeiro capítulo.

Este aumento do número de salas de aula identificado se refere a construção de novas escolas e principalmente a ampliação das já existentes, com novos blocos de salas ou pequenos acréscimos em número de salas de aula em escolas já existentes.

4.1.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE CAMPO:

Levantamento Físico:

Identificação das características físicas/espaciais levantadas nas dez escolas selecionadas como amostra, relativo as últimas salas de aula construídas ou em construção nas escolas, conforme os quadros 4.1A e 4.1B adiante.

Definição das características físicas/espaciais predominantes, selecionadas para análise:

- Salas de aula térreas, no segundo pavimento, em meio e canto de planta.
- Dimensão da sala de aula: $6 \times 8 = 48 \text{ m}^2$
- Pé-direito: 3 m
- Orientação das aberturas: norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste, sudoeste
- Razão WWR: 25, 35 e 50%
- Proteção solar nas aberturas: beiral e marquises com 0,7 e 1,0 m de largura
- Material de piso: cerâmico
- Tipo e espessura de paredes:
Externas: reboco externo + tijolo cerâmico 6 furos deitado + reboco interno = 18,5 cm
Internas: reboco interno + tijolo cerâmico 6 furos em pé + reboco interno = 14 cm

Obs.: a definição da espessura da parede externa se baseou nas especificações de projeto de arquitetura das escolas, em valor diferente do constatado no levantamento de campo (levantamento físico).

- Material de cobertura:

Forro: laje pré-moldada

Telha: cerâmica e de fibrocimento

- Janela:

Vidro: simples, 3 mm transparente

Caixilho: alumínio

- Iluminação:

Tipo: fluorescente

Potência: 13 W/m² (lâmpadas + reator)

Levantamento de Utilização:

Definição das características de ocupação e utilização selecionadas para análise:

- Número médio de ocupantes por sala de aula: 1 professor + 30 alunos

- Taxa de ocupação ao longo do dia: 100% das 8 as 18 h

- Horários de ocupação: 8 as 18 h ininterruptamente

- Período semanal de ocupação: segunda a sexta-feira, exceto feriados

- Ano letivo mínimo: base (180 dias em sala + 30 dias para outras atividades): foi definido um ano letivo médio em virtude de diferenças de calendário das redes municipal e estadual, com base no ano referente ao arquivo climático TRY (1963), ficando da seguinte forma:

- primeiro semestre: 25/02 a 05/07

- segundo semestre: 29/07 a 06/12

Quadro 4.1 A: Levantamento físico das escolas selecionadas.

Escolas da amostra	Número salas térreo	Número salas pav. superior	Número salas em canto planta	Número salas em meio planta	Orientação janelas	Razão WWR (%)	Dimensão prot. solares (m)	Tipo prot. solar	Material de piso
1	---	6	3	3	S/L	32	0,8	Beiral	Paviflex
2	1	---	1	---	L	35	0,6	Beiral	Madeira
3	---	7	3	4	SE/NO	48	1,0	Marquise	Cerâmico
4	---	4	4	---	N/S	43	0,7	Beiral	Cerâmico
5	2	6	5	3	N/L/O	34	1,0	Beiral	Cerâmico
6	2	---	2	---	N	35	1,0	Beiral	Cerâmico
7	4	2	6	---	SE/SO/NO	28	0,7	Beiral	Cerâmico
8	1	1	2	---	L/O	25	0,7	Beiral	Cerâmico
9	5	---	---	5	NE	25	0,5	Beiral	Cerâmico
10	--	7	2	5	S/L/O	40	1,0	Beiral	Cerâmico
Dados a analisar	térreo	Segundo	Canto	Meio	N/S/L/O/ NE/NO/SE/ SO	25,35 e 50	0,7/1,0	Beiral e Marquise	Cerâmico

Quadro 4.1 B: Levantamento físico da escolas selecionadas (continuação).

Escolas da amostra	Espessura par ext. (m)	Espessura par int. (m)	Material de forro	Material de telha	Tipo de vidro	Tipo de caixilho	Tipo de janela	Pé-direito (m)	Número lâmpadas 40 W/sala	Outro recurso de projeto
1	0,16	0,16	laje pré-moldada	Cerâmico	Simplex 3 mm transp.	Alumínio	Basculante	2,7	12 (13 W/m ²)	Circul. lat. ext. coberta
2	0,15	---	laje pré-moldada	Cerâmico	Simplex 3 mm transp.	Alumínio	Basculante	2,6	12 (13 W/m ²)	---
3	0,16	0,16	laje pré-moldada	Fibrocimen to	Martelado	Alumínio	Maximar	2,85	12 (13 W/m ²)	Ventilação cruzada
4	0,18	0,16	laje pré-moldada	Fibrocimen to	Simplex 3 mm transp.	Alumínio	Maximar	3,0	12 (13 W/m ²)	Ventilação cruzada
5	0,21	0,16	laje pré-moldada	Fibrocimen to	Simplex 3 mm transp.	Alumínio	Correr	2,7	16 17,3W/m ²	---
6	0,18	0,16	laje pré-moldada	Cerâmico	Simplex 3 mm transp.	Alumínio	Maximar	2,8	12 (10 W/m ²)	---
7	0,2	0,17	laje pré-moldada	Fibrocimen to	Simplex 3 mm transp.	Alumínio	Basculante	3,0	12 (13 W/m ²)	---
8	0,17	0,14	laje pré-moldada	Fibrocimen to	Simplex 3 mm transp.	Alumínio	Maximar	3,0	16 17,3W/m ²	---

9	0,17	0,14	laje pré-moldada	Fibrocimentoto	Simples 3 mm transp.	Madeira	Maximar	3,0	16 13,3W/m ²	---
10	0,2	---	laje pré-moldada	Fibrocimentoto	Simples 3 mm transp.	Alumínio	Basculante	3,0	12 (13 W/m ²)	---
Dados a analisar	0,185	0,14	laje pré-moldada	Cerâmico e Fibrocim.	Simples 3 mm transp.	Alumínio	Basculante Maximar	3,0	12 (13 W/m ²)	Ventilação cruzada

Observações quanto as informações das tabelas acima:

- 1) Dimensão usual aproximada das salas de aula: 6 x 8 = 48 m² (padrão MEC) na grande maioria, com exceção de algumas salas em canto de planta.
- 2) Paredes externas com tijolo cerâmico 6 furos deitado, reboado nos dois lados.
- 3) Paredes internas com tijolo cerâmico 6 furos em pé, rebocado nos dois lados.
- 4) Razão WWR já descontada a área de caixilhos.
- 5) Iluminação do tipo fluorescente em todas as salas de aula.

4.2 RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DOS MODELOS PROTÓTIPOS:

As características definidoras dos modelos protótipos de análise, definidas com base no levantamento de campo, são a seguir apresentadas.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MODELOS:

Dimensões: o modelo protótipo sala da aula possui:

- Área: $6 \times 8 = 48 \text{ m}^2$
- Pé-direito : 3 m

Localização:

- Térrea ou no segundo pavimento, em meio ou canto de planta.

Características Físicas Constantes: referente as características físicas dos materiais e componentes utilizados nos modelos protótipos:

MATERIAIS:

Aqueles utilizados na especificação dos diferentes componentes construtivos da envolvente dos modelos protótipos.

Quadro 4.2: Materiais construtivos utilizados nos modelos protótipos.

MATERIAIS	L (m)	k (W/(m K))	d (Kg/m ³)	c (J/Kg K)	R (m ² K/W)
Tijolo cerâmico	0,14	0,9	1600	837	0,161
Telha cerâmica	0,02	0,9	2000	837	0,022
Telha fibrocimento	0,008	0,95	1922	837	0,008
Concreto-viga ext	0,14	1,75	2500	837	0,082
-contrapiso	0,05	1,75	2500	837	0,028
Piso cerâmico	0,008	1,05	2500	837	0,007
Reboco	0,02	1,15	1800	837	0,017
Isolamento térmico	0,0254	0,035	28,8	1213	0,725
Câmara ar cobertura	---	---	---	---	0,14

COMPONENTES:

São as diferentes combinações dos materiais utilizados que compõem cada elemento construtivo da envolvente dos modelos protótipos:

- Paredes externas: reboco + tijolo + reboco
- Paredes internas: definidas como paredes do tipo adiabática, não trocando calor com os elementos adjacentes.
- Laje intermediária de piso do tipo adiabática, quando a sala de aula é no segundo pavimento.
- Piso: piso cerâmico + concreto
- Cobertura: telha + câmara de ar + laje de forro + reboco
- Cobertura com isolamento térmico: telha + câmara de ar + isolamento + laje de forro + reboco
- Viga externa: reboco + concreto + reboco
- Vidro: comum 3 mm, com transmissividade de 0,9.

Os valores do coeficiente de absorvidade à radiação solar de paredes externas e cobertura, na análise inicial (sem otimizações), são respectivamente 0,5 e 0,6.

O valor do coeficiente de refletividade das superfícies internas (piso e teto) é de 0,7.

Quadro 4.3: Componentes construtivos dos modelos protótipos.

COMPONENTES	Resistência Térmica Total ((m ² K)/ W)	Transmitância Térmica Total ((W)/(m ² K))
Parede externa	0,434	2,304
Viga externa	0,277	3,610
Laje intermediária	0,359	2,785
Piso	0,238	4,201
Cobertura c/telha fibrocimento	0,498	2,088
Cobertura c/telha cerâmica	0,549	1,821
Cobertura c/ isolamento térmico	1,233	0,811

Observações:

* Nestes valores foram incluídas as resistências térmicas superficiais externas (R_{se}), que no DOE-2.1 E são calculadas em função da velocidade externa do ar.

* No cálculo das resistências térmicas totais (R_t) de cada elemento construtivo, foi adotado como critério a especificação de resistências térmicas de cálculo do DOE-2.1 E equivalentes as resistências efetivas existentes, de acordo com a sequência de camadas de materiais para cada elemento construtivo.

4.2.2 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS MODELOS:

Foram definidos padrões de operação (*schedules*), para as seguintes condições de operação:

- Ocupação
- Infiltração
- Iluminação
- Sistema de ar condicionado

Ocupação:

A ocupação das salas de aula é aquela identificada no levantamento de dados, com base na média de 30 alunos mais um professor por sala, representando uma pessoa para cada $1,5 \text{ m}^2$.

Como usuário médio, identificou-se a criança na faixa etária dos dez anos (idade média entre sete e quatorze anos para o primeiro grau), considerando para esta um ganho de calor na atividade de assistência de aulas de 90 W (sendo 40 W de calor sensível e 50 W de calor latente).

Este valor definido, conforme apresentado na seção 3.4.3.1 do capítulo três, foi calculado a partir da área corporal da criança (área de Dubois), proporcionalmente a área corporal do adulto e sua respectiva geração de calor, visto que conforme WATSON e LABS [1983]: “pessoas grandes produzem mais calor que pessoas pequenas”.

A elaboração dos padrões de operação (*schedules*) de ocupação considerou o horário diurno ininterrupto das 8 às 18 h, com ocupação total para cada sala de aula, de segunda à sexta-feira, conforme a figura a seguir:

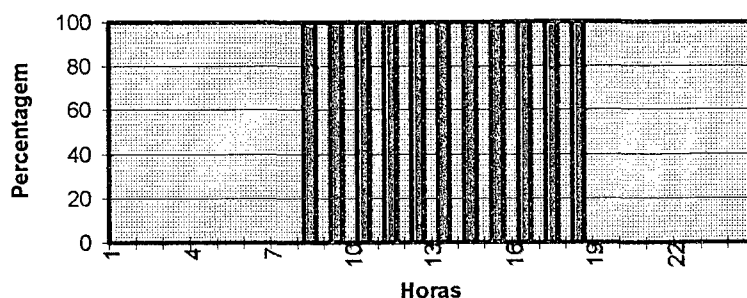


Figura 4.1: *Schedule* de ocupação das salas de aula de segunda à sexta-feira.

Infiltração:

A taxa de renovação de ar para o ambiente sala de aula, varia conforme o tipo do modelo protótipo e o tipo de análise efetuada.

As taxas de infiltração consideradas definem as situações práticas existentes nos ambientes simulados, nas diferentes situações de análise, sendo definida como taxas pequenas para a análise de consumo de energia e maiores para a análise de conforto térmico, na situação de ventilação unilateral (somente as janelas abertas) e na situação de ventilação cruzada (janelas e portas abertas).

As respectivas taxas de infiltração foram então definidas para as diferentes análises como segue:

1) Análise de consumo de energia:

Considerando as janelas fechadas: 1 renovação de ar por hora, representando a infiltração de ar pelas frestas das janelas.

2) Análise de conforto térmico:

Considerando ventilação natural cruzada, através de alta taxa de renovação de ar, conforme algoritmo apresentado no anexo 1, considerando uma velocidade média anual do vento de 4,1 m/s, de acordo com GOULART [1993], e direção de vento perpendicular as janelas.

Assim foi considerado janelas abertas, com área útil de entrada de 50% da sua área e área de saída a área da porta (ou área equivalente em aberturas altas na parede que possui a porta), resultando:

- Para 25% de WWR: 42 renovações de ar por hora
- Para 50% de WWR, foi considerado a mesma taxa de renovação de ar*.

* Valor igual ao da menor razão WWR, considerando que para 50% de razão WWR, com janelas de 1,5 m de altura, nem toda a área da janela é de abrir, existindo uma grande parte fixa (bandeira), conforme observado no levantamento de campo.

A elaboração dos padrões de operação (*schedules*) de infiltração, considerou situações distintas:

A) O horário de 24 horas diárias para situação com 1 renovação de ar por hora, na análise de consumo de energia, para todo o ano letivo (representando as frestas das aberturas), de acordo com a figura a seguir :

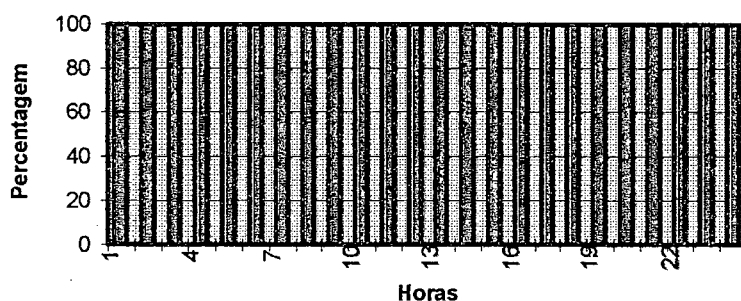


Figura 4.2: *Schedule* de infiltração para análise de consumo de energia.

B) O horário das 8 às 18 horas para a situação com 42 renovações de ar por hora, na análise de conforto, para o período de segunda à sexta-feira, durante todo o ano letivo (representando a ventilação cruzada, para as razões WWR de 25 e 50 %), de acordo com a figura apresentada na página a seguir:

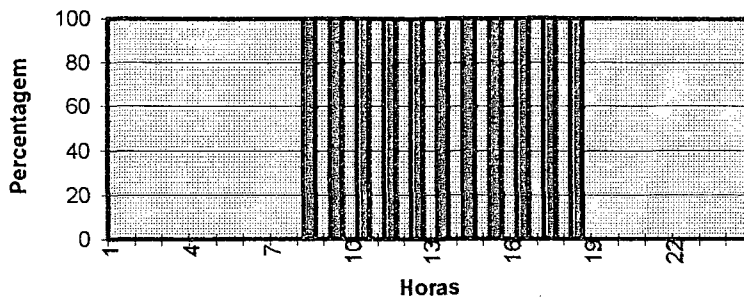


Figura 4.3: *Schedule* de infiltração para análise de conforto térmico.

Iluminação:

Foi considerado a iluminação de teto para as salas de aula, com luminárias suspensas com lâmpadas fluorescentes, numa potência instalada de 13 W/m^2 , referente a situação majoritariamente identificada no levantamento de campo, consistindo em seis luminárias, cada uma com duas lâmpadas de 40 W, mais o reator, este dissipando cerca de 30% da potência da luminária.

O controle do uso da iluminação elétrica em função da disponibilidade de iluminação natural é assim definido:

- Quando a iluminação natural fornece um nível de iluminamento de 300 lux, calculado no ponto de referência localizado a 4,5 m das janelas e a 4 m da parede de fundo, a iluminação elétrica é totalmente desligada (sistema de controle por etapas - *stepped*).

Este ponto de referência, definido no DOE-2.1 E como um sensor para o controle do nível de iluminamento, objetivando maximizar os benefícios da luz natural, foi especificado para altura do plano de trabalho usual, 0,75 m.

Sistema de Ar Condicionado:

A especificação de um sistema de ar condicionado, se baseia no fato de se calcular os consumos teóricos de energia, para resfriamento e aquecimento, deste modo o tipo em si não é o fator mais importante.

O sistema adotado foi o TPFC (*two pipe fan coil*), operando em aquecimento ou em resfriamento.

Período de Funcionamento:

O resfriamento foi considerado como ativo no período correspondente aos meses de verão e meia-estações: do início do ano letivo até 31 de maio e de 1 de setembro até o final do ano letivo, não funcionando nos meses de inverno.

O aquecimento foi considerado ativo no período correspondente aos meses de inverno e meia-estações: de 1 de abril até 30 de novembro, não funcionando nos meses de verão e no período de férias de julho.

O funcionamento do sistema de ar condicionado especificado, é definido através de *set-points*, para as diferentes situações de análise existentes:

1. Análise de consumo teórico de energia: com o condicionamento funcionando:

- *set-point* de resfriamento: 28,5 °C

- *set-point* de aquecimento: 18,5 °C

Estas temperaturas foram definidas com base na zona de conforto de Givoni segundo BARBOSA et al [1994] para Florianópolis, com limites de inverno e verão de 18 a 29 °C, respeitando-se os limites da temperatura de neutralidade térmica (T_n), de acordo com SZOKOLAY [1987], de 18,5 a 28,5 °C.

2. Análise de conforto térmico: com base nas temperaturas internas do ar (temperatura média da zona), com o condicionamento não funcionando.

- *set-point* de resfriamento: 50 °C

- *set-point* de aquecimento: 0 °C

Set-points especificados com valores exagerados, para o condicionamento artificial do ar nunca ser ativado (artifício de funcionamento para o programa), permitindo desta forma ao DOE-2.1 E calcular as temperaturas do ar internas dos ambientes, simulando a situação de ausência de condicionamento artificial.

4.3 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CAMPO NA SALA DE AULA:

As medições foram realizadas para uma sala de aula com a seguinte descrição:

Sala de aula de uma escola com dezoito salas, em dois pavimentos, localizada em um bairro urbano de Florianópolis (Agrônoma).

Características físicas:

- Sala de aula posicionada em meio de planta, no segundo pavimento;
- Dimensões: $6 \times 8 = 48 \text{ m}^2$;
- Pé-direito = 2,85 m;
- Orientação das janelas: noroeste;
- Razão WWR: 48% ;
- Proteção solar na janela: marquise de 1 m de largura, em toda a extensão das janelas, localizada a 0,3 m acima da verga;
- Piso: cerâmico;
- Paredes externas e internas: em tijolo cerâmico 6 furos com 0,16 m de espessura, rebocadas nos dois lados;
- Cobertura: forro em laje pré-moldada e telha de fibrocimento;
- Janela: vidro martelado; caixilho em alumínio; tipo maximar;
- Iluminação: fluorescente, com seis luminárias, cada uma com duas lâmpadas de 40 W ;
- Existência de aberturas altas na parede oposta a das janelas.

Características de ocupação:

- Horário de aulas: das 8 até as 22,05 h (em três períodos: manhã, tarde e noite);
- Período de ocupação: segunda a sexta-feira.

4.3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES:

Os equipamentos a seguir descritos, utilizados para as medições de campo na sala de aula selecionada, foram cedidos pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Variáveis medidas:

- Temperaturas do ar (TBS e TBU):
Psicrômetro giratório SP-G2-IOPE, escala de -10 a +50 °C, com resolução de 0,2 °C;

- Temperatura de globo (TG):

Termômetro de globo, com globo de cobre com diâmetro de 15 cm, escala de -10 a +150 °C, com resolução de 0,2 °C;

- Velocidade do ar (Var):

Termoanemômetro Compuflow-Model 8565 - Alnor, escala de 0 a 15 m/s, com resolução de: 0,01 de 0 a 3,55 m/s e 0,1 de 3,55 a 15 m/s

- Nível de iluminamento (E):

Luxímetro Digital - LX 102 - Lutron, escala de 0 a 50 000 lux , com resolução de: 1 lux até 2 000 lux, 10 lux até 20 000 lux, 100 lux até 50 000 lux.

Observações quanto as medições:

- Os dias escolhidos, são representativos de um dia de intenso calor de verão;
- As salas de aula foram medidas sem ocupação;
- As janelas estavam abertas e sem cortinas;
- A porta permaneceu fechada;
- As aberturas altas junto a parede oposta a das janelas estavam semi-abertas e estas se comunicam com uma circulação coberta, com iluminação natural.
- A iluminação fluorescente estava desligada;
- Mobiliário composto por uma mesa de professor e vinte e cinco carteiras de alunos.

4.3.2 PONTOS DE MEDIÇÃO:

As medições foram realizadas na sala de aula nos pontos de medição descritos conforme a figura apresentada na página a seguir, referente as diversas variáveis ambientais medidas.

- Nível de iluminamento (E):

Para a definição dos pontos de medição de nível de iluminamento, não foram adotados os procedimentos da norma NB 5382, que objetiva a determinação da iluminância média em plano horizontal, pois este não é o objetivo deste trabalho.

O objetivo foi o de verificar o nível de iluminamento natural a partir da luz que entra pela janela.

Assim foram definidos dois pontos a meia distância do comprimento da sala (**pontos 2 e 6**), distantes 1,5 m (ponto 2) e 4,5 m (ponto 6) das janelas, a 0,7 m de altura do chão (altura do plano de trabalho).

Dias Monitorados:

Dia 18/12/95 - Segunda-feira: observações colhidas:

- céu claro com pequenas nuvens finas e esparsas, durante todo o dia;
- vento em ambiente externo sem ação pela manhã e da direção norte/nordeste pela tarde.

Quadro 4.4: Resultados das medições na sala de aula e temperatura radiante média calculada*- dia 18/12/95.

Horas	TBS (°C)	TBU (°C)	TG (°C)	Var (média 5 pontos) (m/s)	Iluminamento ponto 2 (lux)	Iluminamento ponto 6 (lux)	TRM* (°C)
9	28,2	23,2	29	0,12	1767	756	29,6
10	29	24	29,8	0,06	1967	848	30,4
11	29,5	23,6	30,4	0,07	2710	1093	31,8
12	30	23	30,8	0,08	2770	1165	31,4
14	31,2	25,2	32,2	0,12	3120	1430	33,0
15	31,8	25,4	32,8	0,19	3250	1443	33,6
16	31,9	24,6	32,9	0,16	3040	1300	33,7
17	31,8	25,2	32,9	0,17	3000	1267	33,7

Temperatura máxima interna do ar medida no dia: 31,9 °C

* Temperatura radiante média (TRM), calculada de acordo como definido por PINTO et al in IPT [1987] :

$$TRM = TG + 2,2 \sqrt{V} (TG - TBS) \quad \text{onde:}$$

- TG é a temperatura de globo
- TBS é a temperatura de bulbo seco do ar
- V é a velocidade do ar

Dia 19/12/95 - Terça- feira: observações colhidas:

- céu difuso homogêneo com nuvens finas dispersas por todo o céu pela manhã;
- incidência de sol direto no início da tarde e depois céu nublado com nuvens claras após.

Quadro 4.5: Resultados das medições na sala de aula e temperatura radiante média calculada*- dia 19/12/95.

Horas	TBS (°C)	TBU (°C)	TG (°C)	Var (média 5 pontos) (m/s)	Iluminamento: ponto 2 (lux)	Iluminamento: ponto 6 (lux)	TRM* (°C)
9	29,4	23,8	30,4	0,01	2240	867	30,6
10	29,9	23,4	30,6	0,0	2400	868	30,6
11	30,2	23,7	31,2	0,08	3130	1193	31,8
12	30,7	23,5	31,6	0,06	3140	1160	32,0
14	33,3	23,5	34,6	0,06	4200	1590	35,3
15	32,2	24,3	33,7	0,1	3570	1215	34,7
16	32,2	23	33,4	0,07	3380	1170	34,0
17	32,4	23,9	33,6	0,09	2430	847	34,4

Temperatura máxima interna do ar medida no dia: 33,3 °C

Observação quanto as medições:

1) Foram efetuadas medições de temperatura do ar (TBS) no sentido vertical e horizontal, num horário de pico, constatando-se não existir variações significativas, caracterizando o ambiente como homogêneo.

2) Os valores de velocidade do ar foram colhidos por medições instatâneas em cada ponto, sendo calculada a média aritmética dos cinco pontos.

Impressões pessoais identificadas na etapa de medições na sala de aula: -**Sensação térmica experimentada:**

Dia 18/12/95 : Manhã - leve sensação de calor

Tarde - calor

Dia 19/12/95: Manhã - calor

Tarde - calor

- Desconforto localizado, provavelmente causado pela presença de um campo assimétrico de radiação, em virtude da grande área de janelas (razão WWR de 48%).

4.4 RESULTADOS DE MEDIÇÕES EXTERNAS:

Medições de temperaturas do ar, velocidade do ar e radiação solar para os dias 18 e 19/12/95 (apresentadas nos quadros a seguir), medidas na estação solarimétrica do Laboratório de Energia Solar (Labsolar) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado no campus universitário, a aproximadamente 4,5 Km da escola em que foram feitas as medições na sala de aula, objetivando a comparação com os dados da sala de aula monitorada.

Estas medições objetivam a comparação com os dados da sala de aula monitorada.

Quadro 4.6: Resultados das medições externas, dia 18/12/95.

Hora	TBS (°C)	TBU (°C)	Var (m/s)	Radiação solar direta (W/m ²)	Radiação solar difusa (W/m ²)	Radiação solar global (W/m ²)
9	28,4	22,2	2	462	205	667
10	32,2	22,9	1	725	247	972
11	35	31,2	1	859	190	1049
12	34,5	34,5	1	629	477	1106
14	36,4	22,2	1	811	191	1002
15	36,2	23,2	2	652	156	808
16	35,1	23,1	2	445	157	602
17	33,1	21,9	1	18	155	173

Quadro 4.7: Resultados das medições externas, dia 19/12/95.

Hora	TBS (°C)	TBU (°C)	Var (m/s)	Radiação solar direta (W/m ²)	Radiação solar difusa (W/m ²)	Radiação solar global (W/m ²)
9	29,8	20,7	2	---	270	270
10	29,6	20,5	1	5	373	378
11	31,4	21,4	2	---	425	425
12	35,4	21,6	1	156	563	719
14	33	32,2	2	17	406	423
15	30,7	29,6	2	31	346	377
16	31,6	30,9	1	32	307	339
17	30,1	27,7	6	---	134	134

4.5 CONCLUSÕES SOBRE AS MEDIÇÕES:

1. Ficou caracterizado pelos resultados encontrados, o desconforto da sala de aula frente a um intenso período de calor, como o ocorrido nos dias das medições e nos dias próximos a estes.

2. As temperaturas encontradas (TBS e TG), ficaram acima dos limites de conforto térmico definidos para Florianópolis e a enorme carga de radiação solar recebida pelas janelas (razão WWR de 48% e marquise com 1,0 m de largura) ficou evidenciada pelos valores de temperatura de globo (TG), com valores quase sempre acima da temperatura de bulbo seco (TBS), em aproximadamente 1°C, como também nos valores de temperatura radiante média calculada (TRM).

3. Os níveis de iluminamento natural (E) encontrados, são de valores altos, evidenciando o potencial de utilização da iluminação natural, tanto para dias com céu claro, como para dias com céu encoberto (difuso). No ponto de medição do nível de iluminamento localizado a meia distância do comprimento da sala e a 4,5 m das janelas (ponto 6), em todo o período das medições, o nível de iluminamento ficou acima dos 300 lux recomendados para as atividades em salas de aula, sendo o menor valor o de 756 lux, às 9 h do dia 18/12/95.

4. Comparando os dados medidos na sala de aula com os dados de medições externas da estação solarimétrica, identificou-se que:

- A caracterização de um dia de céu encoberto difuso para a terça-feira 19/12/95, está representada pelos valores de radiação solar para aquele dia.

- As temperaturas do ar (TBS) externas foram superiores as medidas em sala de aula, para o dia 18/12 e para a manhã do dia 19/12.

- Os baixos valores de velocidade do ar medidos em sala de aula, apresentam o mesmo comportamento para os valores de velocidade do ar externa, que majoritariamente ficaram na faixa de 1 e 2 m/s.

4.6 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA:

Os resultados encontrados, foram coletados em cada etapa de análise e avaliação, primeiramente no que se refere aos valores anuais de consumo teórico de resfriamento (CTR); consumo real de iluminação elétrica (CRIE); percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural (REIN); e o consumo teórico de aquecimento (CTA), possibilitando verificar a partir destes parâmetros o desempenho térmico e o potencial de aproveitamento da luz natural, existente para os modelos protótipos analisados.

Para o cálculo dos consumos teóricos de resfriamento e aquecimento, foi considerado o seguinte esquema de funcionamento do sistema de ar condicionado:

- Período de verão: meses de dezembro, fevereiro e março:

resfriamento ligado

aquecimento desligado

- Período de inverno: meses de junho, julho (exceto férias) e agosto:

aquecimento ligado

resfriamento desligado

- Período das meia-estações: meses de abril, maio, setembro, outubro e novembro:

resfriamento e aquecimento ligados.

4.6.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS QUATRO MODELOS A, B, C e D:

Estes resultados das simulações são apresentados nas páginas a seguir (quadros , 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11), referente inicialmente aos quatro modelos citados.

Envolvendo: orientação das aberturas de razão WWR.

Quadro 4.8: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural - Modelo A, sala térrea em meio de planta:

Orientação aberturas	Razão WWR (%)	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	25	620	106	183	88,2
	35	913	73	173	91,9
	50	1454	57	167	93,7
Sul	25	364	118	259	86,9
	35	482	85	258	90,5
	50	686	71	251	92,1
Leste	25	517	72	188	91,9
	35	728	60	167	93,3
	50	1180	54	149	94
Oeste	25	567	155	247	82,7
	35	850	97	247	89,2
	50	1251	74	239	91,7
Nordeste	25	580	73	167	91,9
	35	856	60	152	93,3
	50	1366	54	142	94
Noroeste	25	648	139	236	84,5
	35	1007	94	233	89,5
	50	1498	74	227	91,7
Sudeste	25	415	86	253	90,5
	35	553	69	244	92,4
	50	829	59	232	93,5
Sudoeste	25	423	155	257	82,8
	35	603	97	256	89,1
	50	888	74	247	91,7

Quadro 4.9: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural - Modelo B, sala térea em canto de planta

Orientação aberturas	Razão WWR(%)	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	25	653	106	213	88,2
	35	934	73	201	91,9
	50	1453	57	190	93,7
Sul	25	367	118	299	86,9
	35	476	85	297	90,5
	50	672	71	288	92,1
Leste	25	494	72	225	91,9
	35	687	60	198	93,3
	50	1065	54	173	94
Oeste	25	588	155	279	82,7
	35	866	97	279	89,2
	50	1252	74	269	91,7
Nordeste	25	581	73	196	91,9
	35	832	60	177	93,3
	50	1298	54	162	94
Noroeste	25	693	139	268	84,5
	35	1046	94	264	89,5
	50	1515	74	257	91,7
Sudeste	25	409	86	297	90,5
	35	541	69	285	92,4
	50	789	59	271	93,5
Sudoeste	25	428	155	293	82,8
	35	605	97	292	89,1
	50	864	74	281	91,7

Quadro 4.10: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural (considerando não haver trocas de calor com o pavimento térreo) - Modelo C, sala no segundo pavimento em meio de planta:

Orientação aberturas	Razão WWR(%)	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	25	1446	208	143	88,6
	35	1934	142	137	92,3
	50	2543	113	139	93,8
Sul	25	922	230	199	87,5
	35	1140	167	200	90,9
	50	1495	141	197	92,2
Leste	25	1251	143	141	92,1
	35	1668	118	127	93,5
	50	2222	107	118	94
Oeste	25	1317	301	190	83,7
	35	1639	189	191	89,8
	50	2127	149	187	91,7
Nordeste	25	1403	144	128	92,1
	35	1825	118	121	93,5
	50	2471	107	128	94
Noroeste	25	1493	272	185	85,1
	35	1875	183	183	90,1
	50	2435	149	180	91,7
Sudeste	25	1029	167	194	91
	35	1300	135	187	92,6
	50	1959	117	180	93,5
Sudoeste	25	1085	300	197	83,7
	35	1314	189	198	89,8
	50	1695	149	193	91,7

Quadro 4.11: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural (considerando não haver trocas de calor com o pavimento térreo) - Modelo D, sala no segundo pavimento em canto de planta.

Orientação aberturas	Razão WWR(%)	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	25	1408	208	170	88,6
	35	1883	142	162	92,3
	50	2474	113	159	93,8
Sul	25	873	230	236	87,5
	35	1069	167	235	90,9
	50	1385	141	231	92,2
Leste	25	1138	143	171	92,1
	35	1467	118	153	93,5
	50	2006	107	138	94
Oeste	25	1221	301	220	83,7
	35	1610	189	220	89,8
	50	2074	149	215	91,7
Nordeste	25	1312	144	153	92,1
	35	1717	118	141	93,5
	50	2343	107	142	94
Noroeste	25	1480	272	214	85,1
	35	1844	183	212	90,1
	50	2382	149	207	91,7
Sudeste	25	959	167	233	91
	35	1194	135	224	92,6
	50	1809	117	214	93,5
Sudoeste	25	969	300	230	83,7
	35	1259	189	229	89,8
	50	1609	149	223	91,7

Análise Geral dos Resultados da Simulação dos 4 Modelos A, B, C e D, envolvendo: orientação das aberturas e razão WWR:

Com base nestes resultados iniciais, verificou-se que:

1) A orientação das aberturas e a razão WWR influenciaram significativamente o consumo teórico de resfriamento (CTR) e no consumo real de iluminação (CRIE), ficando respectivamente esta variação em 410% e 418 % para a razão WWR de 25 %; 406% e 315 % para 35 % de WWR; e 362% e 276 % para 50 % de razão WWR.

2) O consumo teórico de aquecimento foi o que sofreu as menores variações em função da mudança de orientação das aberturas e razão WWR, em virtude de existir uma geração de calor pelos ocupantes, gerando uma carga térmica interna que satisfaz as necessidades de aquecimento.

3) Os valores de economia de energia pelo uso da iluminação natural variam pouco frente a mudança de orientação das aberturas e razão WWR (de 82,7 a 94 %); porém, cada ponto percentual a mais ou a menos se manifesta claramente no consumo real em iluminação.

4) As salas de aula em contato direto com o solo (salas térreas), apresentaram valores de consumo teórico de resfriamento menores do que as salas no segundo pavimento, em virtude de as primeiras poderem ceder calor interno para o solo e as segundas não poderem trocar calor com o pavimento térreo. Esta situação das salas do segundo pavimento não trocarem calor com o pavimento abaixo, não parece ser a situação na prática, porém não foi possível simular esta situação prática neste estudo.

5) Para as orientações das aberturas, o aumento da razão WWR ocasionou um enorme aumento no consumo teórico de resfriamento - CTR (de 156% a 235 %), em virtude do aumento do ganho solar radiativo pelas janelas, que acarreta um aumento na carga térmica a ser condicionada. Assim, a razão WWR que ocasionou os menores valores de CTR foi a menor, de 25% de WWR.

6) Os valores de consumo real de iluminação (CRIE) das salas no segundo pavimento são aproximadamente o dobro do mesmo consumo das salas térreas (para as orientações e razão WWR analisadas), valores estes em princípio estranhos, haja vista que não houveram mudanças de configuração física da sala de aula que justificasse tais resultados.

Prosseguindo a metodologia proposta, foi feita a avaliação dos quatro modelos A, B, C e D, com orientação das aberturas e razão WWR.

4.6.2 RESULTADOS DA PRIMEIRA AVALIAÇÃO DOS QUATRO MODELOS A, B, C e D:

Foram selecionadas a partir dos valores de CTR dos modelos A, B, C e D as oito melhores situações (uma para cada orientação), para a razão WWR de 25% que possui os menores valores de consumo teórico de resfriamento (CTR).

Estas situações analisadas dos modelos A, B, C e D, são a seguir apresentadas:

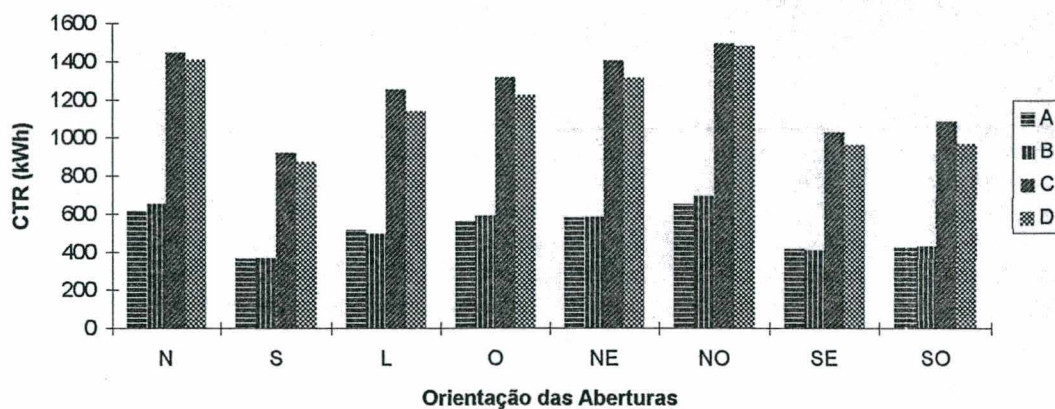


Gráfico 4.1: Consumo Teórico de Resfriamento - CTR (razão WWR de 25%), para diferentes orientações de aberturas.

Assim, prosseguindo a análise, foi feita a primeira avaliação com os modelos A, B, C e D com razão WWR de 25 %, apresentada na página a seguir.

Quadro 4.12: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A, B, C e D: primeira avaliação.

Orientação aberturas com 25% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A - sala térrea, meio de planta	620	106	183	88,2
Sul	A - sala térrea, meio de planta	364	118	259	86,9
Leste	B - sala térrea, canto de planta	494	72	225	91,9
Oeste	A - sala térrea, meio de planta	567	155	247	82,7
Nordeste	A - sala térrea, meio de planta	580	73	167	91,9
Noroeste	A - sala térrea, meio de planta	648	139	236	84,5
Sudeste	B - sala térrea, canto de planta	409	86	297	90,5
Sudoeste	A - sala térrea, meio de planta	423	155	257	82,8

4.6.3 RESULTADOS DA SEGUNDA, TERCEIRA, QUARTA E QUINTA AVALIAÇÕES - MODELOS A e B SELECIONADOS.

Resultados iniciais da segunda avaliação dos dois modelos A e B:

Envolvendo orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar.

Foram feitas duas verificações:

- a primeira considerando a proteção solar com 1,0 m de largura.
- a segunda considerando a proteção solar com 0,7 m de largura.

Quadro 4.13: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: segunda avaliação (inicial).

Orientação aberturas com 25% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	471/ 561	110/ 108	185/ 184	87,8/ 87,9
Sul	A	339/ 351	126/ 120	256/ 258	85,9/ 86,6
Leste	B	438/ 462	75/ 74	231/ 227	91,7/ 91,8
Oeste	A	499/ 528	162/ 158	247/ 247	82,0/ 82,4
Nordeste	A	488/ 526	76/ 75	169/ 168	91,6/ 91,7
Noroeste	A	556/ 603	145/ 143	241/ 238	83,9/ 84,1
Sudeste	B	373/ 388	89/ 88	299/ 297	90,1/ 90,2
Sudoeste	A	379/ 402	162/ 157	256/ 256	82,0/ 82,5

Obs.: O primeiro valor de cada coluna se refere ao uso de proteção solar com 1,0 m.

O segundo valor de cada coluna se refere ao uso de proteção solar com 0,7 m.

Análise da Segunda Avaliação - Modelos A e B:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1) O uso de proteções solares (beiral, marquise) tem maior influência no consumo teórico de resfriamento para a orientação norte, devido a maior altura solar nesta orientação, bloqueando assim grande parte do ganho solar radiativo. No entanto, nas demais orientações, também houveram significativas reduções de CTR.

2) O consumo teórico de aquecimento (CTA), manteve-se com valores muito próximos a da situação sem uso de proteções solares, em virtude da geração de calor pelos ocupantes satisfazer as necessidades de aquecimento do ambiente.

3) A influência do uso das proteções solares na economia de energia em iluminação e consumo real de iluminação é pequena, mantendo valores próximos da situação sem uso da proteção solar.

Resultados Finais da Segunda Avaliação dos Dois Modelos A e B:

Foram selecionadas, as melhores situações, menores valores de consumo teórico de resfriamento (CTR), que é a situação com uso de proteções solares com 1,0 m de largura.

Quadro 4.14: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: segunda avaliação (final).

Orientação aberturas com 25% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	471	110	185	87,8
Sul	A	339	126	256	87,8
Leste	B	438	75	231	91,7
Oeste	A	499	162	247	82
Nordeste	A	488	76	169	91,6
Noroeste	A	556	145	241	83,9
Sudeste	B	373	89	299	90,1
Sudoeste	A	379	162	256	82

Resultados da terceira avaliação dos dois modelos A e B:

Envolvendo orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar + absorvidade.

Nesta etapa, foi considerado uma baixa absorvidade frente à radiação solar, para as paredes externas e cobertura.

Quadro 4.15: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: terceira avaliação.

Orientação aberturas com 25% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	276	110	219	87,8
Sul	A	202	126	307	85,9
Leste	B	255	75	287	91,7
Oeste	A	301	162	292	82
Nordeste	A	289	76	208	91,6
Noroeste	A	336	145	282	83,9
Sudeste	B	208	89	362	90,1
Sudoeste	A	225	162	304	82

Análise da Terceira Avaliação - Modelos A e B:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1) O uso de cores claras com baixa absorvidade à radiação solar na envolvente da edificação (paredes externas e cobertura), tem enorme influência no consumo teórico de resfriamento, melhorando consideravelmente o desempenho térmico da edificação como um todo, com diminuição da quantidade de calor transmitido para o interior da edificação.

2) A redução no consumo teórico de resfriamento (CTR) foi maior para as situações com orientação das aberturas norte, nordeste e noroeste.

3) Com a baixa absorvidade de paredes externas e cobertura, o consumo teórico de aquecimento (CTA) aumentou, mas em valores não significativos.

Resultados da quarta avaliação dos dois modelos A e B:

Envolvendo orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar + absortividade + isolamento térmico.

Nesta etapa foi utilizado um isolante térmico, poliuretano expandido (isopor) com 2,54 cm de espessura, colocado sobre a laje de forro, aumentando o isolamento térmico da cobertura.

Quadro 4.16: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: quarta avaliação.

Orientação aberturas com 25% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	305	110	165	87,8
Sul	A	212	126	229	85,9
Leste	B	274	75	215	91,7
Oeste	A	345	162	219	82
Nordeste	A	321	76	154	91,6
Noroeste	A	370	145	214	83,9
Sudeste	B	222	89	277	90,1
Sudoeste	A	236	162	227	82

Análise da Quarta Avaliação - Modelos A e B:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1) O consumo teórico de resfriamento aumentou, em virtude do isolamento térmico da cobertura dificultar a perda de calor interno, que no caso analisado é significativo (31 ocupantes).

2) O consumo teórico de aquecimento diminuiu, já que não houve significativas perdas de calor dos ocupantes pela cobertura.

3) A utilização de isolante térmico na cobertura, sobre a laje de forro, aumenta o consumo teórico de energia de resfriamento (CTR), considerando o balanço anual para o

clima de Florianópolis, devido ao grande ganho de calor interno proveniente dos ocupantes, que tem dificuldade para sair.

Obs.: A utilização do isolante térmico na cobertura, foi considerada para o condicionamento artificial das sala de aula funcionado somente no horário das 8 as 18 h, ou seja, com temperaturas do ar externas altas, dificultando ainda mais as perdas de calor interno, principalmente com o isolamento térmico. A consideração de todo o dia para análise do consumo teórico de energia pode levar a conclusões diferentes, pois possibilita maiores perdas de calor interno, devido a diminuição das temperaturas externas do ar durante a noite.

No entanto, para a dissipação do calor gerado pelos ocupantes, existe o recurso da ventilação natural, que não é utilizado complementarmente ao do condicionamento artificial, não podendo a ventilação natural ser avaliada na etapa de análise de consumo de energia; a mesma será analisada adiante na etapa de análise de conforto térmico.

Resultados da Quinta Avaliação (complementar) dos Dois Modelos A e B:

Verificação da influência do entorno construído no desempenho térmico e na economia de energia com iluminação natural, através do efeito de obstáculos (altura de 12 m) junto as aberturas, localizadas a diferentes distâncias destas: 20, 5 e 1,5 m.

Resultados da quinta avaliação dos dois modelos A e B:

Envolvendo: orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar + absortividade + obstruções junto as aberturas.

Considerando que na quinta avaliação, o isolamento térmico da cobertura ocasionou aumento no consumo teórico de resfriamento (CTR), a simulação foi efetuada com base nos resultados referentes a quarta avaliação.

Quadro 4.17: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: quinta avaliação (complementar).

Orientação aberturas com 25% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	234/ 131/ 102	103/ 216/ 274	167/ 233/ 241	88,6/ 76,0/ 69,5
Sul	A	177/ 124/ 104	114/ 185/ 268	237/ 243/ 247	87,3/ 79,4/ 70,2
Leste	B	200/ 120/ 97	87/ 335/ 387	235/ 273/ 280	90,3/ 62,7/ 56,9
Oeste	A	250/ 127/ 101	117/ 178/ 162	227/ 244/ 257	87,0/ 80,2/ 81,9
Nordeste	A	254/ 127/ 103	109/ 259/ 386	198/ 231/ 232	87,9/ 71,2/ 57,0
Noroeste	A	305/ 128/ 102	127/ 195/ 185	218/ 241/ 254	85,9/ 78,3/ 79,4
Sudeste	B	183/ 120/ 98	97/ 280/ 331	281/ 280/ 288	89,2/ 68,8/ 63,1
Sudoeste	A	207/ 125/ 102	118/ 182/ 162	236/ 245/ 257	86,9/ 79,7/ 81,9

Obs.: O primeiro valor de cada coluna se refere a distância da obstrução de 20 m.

O segundo valor de cada coluna se refere a distância da obstrução de 5m.

O terceiro valor de cada coluna se refere a distância da obstrução de 1,5 m.

Análise da Quinta Avaliação (complementar) - Modelos A e B:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1) O obstáculo com 12 m de altura, afeta significativamente a fachada com aberturas e a edificação como um todo, numa redução no consumo teórico de resfriamento (CTR), devido a menor carga de radiação solar incidente na edificação, pelo sombreamento da mesma.

2) O consumo teórico de aquecimento (CTA), foi o que apresentou os menores valores de variação com a análise das obstruções, sendo que para a distância de 20 m, os valores são próximos a da situação sem qualquer obstrução.

3) Os valores de economia de energia com iluminação natural, apresentam alguns valores incomuns, como para a situação de aberturas sem obstruções, onde a economia em energia é menor do que com obstrução a 20 m de distância, fato este em princípio relacionado a reflexão de luz natural junto ao obstáculo.

4.6.4 RESUMO DOS RESULTADOS COLETADOS NAS CINCO AVALIAÇÕES EFETUADAS - MODELOS A e B SELECIONADOS:

Em função do menor consumo teórico de resfriamento (CTR) e da maior percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural (REIN), da primeira até a quinta avaliação, foram identificados a partir dos modelos A, B, C e D (salas térreas e no segundo pavimento e salas em meio e canto de planta), os modelos A e B como os selecionados.

Quadro 4.18: Consumo anual de energia (kWh) e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural (%), modelos A e B: primeira até quinta avaliação.

Tipo do modelo		A	A	B	A	A	A	B	A
Orientação	Aberturas	N	S	L	O	NE	NO	SE	SO
com Razão WWR 25%									
Primeira avaliação	CTR	620	364	494	567	580	648	409	423
	CRIE	106	118	72	155	73	139	86	155
	REIN	88,2	86,9	91,9	82,7	91,9	84,5	90,5	82,8
Segunda avaliação	CTR	471	339	438	499	488	556	373	379
	CRIE	110	126	75	162	76	145	89	162
	REIN	87,8	85,9	91,7	82,0	91,6	83,9	90,1	82,0
Terceira avaliação	CTR	276	202	255	301	289	336	208	225
	CRIE	110	126	75	162	76	145	89	162
	REIN	87,8	85,9	91,7	82,0	91,6	83,9	90,1	82,0
Quarta avaliação	CTR	305	212	274	345	321	370	222	236
	CRIE	110	126	75	162	76	145	89	162
	REIN	87,8	85,9	91,7	82,0	91,6	83,9	90,1	82,0
Quinta avaliação	CTR	234	177	200	250	254	305	183	207
distância = 20 m	CRIE	103	114	87	117	109	127	97	118
	REIN	88,6	87,3	90,3	87,0	87,9	85,9	89,2	86,9

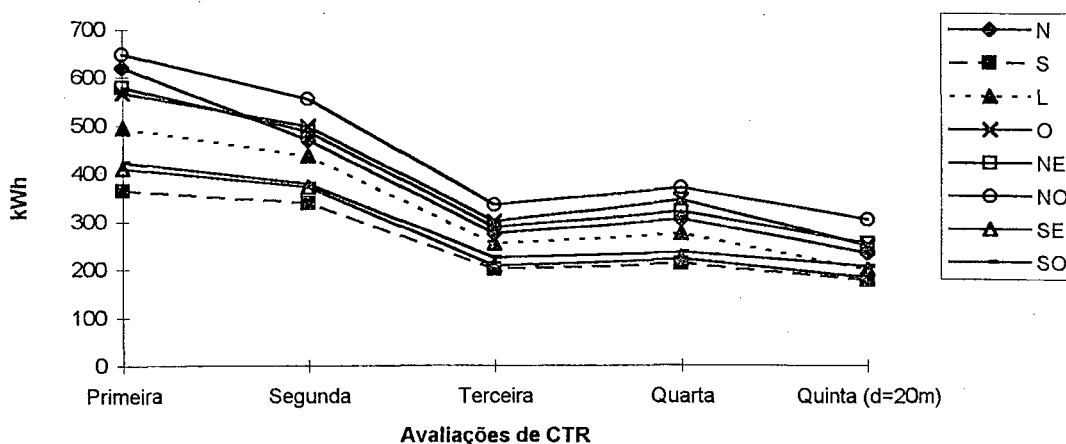


Gráfico 4.2: Consumo Teórico de Resfriamento - CTR, modelos A e B, nas cinco avaliações.

Análise das Cinco Avaliações - Modelos A e B:

Tendo como base a combinação inicial de orientação das aberturas e razão WWR de 25%, relacionadas na primeira avaliação, identificou-se com o processo de otimização as duas melhores situações na terceira avaliação (relativo unicamente ao tratamento da envolvente da edificação), no que se refere aos critérios adotados (ver seção 3.5.1 do capítulo três) para a análise de consumo teórico de energia, considerando agora em primeiro lugar a situação de menor valor de CTR e respectivo valor de REIN; e em segundo lugar o maior valor de REIN e respectivo valor de CTR, este preferencialmente o menor.

Assim, foram selecionadas as seguintes situações:

- 1 Orientação das aberturas sul: primeiro menor valor de CTR (202 kWh) e valor respectivo de REIN de 85,9%.
- 2 Orientação das aberturas leste: maior valor de REIN (91,7%) e valor de CTR de 255 kWh.

4.6.5 INFLUÊNCIA DO AUMENTO DA RAZÃO WWR NO CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA E ECONOMIA DE ENERGIA COM USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.

Análise do CTR, CTA e REIN para os dois modelos selecionados A e B (salas térreas em meio e canto de planta), considerando agora a razão WWR de 50%.

Assim, o aumento do consumo teórico de energia (CTR e CTA), foi também analisado para o aumento da área de janelas, que influencia diretamente no consumo de energia, juntamente com o reflexo na percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural (REIN), frente as otimizações já efetuadas, ou seja, envolvendo o tratamento da envolvente da edificação, com orientação das aberturas e razão WWR + proteção solar + absortividade.

Os dados apresentados, são das orientações de aberturas selecionadas para os dois modelos A e B com razão WWR de 25% (menores valores de CTR), para comparação e verificação das variações no consumo teórico de energia com o aumento da razão WWR para 50%.

4.6.5.1 RESULTADOS DA PRIMEIRA, SEGUNDA, TERCEIRA E QUARTA AVALIAÇÕES - MODELOS A e B - RAZÃO WWR DE 50%.

Resultados da Primeira Avaliação:

Foram selecionados nos dois modelos A e B, as situações de razão WWR de 50% referente as oito orientações especificadas.

Quadro 4.19: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: primeira avaliação - razão WWR de 50%:

Orientação aberturas com 50% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	1454	57	167	93,7

Sul	A	686	71	251	92,1
Leste	B	1065	54	173	94
Oeste	A	1251	74	239	91,7
Nordeste	A	1366	54	142	94
Noroeste	A	1498	74	227	91,7
Sudeste	B	789	59	271	93,5
Sudoeste	A	888	74	247	91,7

Análise da Primeira Avaliação:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1) O aumento da razão WWR de 25 para 50%, aumenta significativamente o CTR, em virtude do maior ganho solar pelas janelas, que influi na carga térmica interna a ser condicionada artificialmente.

2) Os valores de CTA sofrem pequena variação, em virtude deste estar vinculado principalmente aos ganhos internos de calor (ocupantes).

3) Os valores absolutos do consumo real em iluminação reduzem-se enormemente, com reflexo no aumento do percentual de redução do uso de energia com utilização da iluminação natural.

Resultados da segunda avaliação:

Com a incorporação de proteção solar de 1,0 m de largura nas aberturas (beiral ou marquise).

Quadro 4.20: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: segunda avaliação - razão WWR de 50%:

Orientação aberturas com 50% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	725	63	140	93,0
Sul	A	465	79	208	91,2

Leste	B	668	58	153	93,5
Oeste	A	762	82	199	90,9
Nordeste	A	805	58	120	93,5
Noroeste	A	875	81	193	91,0
Sudeste	B	516	64	233	92,8
Sudoeste	A	563	81	207	91,0

Resultados da terceira avaliação:

Com a incorporação de baixa absorvidade frente à radiação solar para paredes externas e cobertura ($\alpha=0,2$), a partir da utilização de cores claras.

Quadro 4.21: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: terceira avaliação - razão WWR de 50%:

Orientação aberturas com 50% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	521		199	
Sul	A	354		297	
Leste	B	477		230	
Oeste	A	593		285	
Nordeste	A	568		172	
Noroeste	A	655		273	
Sudeste	B	377		330	
Sudoeste	A	436		296	

Obs.: As áreas achuradas representam a não alteração de valores em relação a avaliação anterior.

Resultados da quarta avaliação:

Com a incorporação de isolante térmico na cobertura (2,54 cm de poliuretano expandido sobre a laje de forro).

Com o isolamento térmico houve um aumento dos valores do CTR, conforme já verificado na análise dos modelos com razão WWR de 25%.

Análise da Segunda, Terceira e Quarta Avaliações:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

- 1) A adoção do tratamento da envolvente da sala de aula, através das variáveis otimizadoras, reduziu grandemente o CTR.
- 2) Os valores de CTA apresentaram pequenas variações, conforme já explicado para outras situações analisadas.
- 3) Os valores de economia de energia com iluminação natural apresentaram pequena redução.

4.7 INFLUÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA COM A NÃO UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.

Para esta análise, onde toda a iluminação necessária para as atividades na sala de aula vai ser fornecida pela iluminação elétrica, foi feita a verificação direta no consumo real em iluminação elétrica (CRIE), e os reflexos no CTR e no CTA.

Avaliou-se os modelos A e B, envolvendo orientação das aberturas e razão WWR de 25 %, valores estes para comparação com os equivalentes com o uso da iluminação natural, anteriormente apresentados na seção 4.6.2, quadro 4.13.

Quadro 4.22: Consumo anual de energia e percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural, modelos A e B: sem uso da luz natural.

Orientação aberturas com 25% WWR	Tipo do modelo selecionado	CTR (kWh)	CRIE (kWh)	CTA (kWh)	REIN (%)
Norte	A	804	898	167	0
Sul	A	502	898	232	0
Leste	B	663	898	192	0
Oeste	A	737	898	224	0
Nordeste	A	775	898	147	0
Noroeste	A	836	898	214	0
Sudeste	B	547	898	258	0
Sudoeste	A	568	898	231	0

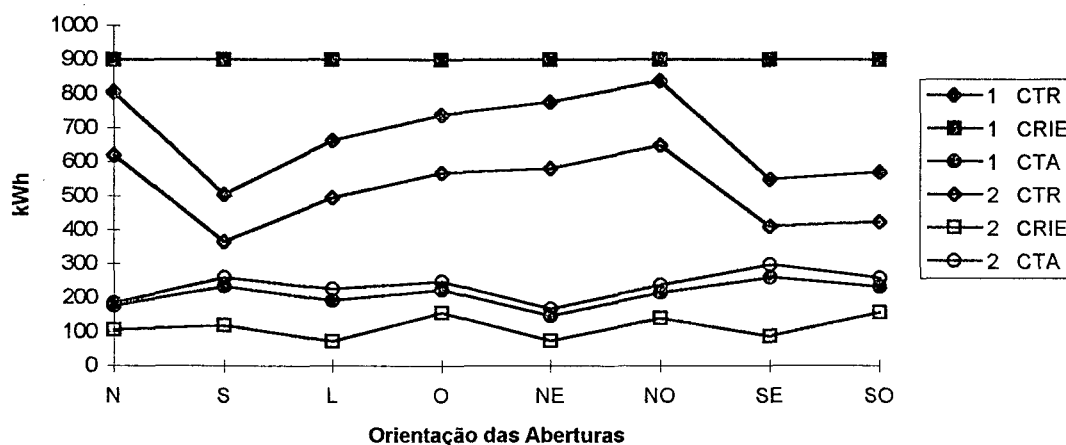


Gráfico 4.3: Consumo anual de energia para situação sem uso da iluminação natural (1) e situação com uso da iluminação natural (2).

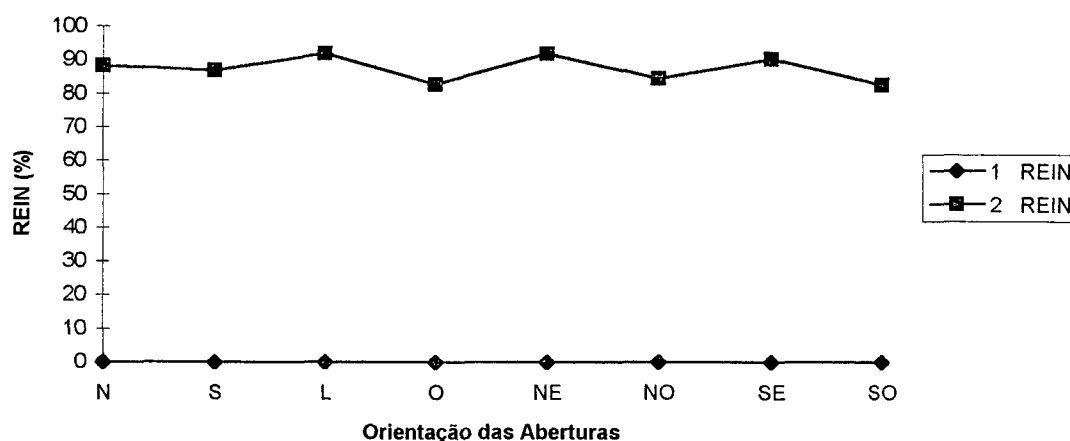


Gráfico 4 4: Percentagem de redução de energia em iluminação para situação sem uso da iluminação natural (1) e situação com uso da iluminação natural (2).

Análise dos Resultados:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1) O consumo real em energia de iluminação (CRIE) sem o uso da iluminação natural é cerca de cinco a doze vezes maior do que com a iluminação natural (conforme a situação analisada), evidenciando o potencial de conservação de energia para as edificações escolares.

2) O aumento no consumo em iluminação elétrica, com esta funcionando em todo o período de utilização das salas de aula, influencia na geração de calor interno, com aumento do CTR e diminuição do CTA.

4.8 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO:

Para esta análise, foram definidas duas situações, descritas na seção 3.4.3 do capítulo três, a seguir apresentado:

- Primeira situação, com base na análise de consumo teórico de energia (CTR), que identificou o modelo A com 25 % de razão WWR, como o melhor quanto a este critério definido de seleção, na respectiva orientação de aberturas sul.

No entanto, como trata-se da análise de conforto térmico, este modelo A foi analisado com razão WWR de 50 %, já que o aumento do tamanho das janelas não necessariamente prejudica às condições de conforto térmico, como ocorreu no caso do consumo de energia.

- Segunda situação, com base na análise de consumo teórico de energia (CTR), que identificou o modelo C com 25 % de razão WWR, como o pior quanto ao critério de seleção definido, na orientação de aberturas noroeste.

Da mesma forma que a primeira situação, aqui também o modelo foi analisado com razão WWR de 50 %, como justificado anteriormente.

Os resultados encontrados, foram coletados em diferentes etapas de análise e avaliação, possibilitando verificar inicialmente os reflexos de diferentes valores de consumo de energia (notadamente CTR), em termos das temperaturas internas do ar das salas de aula; e posteriormente, a partir destas temperaturas (definidas como temperatura média da sala), os reflexos em termos de conforto térmico pelo cálculo dos índices PMV e PPD para diferentes situações analisadas, índices estes calculados a partir das seis variáveis requeridas, conforme já apresentado na seção 3.4.3.1 do capítulo três.

Para esta verificação, foram analisadas então os seguintes modelos protótipos:

1. Modelo A:

1.1 Sala térrea em meio de planta, razão WWR de 25%, orientação das aberturas sul.

Análise para duas situações:

- sem otimização do projeto;
- com otimização até a terceira avaliação (baixa absorvidade para paredes externas e cobertura) e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

1.2 Sala térrea em meio de planta, razão WWR de 50%, orientação das aberturas sul.

Análise para uma situação:

- com otimização até a terceira avaliação (baixa absorvidade para paredes externas e cobertura) e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

2. Modelo C:

2.1 Sala no segundo pavimento em meio de planta, razão WWR de 25%, orientação das aberturas noroeste.

Análise para duas situações:

- sem otimização do projeto;
- com otimização até a terceira avaliação (baixa absorvidade para paredes externas e cobertura) e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

2.2 Sala no segundo pavimento em meio de planta, razão WWR de 50%, orientação das aberturas noroeste.

Análise para uma situação:

- com otimização até a terceira avaliação e uma alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada)

4.8.1 RESULTADO DO COMPARATIVO DE TEMPERATURAS INTERNAS DO AR - MODELOS A e C.

O processo de tratamento da envolvente da edificação, possibilita a redução do consumo teórico de energia de resfriamento, a partir da redução das temperaturas internas do ar e da carga térmica a ser condicionada artificialmente.

Assim, foi feito o comparativo de temperaturas internas do ar (temperatura média da sala de aula) para modelos em diferentes situações, salas de aula térreas em meio de planta e sala de aula em canto de planta, com razão WWR de 25% e 50 %.

Os dados de temperaturas do ar são apresentados a seguir, através de quadros e gráficos, para os dias 06 de março, 17 de maio, 02 de agosto e 27 de setembro.

Dia analisado para a situação de verão: dia 06 de março.

Quadro 4.23: Temperaturas do ar - modelos A e C em diferentes situações, para verão 06 de março.

TEMPERATURAS DO AR (°C)							
Horas	TBS ext	A	B	C	D	E	F
8	23,3	25,0	23,8	23,9	25,6	23,4	23,5
9	22,8	25,6	24,3	24,4	26,2	24,1	24,2
10	23,3	25,8	24,2	24,5	26,3	24,1	24,3
11	27,8	27,3	25,8	26,1	28,3	25,8	26,1
12	28,3	29,0	27,8	28,1	30,7	28,1	28,4
13	28,9	29,7	28,6	29,0	32,0	29,1	29,5
14	29,4	30,3	29,2	29,6	33,4	29,8	30,2
15	29,4	30,8	29,6	29,9	34,6	30,2	30,7
16	28,9	30,8	29,4	29,7	34,9	30,1	30,7
17	28,3	30,5	29,0	29,3	34,4	29,8	30,3

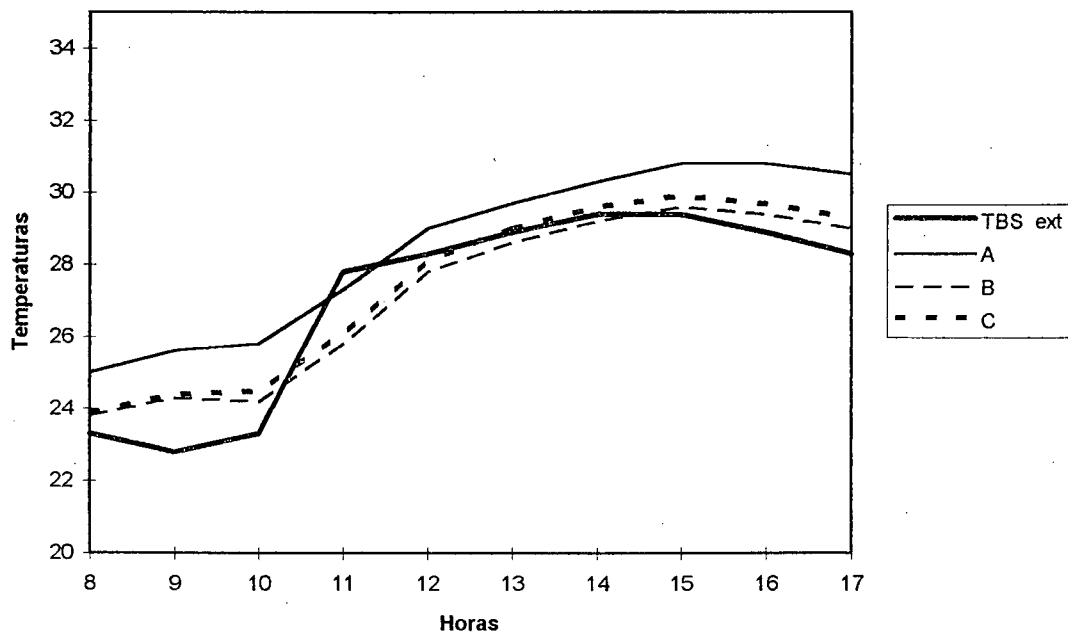


Gráfico 4.5: Comparativo de temperaturas do ar - modelo A em diferentes situações, para verão 06 de março.

Onde as temperaturas do ar A, B e C são:

A - Temperatura interna do ar, modelo A, razão WWR de 25 %, com orientação das aberturas sul, sem otimização

B - Temperatura interna do ar, modelo A, razão WWR de 25 %, com orientação das aberturas sul, otimizado até a terceira avaliação e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

C - Temperatura interna do ar, modelo A, razão WWR de 50 %, com orientação das aberturas sul, otimizado até a terceira avaliação e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

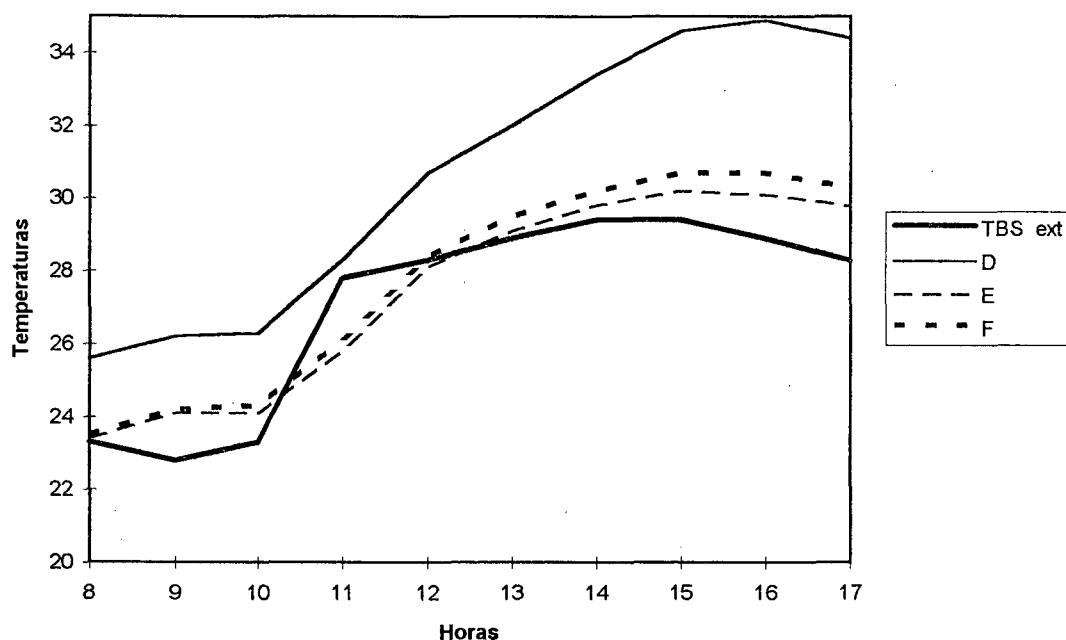


Gráfico 4.6: Comparativo de temperaturas do ar - modelo C em diferentes situações, para verão 06 de março.

Onde as temperaturas do ar D, E e F são:

D - Temperatura interna do ar, modelo C, razão WWR de 25 %, com orientação das aberturas noroeste, sem otimização, identificada como a situação de maior consumo teórico de resfriamento na análise geral.

E - Temperatura interna do ar, modelo C, razão WWR de 25 %, com orientação das aberturas noroeste, otimizado até a terceira avaliação e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

F - Temperatura interna do ar, modelo C, razão WWR de 50 %, com orientação das aberturas noroeste, otimizado até a terceira avaliação e alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Dia analisado para a situação de meia-estação (primeiro semestre), para dia 17 de maio.

Quadro 4.24: Temperaturas do ar - modelos A e C em diferentes situações, para meia-estação (primeiro semestre), 17 de maio.

TEMPERATURAS DO AR (°C)							
Horas	TBS ext	A	B	C	D	E	F
8	16.7	19,2	23,8	23,9	19,2	17,5	17,4
9	17.8	19,7	24,3	24,4	20,1	18,4	18,4
10	18.9	20,2	24,2	24,5	20,7	19,2	19,3
11	20.0	20,9	25,8	26,1	21,7	20,0	20,2
12	20.6	21,6	27,8	28,1	22,9	20,9	21,2
13	20.0	21,9	28,6	29,0	23,7	21,3	21,7
14	19.4	21,8	29,2	29,6	24,0	21,2	21,7
15	20.0	21,8	29,6	29,9	24,2	21,2	21,7
16	18.9	21,6	29,4	29,7	23,7	20,8	21,2
17	18.0	20,5	29,0	29,3	23,2	20,3	21,2

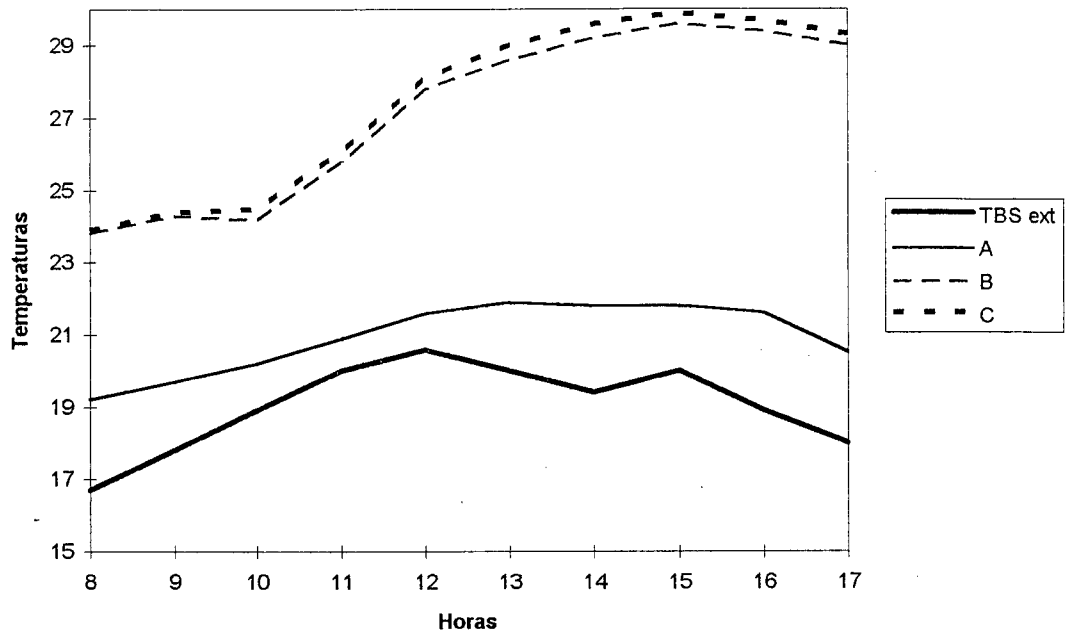


Gráfico 4.7: Comparativo de temperaturas do ar - modelo A em diferentes situações, para meia-estação (primeiro semestre), 17 de maio.

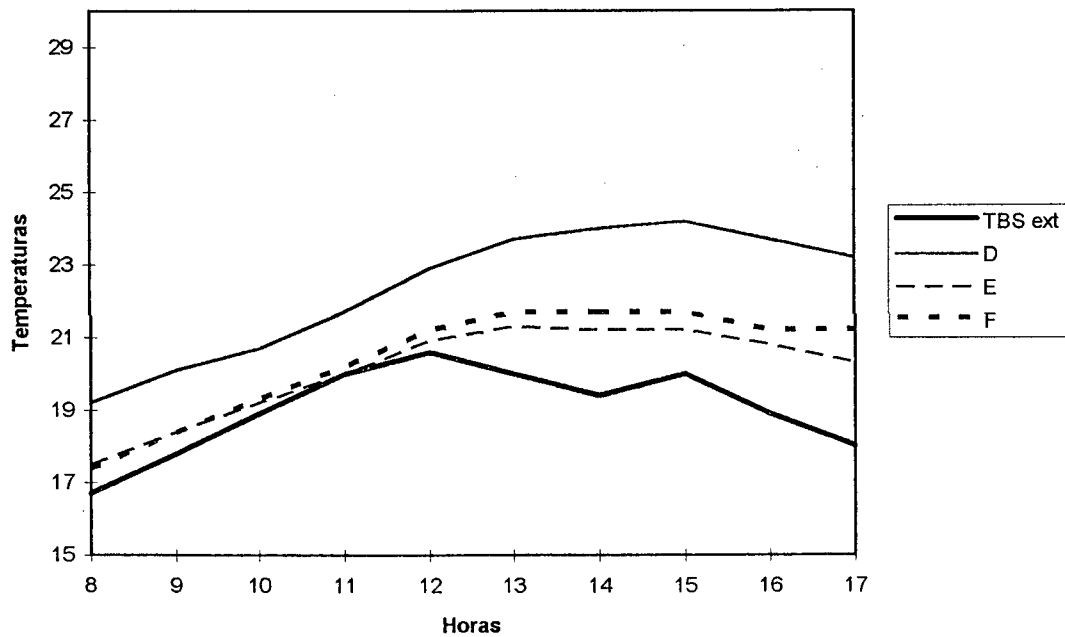


Gráfico 4.8: Comparativo de temperaturas do ar - modelo C em diferentes situações, para meia-estação (primeiro semestre), 17 de maio.

Dia analisado para a situação de inverno: dia 02 de agosto.

Quadro 4.25: Temperaturas do ar - modelos A e C em diferentes situações, para inverno, dia 02 de agosto.

TEMPERATURAS DO AR (°C)							
Horas	TBS ext	A	B	C	D	E	F
8	17,8	19,7	18,6	18,6	20,8	18,8	18,7
9	19,4	20,2	19,2	19,2	21,5	19,5	19,5
10	20,6	20,9	20,1	20,2	22,4	20,5	20,6
11	22,2	21,8	21,2	21,4	23,7	21,7	21,9
12	22,8	22,6	22,2	22,4	25,1	22,8	23,1
13	23,3	23,2	22,9	23,1	26,1	23,5	23,8
14	23,3	23,6	23,2	23,5	26,9	24,0	24,4
15	23,3	23,7	23,3	23,6	27,2	24,3	24,8
16	22,8	23,6	23,1	23,4	27,4	24,4	24,9
17	22,5	22,3	22,2	22,4	27,0	24,0	24,9

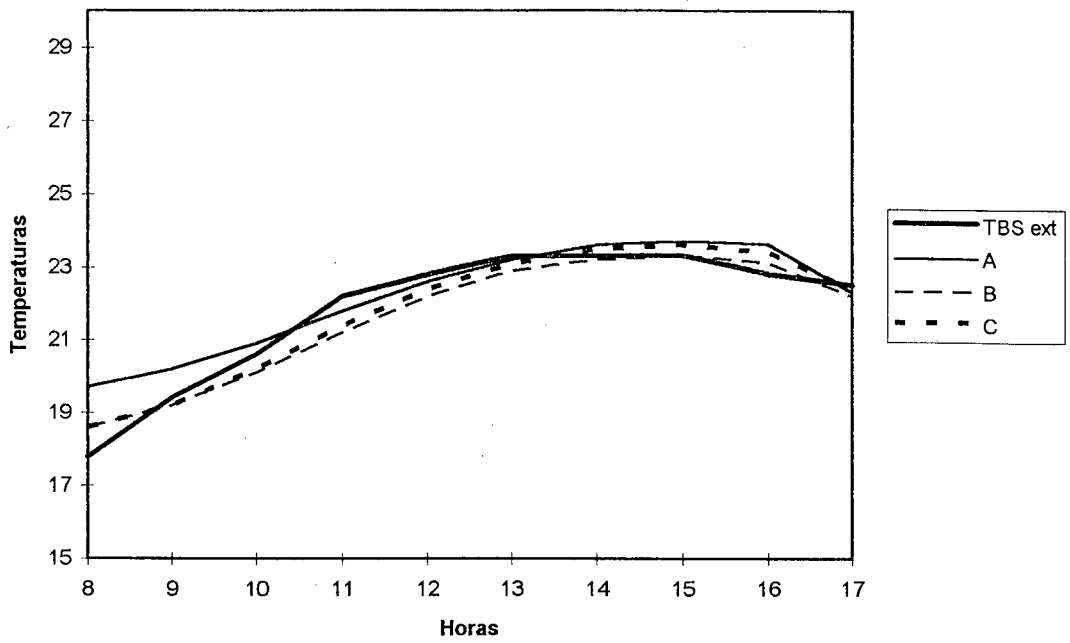


Gráfico 4.9: Comparativo de temperaturas do ar - modelo A em diferentes situações, para inverno, 02 de agosto.

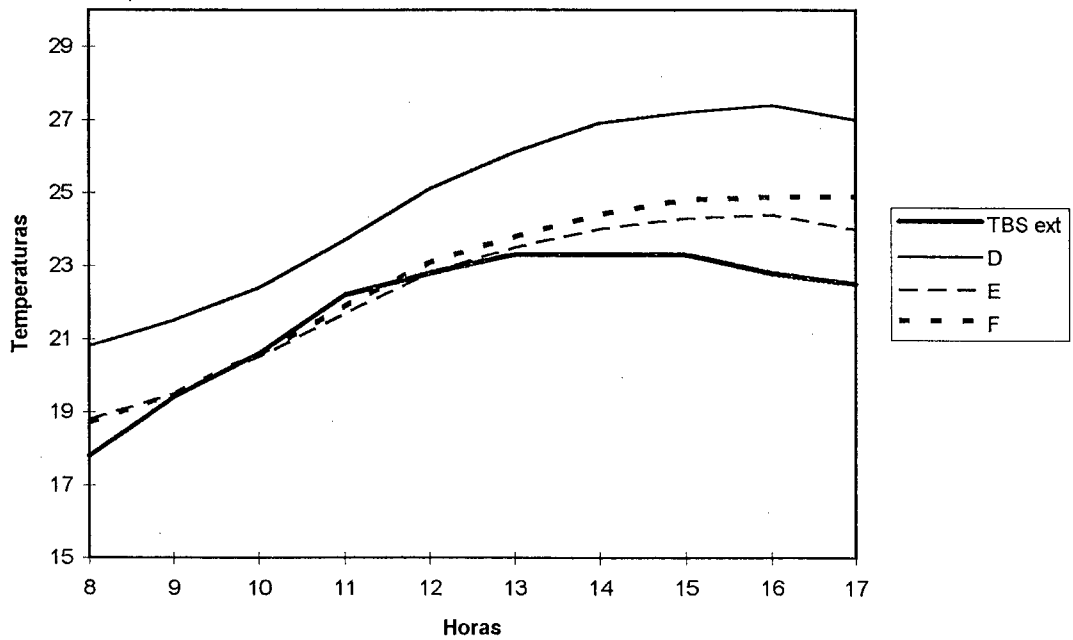


Gráfico 4.10: Comparativo de temperaturas do ar - modelo C em diferentes situações, para inverno, 02 de agosto.

Dia analisado para a situação de meia-estação: dia 27 de setembro.

Quadro 4.26: Temperaturas do ar - modelos A e C em diferentes situações, para meia-estação, dia 27 de setembro.

TEMPERATURAS DO AR (°C)							
Horas	TBS ext	A	B	C	D	E	F
8	19,4	21,7	20,5	20,5	23,1	20,9	20,6
9	19,4	21,8	20,9	21,1	23,3	21,5	21,6
10	20,0	22,2	21,2	21,5	23,8	21,8	22,1
11	20,0	22,9	21,8	22,3	24,8	22,6	23,2
12	20,0	23,5	22,4	23,2	26,1	23,7	24,7
13	20,0	23,9	22,5	23,5	26,9	24,0	25,4
14	20,0	24,3	22,7	23,7	27,8	24,5	26,0
15	20,6	24,8	23,1	24,2	29,0	25,5	27,4
16	20,6	24,9	23,3	24,3	29,3	26,1	28,0
17	20,6	23,9	22,8	23,5	29,0	26,0	28,0

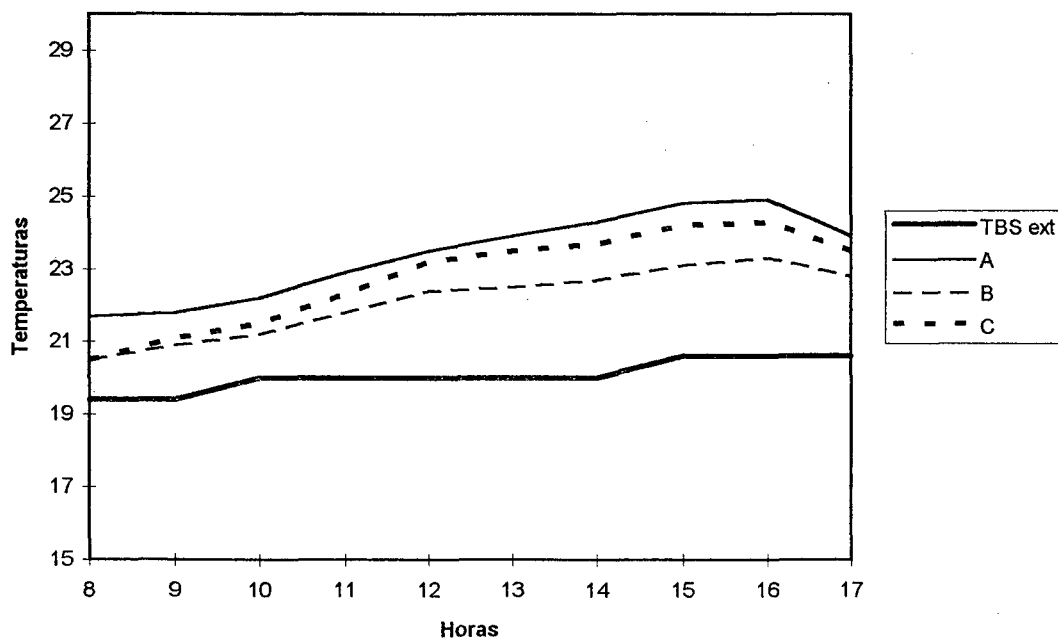


Gráfico 4.11: Comparativo de temperaturas do ar - modelo A - diferentes situações, para meia-estação, 27 de setembro.

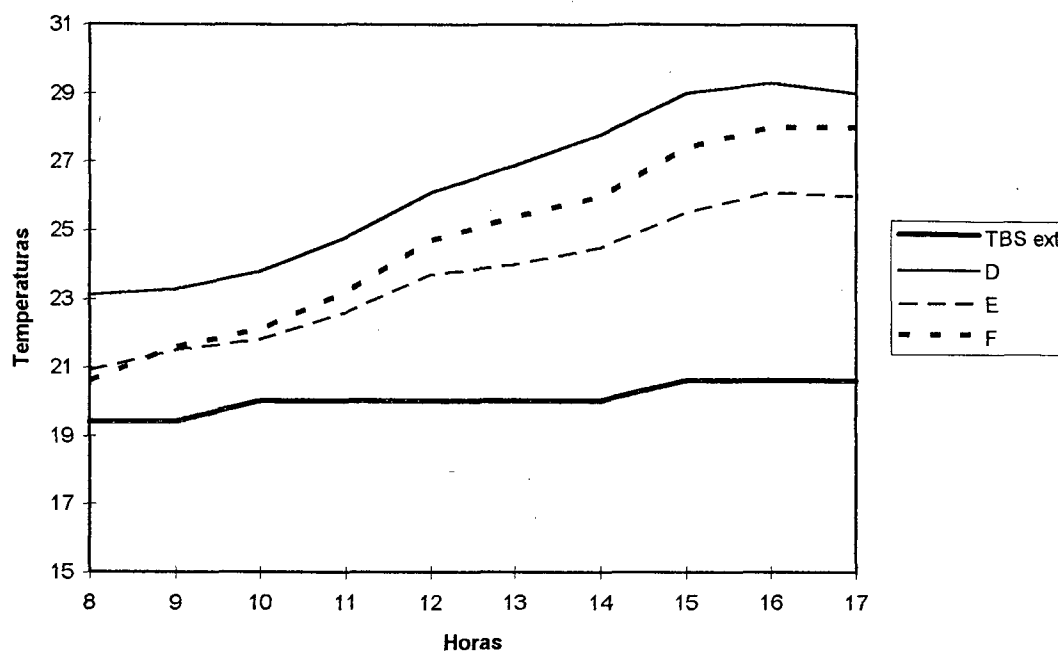


Gráfico 4.12: Comparativo de temperaturas do ar - modelo C - diferentes situações, para meia-estação, 27 de setembro.

Análise dos Resultados:

Como visto na análise anterior de consumo teórico de energia, as condições climáticas de Florianópolis ocasionam uma maior parcela de condicionamento artificial para resfriamento, logo as necessidades de redução das temperaturas internas do ar são as predominantes.

Assim, a análise de temperaturas internas do ar foi feita para o dia 06 de março, dia analisado para a situação de verão.

Logo, com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1. Houve uma redução nas temperaturas internas do ar a partir do processo de otimização do desempenho térmico da envolvente das salas de aula.

2. Nas situações de sala de aula com menor e maior valor de CTR (modelos protótipos A e C), existem respectivamente menores e maiores temperaturas horárias internas do ar, para a maior parte das horas do dia analisado.

3. As reduções de temperatura horária interna do ar para cada modelo protótipo sala de aula, frente a otimização efetuada, ficou na faixa de 1,2 a 1,6 ° C para o modelo A; e de 2,1 a 4,8 ° C para o modelo C.

4. As temperaturas internas do ar, são maiores do que as temperaturas externas do ar para uma série de horários, dependendo da situação analisada.

A análise de variação das temperaturas internas do ar dos dias 17 de maio, 02 de agosto e 27 de setembro, pode ser efetuada a partir dos seus respectivos gráficos, conforme a situação desejada.

4.8.2 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PMV e PPD:

Verificação dos níveis de conforto térmico pelo método de FANGER [1972], índices PMV e PPD para:

Modelo A: sala térrea em meio de planta, orientação das aberturas sul, como segue:

- Para razão WWR de 25%, duas situações:

(1) - modelo sem otimização- primeira avaliação

(2) - modelo otimizado até a terceira avaliação + alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

- Para razão WWR de 50%, uma situação:

(3) - modelo otimizado até a terceira avaliação + alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Modelo C: sala no segundo pavimento em meio de planta, orientação das aberturas noroeste, como segue:

- Para razão WWR de 25%, duas situações:

(4) - modelo sem otimização- primeira avaliação

(5) - modelo otimizado até a terceira avaliação + alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

- Para razão WWR de 50%, uma situação:

(6) - modelo otimizado até a terceira avaliação + alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Resultados de PMV e PPD para o modelo A e C, com razão WWR de 25% e 50%, para as situações anteriormente mencionadas:

Dia analisado de Verão, dia 06 de março.

Quadro 4.27: Índices PMV/PPD - modelos A e C - razão WWR de 25% e 50% - situações (1), (2), (3), (4), (5) e (6) - verão 06 de março:

Hora	PMV (1)	PPD (1)	PMV (2)	PPD (2)	PMV (3)	PPD (3)	PMV (4)	PPD (4)	PMV (5)	PPD (5)	PMV (6)	PPD (6)
8	0,0	5,0	-0,4	10,1	-0,3	7,6	0,3	7,5	-0,5	12,2	-0,5	10,4
9	0,4	9,8	-0,3	6,9	0,0	5,1	0,6	12,7	-0,3	6,9	-0,1	5,6
10	0,4	9,5	-0,3	7,0	0,0	5,0	0,7	15,9	-0,2	6,4	0,0	5,0
11	1,1	31,5	0,2	7,7	0,7	18,0	1,5	55,4	0,4	9,2	0,8	19,1
12	1,7	66,1	1,0	27,1	1,5	51,5	3,0	100,0	1,3	41,1	1,6	61,3
13	2,1	83,6	1,3	43,2	1,9	74,0	3,0	100,0	1,8	67,6	2,3	89,0
14	3,0	100,0	1,6	57,8	2,2	85,2	3,0	100,0	2,1	83,2	3,0	100,0
15	3,0	100,0	1,8	67,6	2,3	88,9	3,0	100,0	2,34	96,9	3,0	100,0
16	3,0	100,0	1,7	64,7	2,1	83,0	3,0	100,0	2,32	95,9	3,0	100,0
17	3,0	100,0	1,6	57,7	1,9	74,0	3,0	100,0	2,2	87,2	3,0	100,0

Variáveis consideradas para cálculo do PMV e PPD para dia analisado para a situação de verão:

Definidas de acordo com o especificado na seção 3.4.3.1 do capítulo três, sendo definidas as seis variáveis utilizadas (variáveis ambientais e variáveis pessoais).

Logo, foram especificados assim:

- Temperatura do ar (TAR) = temperatura média da zona, calculada pelo DOE-2.1 E, na situação do condicionamento artificial não funcionando.

- Velocidade do ar (Var) = 0,14 m/s (situação mais favorável, conforme já mencionado).

- Umidade relativa (UR) = umidade relativa média mensal: 82,4% para o mês de março.

- Vestimenta = 0,3 clo, usual para o período de verão.

- Atividade metabólica = 75 W/m².

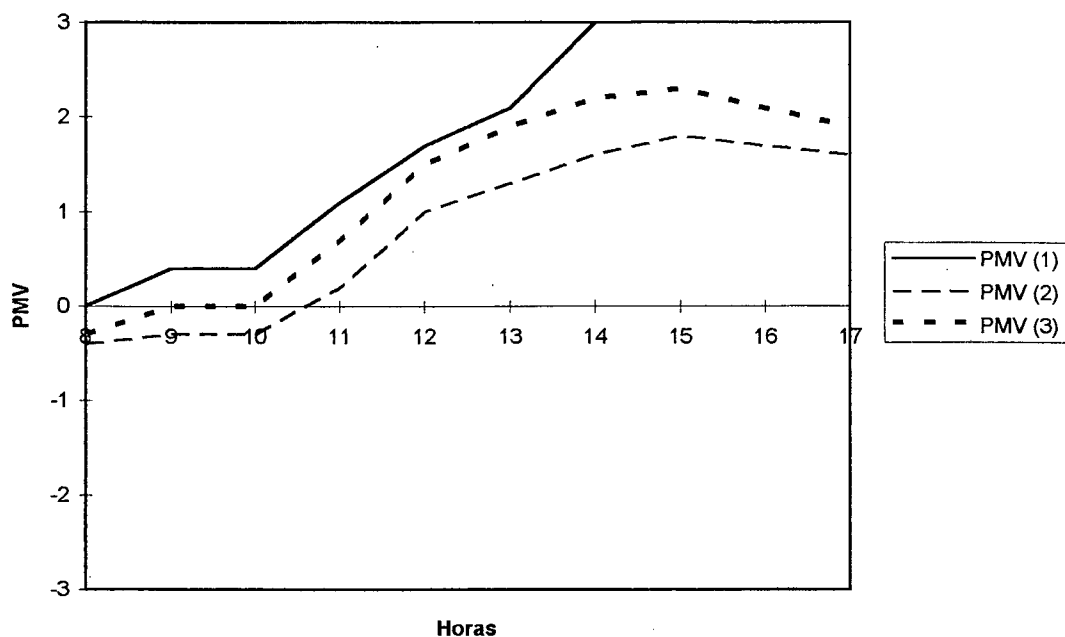


Gráfico 4.13: Comparativo de valores de PMV, modelo A - situações (1), (2) e (3) - verão 06 de março.

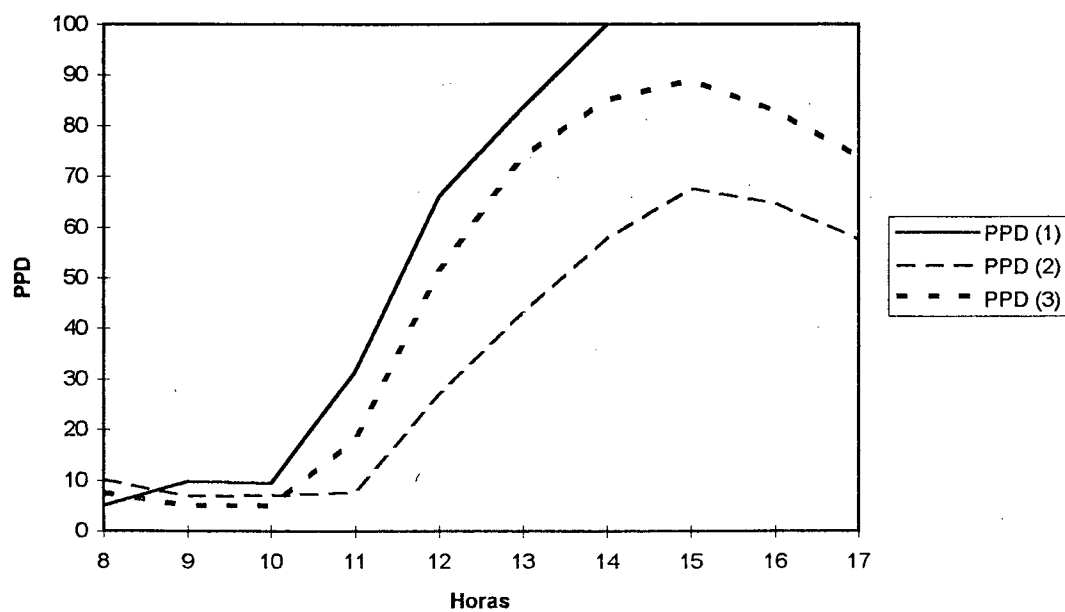


Gráfico 4.14: Comparativo de valores de PPD - modelo A - situações (1), (2) e (3) - verão 06 de março.

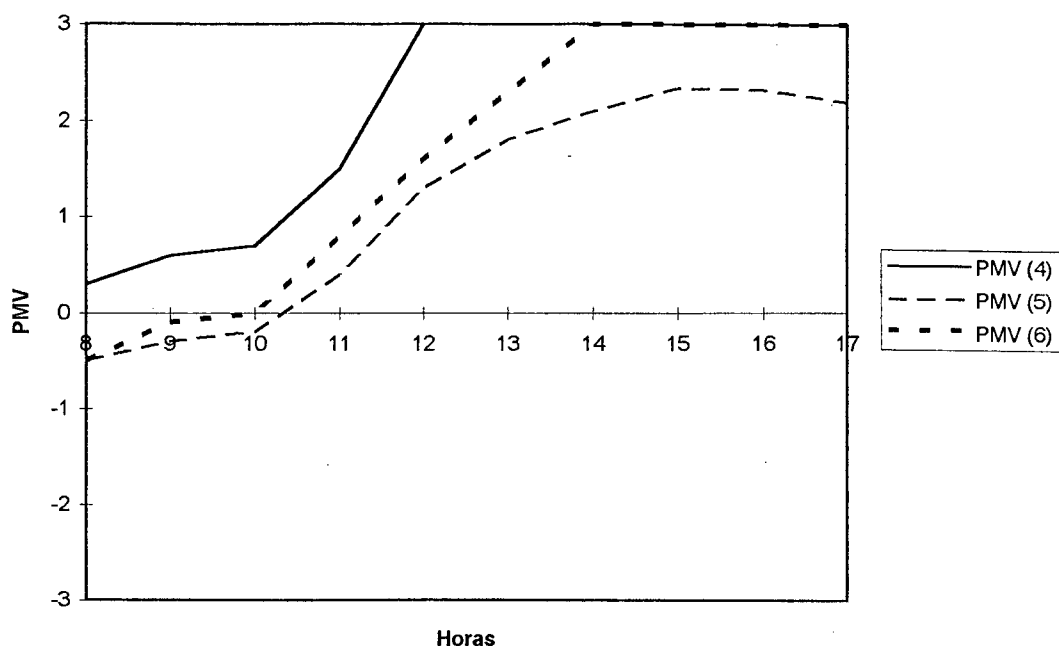


Gráfico 4.15: Comparativo de valores de PMV - modelo C - situações (4), (5) e (6) - verão 06 de março.

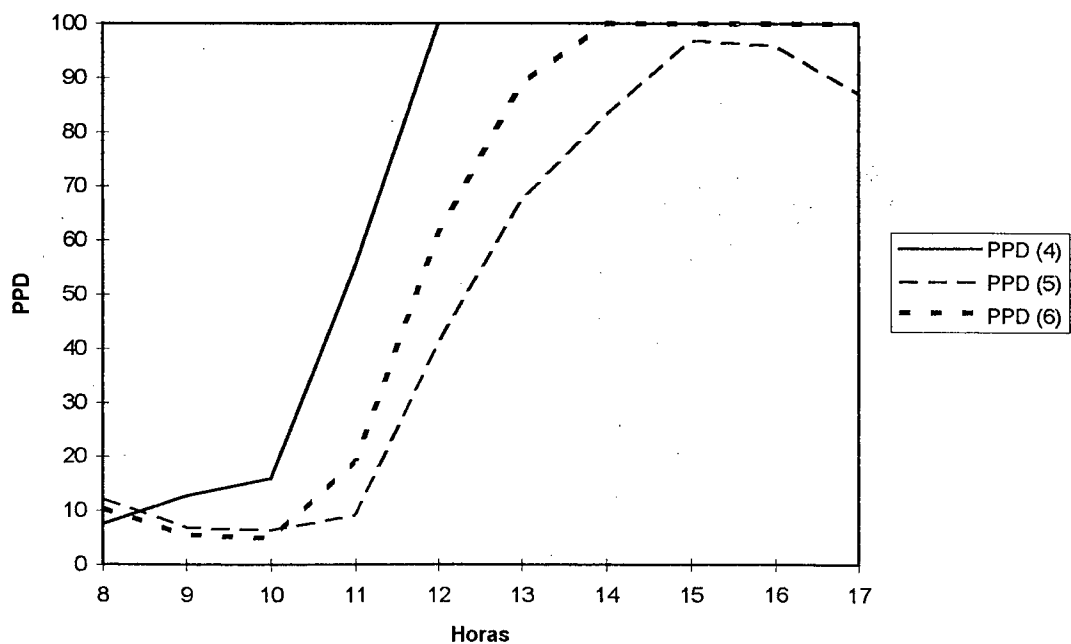


Gráfico 4.16: Comparativo de valores de PPD - modelo C - situações (4), (5) e (6) - verão 06 de março.

Dia analisado de Meia-estação (Primeiro semestre): Dia 17 de maio:

Quadro 4.28: Índices PMV/PPD - modelos A e C - razão WWR de 25% e 50% - situações (1), (2), (3), (4), (5) e (6) - meia-estação 17 de maio:

Hora	PMV (1)	PPD (1)	PMV (2)	PPD (2)	PMV (3)	PPD (3)	PMV (4)	PPD (4)	PMV (5)	PPD (5)	PMV (6)	PPD (6)
8	-1,5	55,8	-1,9	74,8	-1,9	76,2	-1,5	51,7	-2,0	81,1	-1,3	45,5
9	-1,4	45,6	-1,7	64,2	-1,6	61,3	-1,2	36,2	-1,8	67,6	-1,0	29,3
10	-1,2	36,4	-1,5	54,3	-1,5	56,2	-0,9	26,0	-1,5	53,2	-0,8	19,7
11	-0,9	24,5	-1,3	42,5	-1,1	33,0	-0,6	13,7	-1,2	38,7	-0,3	8,0
12	-0,7	15,9	-1,1	31,1	-0,8	21,9	-0,1	5,7	-0,9	23,6	0,2	5,9
13	-0,5	12,5	-1,0	28,0	-0,7	17,9	0,1	5,4	-0,7	18,0	0,5	10,6
14	-0,5	12,3	-1,0	30,0	-0,8	20,3	0,3	6,9	-0,7	16,8	0,6	14,6
15	-0,5	12,1	-1,1	30,8	-0,8	21,9	0,3	8,1	-0,7	15,7	0,7	17,8
16	-0,6	13,0	-1,1	34,9	-1,0	29,1	0,0	5,1	-0,9	25,3	0,4	8,5
17	-0,8	21,9	-1,3	43,1	-1,2	38,1	-0,0	5,0	-1,1	31,7	0,3	8,0

Alteração de parâmetros considerados para cálculo do PMV e PPD para meia-estação:

- UR = 83,2%, umidade relativa média mensa para o mês de maio.
- Vestimenta = 0,5 clo, usual para o período de meia-estação.

Dia analisado de Inverno: Dia 02 de agosto :

Quadro 4.29: Índices PMV/PPD - modelos A e C - razão WWR de 25% e 50% - situações (1), (2), (3), (4), (5) e (6) - inverno 02 de agosto:

Hora	PMV (1)	PPD (1)	PMV (2)	PPD (2)	PMV (3)	PPD (3)	PMV (4)	PPD (4)	PMV (5)	PPD (5)	PMV (6)	PPD (6)
8	-0,1	5,5	-0,4	8,9	-0,4	9,0	0,1	5,3	-0,3	8,1	-0,0	5,0
9	0,0	5,0	-0,2	6,8	-0,2	6,2	0,3	7,1	-0,2	5,8	0,2	6,1
10	0,1	5,4	0,0	5,1	0,0	5,0	0,5	11,3	0,0	5,0	0,4	9,1
11	0,3	8,0	0,1	5,5	0,3	7,1	0,8	21,8	0,3	7,3	0,8	20,3
12	0,5	12,4	0,3	8,1	0,5	11,7	1,3	40,5	0,6	13,1	1,2	40,1
13	0,7	17,4	0,5	11,7	0,7	16,9	1,5	55,7	0,8	19,2	1,5	54,7
14	0,8	21,3	0,6	13,6	0,8	19,8	1,7	66,5	0,9	24,7	1,7	64,7
15	0,9	22,4	0,6	14,5	0,8	20,3	1,7	66,6	0,9	25,3	1,7	64,1
16	0,8	21,6	0,6	13,4	0,7	18,1	2,0	76,8	1,1	32,3	2,0	77,1
17	0,6	14,6	0,4	9,6	0,6	12,8	1,8	67,2	1,0	27,8	1,5	56,2

Alteração de parâmetros considerados para cálculo do PMV e PPD para meia-estação:

- UR = 83%, umidade relativa média mensa para o mês de agosto.
- Vestimenta = 1,0 clo, usual para o período de inverno.
- Var = 0 m/s, já que no inverno o efeito na ventilação natural cruzada não é desejado e utilizado.

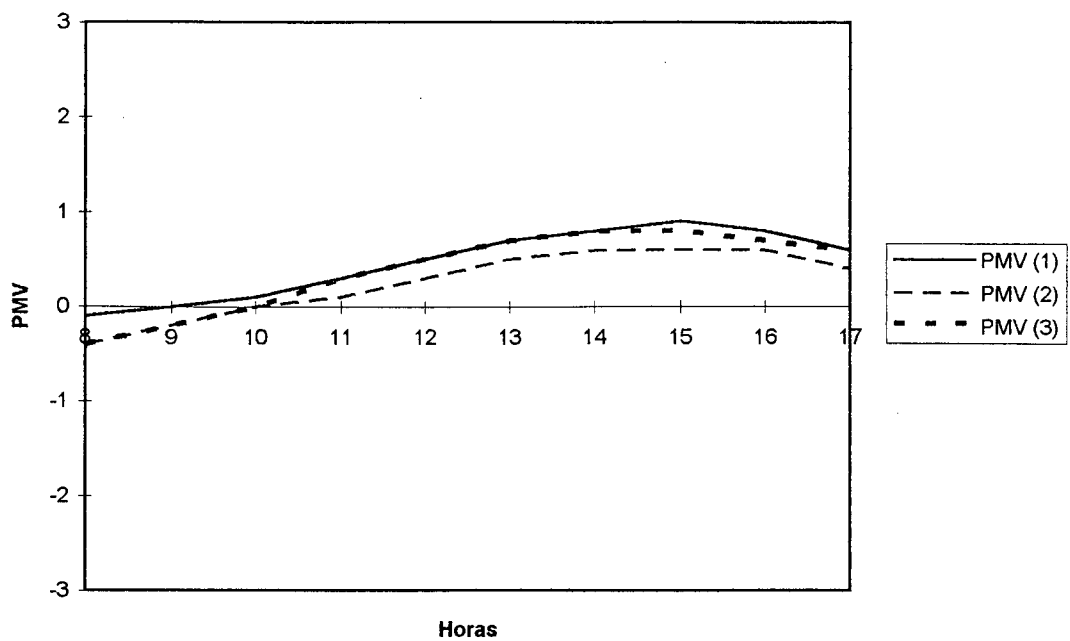


Gráfico 4.17: Comparativo de valores de PMV - modelo A - situações (1), (2) e (3) - inverno 02 de agosto.

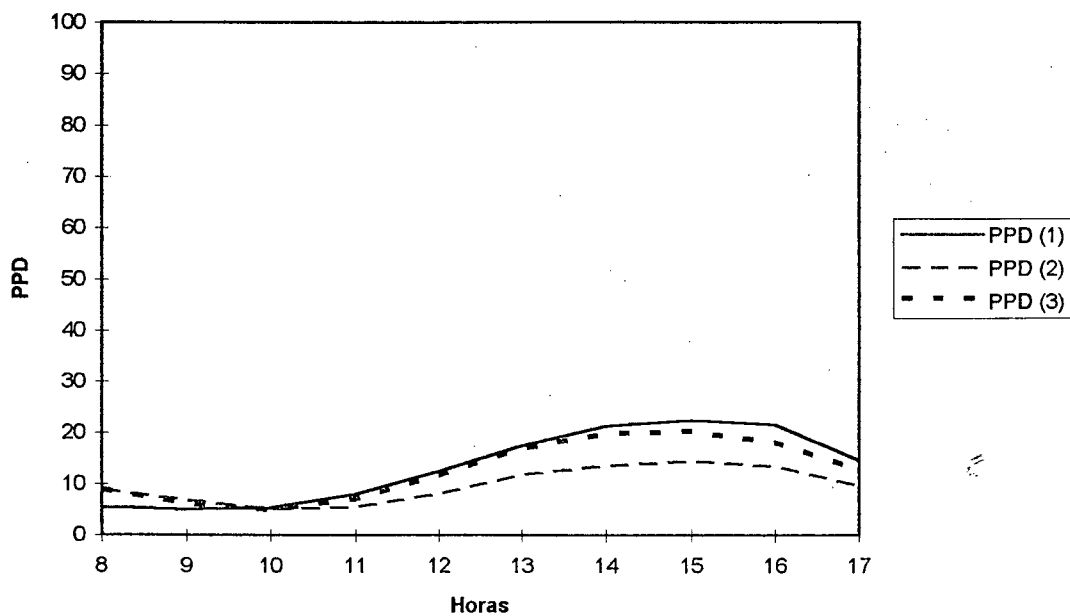


Gráfico 4.18: Comparativo de valores de PPD - modelo A - situações (1), (2) e (3) - inverno 02 de agosto.

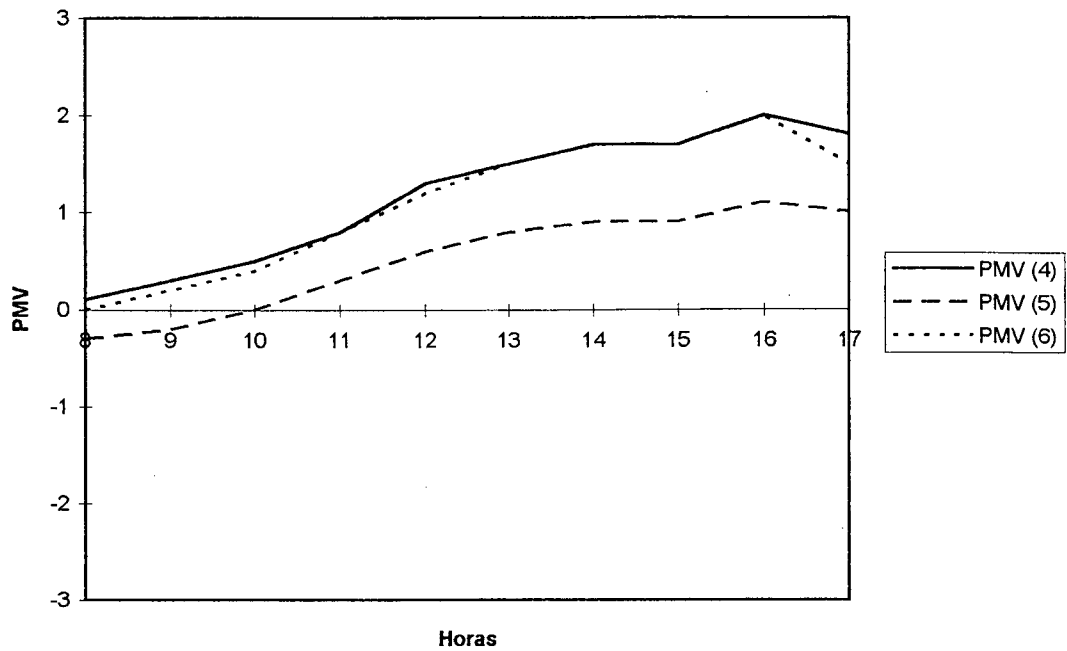


Gráfico 4.19: Comparativo de valores de PMV - modelo C - situações (4), (5) e (6) - inverno 02 de agosto.

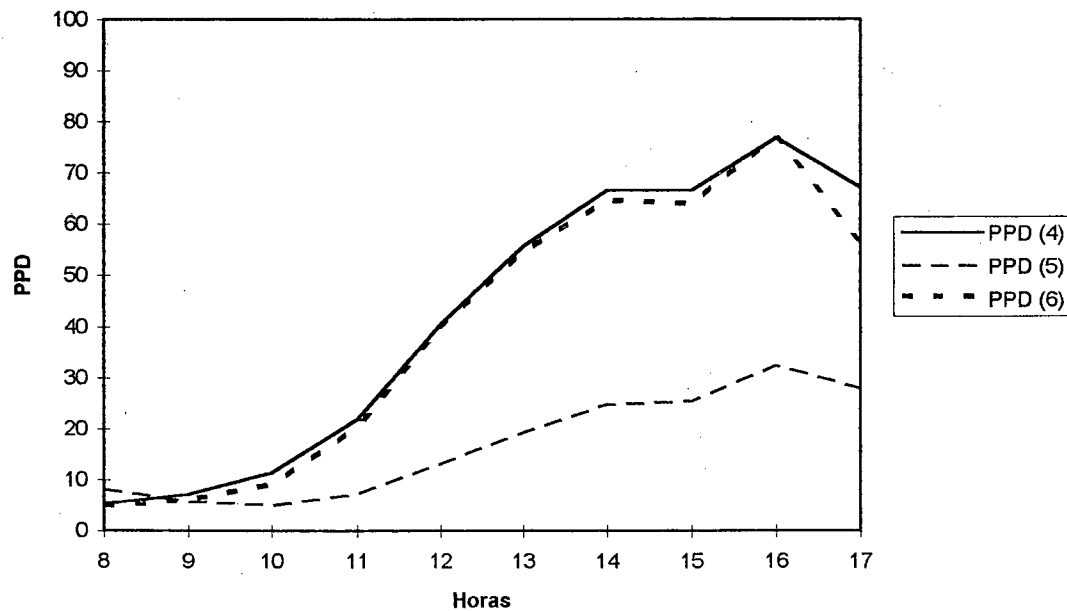


Gráfico 4.20: Comparativo de valores de PPD - modelo C - situações (4), (5) e (6) - inverno 02 de agosto.

Dia analisado de Meia-estação (Segundo semestre): Dia 27 de setembro:

Quadro 4.30: Índices PMV/PPD - modelos A e C - razão WWR de 25% e 50% - situações (1), (2), (3), (4), (5) e (6) - meia-estação 27 de setembro:

Hora	PMV (1)	PPD (1)	PMV (2)	PPD (2)	PMV (3)	PPD (3)	PMV (4)	PPD (4)	PMV (5)	PPD (5)	PMV (6)	PPD (6)
8	-0,6	13,2	-1,0	30,0	-1,0	27,2	-0,1	5,4	-0,9	23,7	-0,6	13,6
9	-0,5	11,6	-0,9	24,6	-0,7	17,5	0,0	5,0	-0,7	16,2	-0,3	6,9
10	-0,3	7,9	-0,8	20,3	-0,5	12,0	0,1	5,5	-0,6	12,7	-0,1	5,3
11	0,0	5,0	-0,6	13,6	-0,1	5,8	0,6	13,0	-0,2	6,4	0,4	9,9
12	0,1	5,8	-0,4	8,8	0,1	5,3	1,1	31,5	0,1	5,3	1,1	33,1
13	0,3	8,2	-0,3	7,9	0,2	6,1	1,5	50,9	0,2	6,7	1,5	52,0
14	0,5	12,0	-0,2	6,7	0,3	6,9	1,8	71,5	0,4	10,0	1,8	67,3
15	0,7	17,9	-0,1	5,4	0,4	8,9	2,3	89,4	0,8	18,7	2,1	82,1
16	0,7	18,1	0,0	5,2	0,3	7,3	2,3	88,3	0,8	20,6	1,9	73,3
17	0,5	11,2	-0,2	6,5	0,1	5,3	2,1	84,1	0,7	18,0	1,5	55,0

Alteração de parâmetros considerados para cálculo do PMV e PPD para meia-estação:

- UR = 84,9%, umidade relativa média mensa para o mês de setembro.

- Vestimenta = 0,5 clo, usual para o período de meia-estação.

Análise dos Resultados:

Como já justificado na análise dos resultados de temperatura interna do ar, a análise dos índices de conforto térmico PMV e PPD, também foi feita para o dia 06 de março, dia analisado para a situação de verão.

Logo, com base nestes resultados coletados, verificou-se que:

1. Com a redução dos valores de temperatura horária interna do ar, houve uma melhoria nos valores de PMV e PPD, com o processo de otimização de desempenho térmico da envolvente das salas de aula.

2. Comparando os modelos protótipos salas de aula (modelos A e C), identificou-se que para o modelo com menor consumo de energia para resfriamento (modelo A), a redução das temperaturas horárias internas do ar possibilitou melhores índices de conforto térmico PMV e PPD, comparativamente ao modelo C.

3. Para o dia analisado de verão, os valores de PMV e PPD situam-se em grande parte fora dos limites aceitos como admissíveis, segundo os critérios admitidos neste trabalho (PMV = 1,1 e PPD = 34,4 %), limites estes justificados adiante na seção 4.8.3 deste capítulo.

4) Para uma análise adequada do ponto de vista de condições de conforto térmico, é necessário o cálculo de PMV e PPD horários para todo o ano letivo, possibilitando então quantificar as diferentes situações em termos de sensação térmica dos ocupantes, para os diferentes modelos protótipos analisados.

4.8.3 RESULTADOS DA CORRELAÇÃO ENTRE CONSUMO TEÓRICO DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO FRENTE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO.

Verificação de que a melhoria do desempenho térmico (com redução dos valores de consumo teórico de resfriamento) frente as variáveis otimizadoras da edificação, também corresponde uma melhoria dos índices de conforto térmico PMV/PPD, para as condições de dias de verão.

A verificação desta correlação foi feita através de diagramas de dispersão, em que os valores das respectivas variáveis (CTR e PMV; CTR e PPD), são representados por pontos num sistema cartesiano, para diferentes dias de verão, sendo estes dias definidos estatisticamente por sorteio, conforme já justificado.

Esta análise de correlação através dos diagramas de dispersão, foi efetuada para três situações de consumo teórico de energia de resfriamento, para o modelo a seguir:

- **Modelo A:** identificado como aquele com menor valor de CTR, com orientação das aberturas para sul.

Para razão WWR de 25%, duas situações:

(1) modelo sem otimização- primeira avaliação

(2) modelo otimizado até a terceira avaliação + alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Para razão WWR de 50%, uma situação:

(3) modelo otimizado até a terceira avaliação + alta taxa de renovação de ar (ventilação natural cruzada).

Para este modelo A, foi verificado se a redução do consumo de energia de resfriamento (que se reflete na redução das temperaturas internas do ar), resulta em melhores valores dos índices de conforto térmico PMV/PPD, pelo tratamento da envolvente da edificação com as variáveis otimizadoras, para os dias a seguir apresentados:

- Dias : 05 de dezembro;

01 de março;

06 de março (este último já definido anteriormente na verificação de PMV e PPD para as quatro estações do ano).

Observação 1:

Os resultados de consumo teórico de energia para o dia 05 de dezembro, apresentaram valores de CTR muito baixos, durante apenas três horas na análise considerada (três avaliações). Assim, este dia foi desconsiderado nesta análise de correlação, pois não fornece dados de CTR horários para correlacionar com PMV e PPD.

Observação 2:

No cálculo dos índices PMV e PPD, como parâmetro para avaliação das condições de conforto térmico interior dos ambientes, são aceitos como admissíveis valores de PMV de -0,5 a +0,5, e de PPD de 20% de acordo com ISO 7730 [1984].

No entanto, neste trabalho de análise do desempenho térmico, conforme os gráficos abaixo apresentados, não necessariamente o PMV é igual a zero quando o CTR também é zero, pois foram especificados *set-points* para funcionamento do sistema de condicionamento de ar de 28,5°C (resfriamento) e 18,5°C (aquecimento), com base na zona de conforto de Givoni segundo BARBOSA et al [1994] para Florianópolis, conforme já justificado na seção 4.2.2 do capítulo quatro.

Deste forma, o resfriamento somente começa a funcionar a partir de 28,5 °C, que no cálculo de PMV se manifesta em valores acima dos +0,5 citados.

Assim, para estes valores da zona de conforto mencionada (28,5°C e 18,5°C), temos os seguintes valores de PMV e PPD:

- Para verão - 28,5 °C: PMV = 1,1 e PPD = 34,4%

- Para inverno - 18,5°C: PMV = -0,4 e PPD = 8,5%

Logo, estes valores de PMV e PPD são considerados como valores aceitáveis (diferente do critério mencionado na ISO 7730 [1984], pois são valores que situam-se na zona de conforto mencionada para Florianópolis.

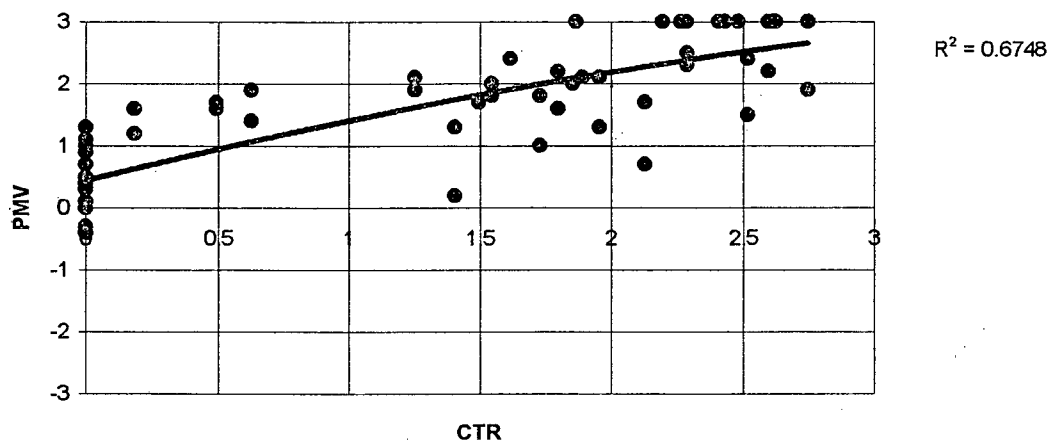


Gráfico 4.21: Correlação entre o consumo teórico de energia de resfriamento (CTR) e o PMV, nas situações (1), (2) e (3) do modelo A, dias 01 e 06 de março.

Onde cada ponto representa um horário específico com seus respectivos valores de CTR e PMV.

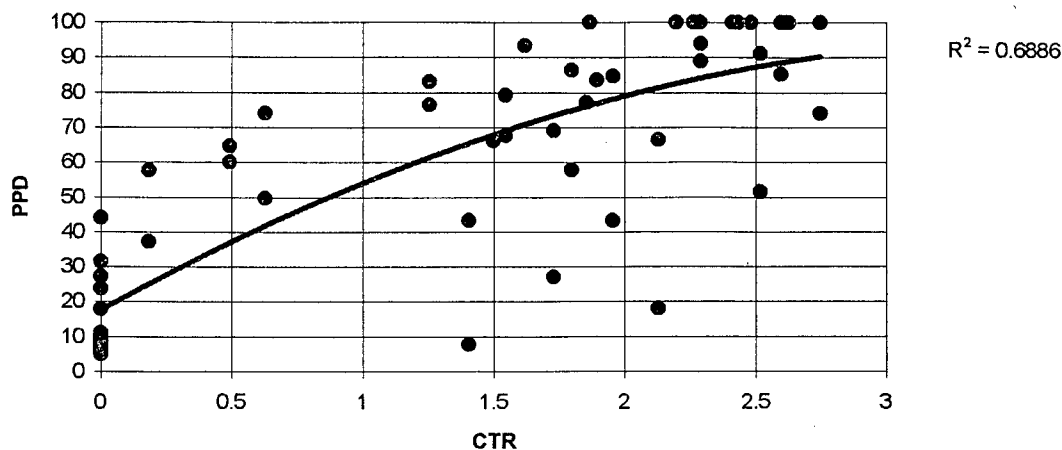


Gráfico 4.22: Correlação entre o consumo teórico de energia de resfriamento (CTR) e o PPD, nas situações (1), (2) e (3) do modelo A, dias 01 e 06 de março.

Onde cada ponto representa um horário específico com seus respectivos valores de CTR e PPD.

Análise dos Resultados:

Com base nos resultados coletados, verificou-se que:

1. Para os dias analisados da situação de verão (dias 01 e 06 de março), existe uma tendência de aumento dos valores de consumo teórico de resfriamento - CTR, aumento este que se correlaciona com o de PMV.

2. Da mesma forma, a tendência de aumento do consumo teórico de resfriamento - CTR, se correlaciona com o aumento do PPD.

4.9 RESULTADOS DE ECONOMIA REAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO:

O consumo de energia em iluminação e a percentagem de redução do uso de energia elétrica com a utilização da iluminação natural das salas de aula (considerando 300 lux de nível de iluminamento), para as melhores situações selecionadas de acordo com os critérios adotados (CTR e REIN), são adiante apresentados.

3. O efeito do entorno construído à edificação, obstruindo a luz natural que entra pelas aberturas, diminui a percentagem de redução do uso de energia elétrica com a utilização da iluminação natural; no entanto, esta diminuição não é grande, permitindo ainda níveis de economia de energia significativos, na faixa de 70,2 a 79,4 %.

4. A percentagem de redução do uso de energia elétrica com a utilização da iluminação natural para a situação de obstáculo à 20 m de distância das aberturas, é maior do que a situação sem nenhum obstáculo, fato este explicado pela refletividade do mesmo ($\rho=0,5$) em relação à luz natural incidente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES	136
5.1.1 COMPROVAÇÃO DAS HIPÓTESES	139
5.2 RECOMENDAÇÕES	140
5.2.1 RECOMENDAÇÕES QUANTO AO PROJETO DE SALAS DE AULA	140
5.2.2 RECOMENDAÇÕES QUANTO A TRABALHOS FUTUROS	140
5.3 LIMITAÇÕES	141

5.1 CONCLUSÕES:

A análise do desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares, foi realizada a partir da simulação de modelos protótipos salas de aula (definidos a partir do levantamento de dados e de campo), através do programa de simulação DOE-2.1 E.

A partir dos modelos protótipos salas de aula, foram analisadas as variáveis otimizadoras da envolvente da edificação (forma; orientação das aberturas e razão WWR; proteções solares nas aberturas; absorvidade à radiação solar de paredes externas e cobertura; isolamento térmico da cobertura; entorno construído). Inicialmente, a análise consistiu do estudo do consumo teórico de energia, com a definição dos melhores resultados (modelos A e B) dos modelos analisados.

Na análise seguinte, de conforto térmico, foi verificado o resultado dos melhores e piores valores de consumo teórico de resfriamento - CTR (modelos A e C respectivamente) em termos das temperaturas internas do ar e dos índices PMV e PPD.

A análise de correlação entre os níveis de conforto térmico e o consumo de energia frente o processo de otimização foi realizada para o modelo A, na qual identificou-se uma tendência de aumento de CTR horário correlacionado com aumento de PMV e PPD horários.

Subsequentemente foram identificadas as melhores situações de sala de aula quanto ao desempenho térmico e potencial de utilização da iluminação natural (modelos A e B), pelos critérios de consumo teórico de resfriamento - CTR e percentagem de redução do uso de energia elétrica com a utilização da iluminação natural - REIN.

Assim, foram itemizadas as seguintes conclusões a seguir descritas:

1. O consumo teórico de energia (consumo teórico de resfriamento - CTR), como parâmetro para avaliação de desempenho térmico, é bastante sensível às intervenções quanto à envolvente da edificação e uso de materiais construtivos e de acabamento (influenciadores da carga térmica interna a ser condicionada), sendo um parâmetro realçador do comportamento energético das diferentes intervenções na envolvente da edificação.

2. O consumo teórico de resfriamento - CTR, pode ser utilizado como parâmetro para comparação do desempenho térmico das edificações analisadas, quando são

comparadas salas de aula com mesmo valor de razão WWR; no entanto, quando os valores de razão WWR são diferentes, o CTR não pode ser utilizado como parâmetro de análise, em virtude do aumento da razão WWR ocasionar um enorme aumento no CTR, impedindo a identificação do efeito de outras variáveis da envolvente construída.

3. As significativas variações em termos do consumo teórico de resfriamento para cada situação analisada, manifestaram-se de forma reduzida nas temperaturas internas do ar; no entanto, por outro lado, estas pequenas diferenças de temperatura interna do ar influenciaram as condições de conforto térmico de maneira bastante distinta, através dos índices PMV e PPD..

4. A ventilação natural cruzada, mostrou-se como uma boa alternativa para redução das temperaturas internas do ar (devido a dissipação do calor interno dos ocupantes e resfriamento da superfície dos materiais); no entanto a mesma só apresenta resultados favoráveis em termos de resfriamento dos ambientes, quando a temperatura do ar exterior é menor que a temperatura do ar interior dos ambientes, situação esta que muitas vezes não ocorre em dias de verão; contudo, a ventilação natural proporciona ainda a evaporação de suor junto a pele dos ocupantes, proporcionando uma situação de refrescamento

5. Para ambientes com ocupação elevada (como as salas de aula), a ventilação natural é um dos mecanismos passivos de projeto que apresentam bons resultados em termos de redução das temperaturas internas do ar.

6. A utilização de isolante térmico nas coberturas analisadas, na análise de consumo teórico de resfriamento - CTR, se mostrou como uma opção não adequada (considerando o balanço anual de consumo de energia), em virtude da dificuldade de dissipação do calor admitido do exterior e do calor ganho internamente.

7. A principal premissa para melhorar o desempenho térmico da edificação e colaborar com as condições de conforto térmico é evitar os ganhos externos de calor, como também eliminar os ganhos internos de calor, situação esta em princípio contraditória no que se refere as propriedades térmicas de materiais e componentes da edificação. Neste sentido, segundo AROZTEGUI [1993], a resistência térmica da envolvente cumpre um papel ambíguo; por um lado é boa porque dificulta a entrada do calor solar, por outro lado dificulta a saída do calor que entrou.

8. Com o aumento da área de janelas de 25% para 50% de razão WWR, houve um reduzido aumento da utilização da iluminação natural, verificado por um pequeno aumento da percentagem de redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural.

9. O aproveitamento da iluminação natural para as salas de aula, possibilitou a redução no consumo real em iluminação em até doze vezes, comparativamente a situação de uma mesma sala sem o uso da iluminação natural.

10. As intervenções na envolvente da edificação, são de fundamental importância para as edificações condicionadas artificialmente, devido ao reflexo direto das mesmas no consumo de energia, principalmente para resfriamento; como também para as edificações não condicionadas, devido a redução das temperaturas internas do ar para o período de verão, com conseqüente melhora das condições de conforto térmico.

11. O programa DOE-2.1 E é bastante limitado para a avaliação térmica de ambientes não condicionados, uma vez que calcula a temperatura interna do ar em somente um ponto (temperatura média da zona), não fornecendo diretamente outros parâmetros ambientais (Var, TRM, UR).

12. Para uma melhor avaliação das condições em termos de PMV/PPD segundo o procedimento adotado, é necessário a análise dos mesmos em períodos maiores, possibilitando então uma melhor caracterização das condições internas do ambiente simulado.

13. A utilização de cores claras na envolvente das edificações, mostrou-se como uma boa estratégia para melhoria do desempenho térmico dos ambientes, no que se refere a redução do consumo de energia para resfriamento em edificações condicionadas artificialmente; e redução das temperaturas internas do ar, com melhoria das condições de conforto térmico em edificações não condicionadas, como é o caso das escolas.

14. Pelos resultados elevados das temperaturas internas do ar e índices de conforto térmico PMV e PPD para os modelos A e C na situação de verão (06 de março), identificou-se aparentemente que, para as situações de temperaturas muito altas, as estratégias passivas de condicionamento térmico quando implementadas isoladamente não são suficientes.

5.1.1 COMPROVAÇÃO DAS HIPÓTESES:

Com estas conclusões citadas, pôde-se fazer a comprovação ou não das hipóteses levantadas para este estudo (ver seção 1.4 do primeiro capítulo), sendo que:

- **A hipótese 1** - os projetos de edificações escolares não apresentam preocupações objetivas quanto ao desempenho térmico e uso da iluminação natural: foi comprovada, pela existência de salas de aula com características distintas quanto as variáveis formuladoras do projeto de arquitetura (forma; orientação das aberturas; razão WWR; proteções solares; material de cobertura), identificadas no levantamento de dados e de campo.

A hipótese 2 - as variáveis formuladoras do projeto de arquitetura interferem decisivamente no desempenho térmico das edificações e possibilitam o aproveitamento da iluminação natural: foi comprovada, pois as variações de consumo teórico de energia, temperaturas internas do ar e índices PMV e PPD são enormes, ao mesmo tempo que possibilitam um alto aproveitamento da luz natural.

A hipótese 3 - o programa DOE-2.1 E como um mecanismo válido para estudo do desempenho térmico e do aproveitamento da iluminação natural na área de conservação de energia: foi comprovada, pela referência do programa utilizado. No entanto, cabe a ressalva de que o programa foi utilizado para a análise de edificações não condicionadas artificialmente, segundo a metodologia adotada no presente estudo.

A hipótese 4 - o consumo de energia para condicionamento artificial aumenta proporcionalmente com o aumento das temperaturas internas do ar dos ambientes acima da zona de conforto térmico definida: foi comprovada parcialmente pela correlação entre CTR e PMV e CTR e PPD, que apresentou uma tendência de correlação positiva. Cabe ressaltar que esta análise de correlação foi efetuada para somente dois dias de verão.

As hipóteses 5 e 6 - consumo teórico de energia como parâmetro para comparação do projeto de salas de aula: foram parcialmente comprovadas, pois tal situação é válida para a comparação de salas de aula com mesmos valores de razão WWR; para razões WWR diferentes, a comparação a partir do consumo teórico de energia não é adequada, pois os excessivos ganhos de calor solar aumentam exageradamente o consumo de energia, impedindo a análise de outras variáveis formuladoras do projeto de arquitetura.

5.2 RECOMENDAÇÕES:

5.2.1 RECOMENDAÇÕES QUANTO AO PROJETO DE SALAS DE AULA:

No que se refere a análise efetuada, foram identificadas situações quanto a configuração física/espacial e uso de materiais construtivos e de acabamento que apresentaram melhores resultados, sendo as seguintes:

1. Salas térreas: devido ao contato com o solo, possibilitam a perda de parte do calor interno por condução através do piso, situação esta adequada para o período de calor.

2. Orientação das aberturas para sul e leste: estas duas situações apresentam significativas reduções quanto ao consumo teórico de energia (com redução do ganho de calor admitido), e apresentaram um potencial para a utilização da iluminação natural acima das demais orientações; estas duas orientações foram seguidas de perto pela orientação norte, com valores muito próximos aos das orientações sul e leste.

3. Uso de ventilação natural cruzada: mostrou ser uma das estratégias de projeto com bons resultados na redução das temperaturas internas do ar para o período de calor e para a dissipação do suor corporal dos ocupantes, ocasionando sensação de refrescamento.

4. Uso de proteção solar nas aberturas: em virtude de bloquear parte da radiação solar incidente, mostrou-se fundamental para a redução dos ganhos externos de calor, atuando de maneira a permitir maiores valores de razão WWR.

5. Cores claras na envolvente: em virtude do menor coeficiente de absorvidade à radiação solar, garante uma menor absorção de calor pela envolvente da edificação, diminuindo as transmissões de calor para o interior dos ambientes.

6. A utilização de grande resistência térmica para a cobertura (com uso de isolamento térmico), dificulta aparentemente a perda do calor interno das salas de aula nos períodos de verão; no entanto, excetuando estes períodos, é adequado o uso de isolamento térmico na cobertura.

5.2.2 RECOMENDAÇÕES QUANTO A TRABALHOS FUTUROS.

Destacam-se como principais recomendações as seguintes:

1. A análise do desempenho térmico de edificações não condicionadas artificialmente, com a incorporação de novas variáveis quanto a otimização do desempenho

térmico, como o uso de outros materiais construtivos e novos elementos e tipologias de projeto.

2. A análise global de um edifício escolar representativo da realidade local, no que se refere as suas salas de aula, para a comparação de resultados com a análise efetuada com base nos modelos protótipos salas de aula.

3. A análise de iluminação natural que considere situações de projeto mais complexas (bancadas de luz, iluminação zenital, iluminação indireta).

4. A análise da iluminação natural com vistas a obtenção de conforto visual e conservação de energia conjuntamente.

5.3 LIMITAÇÕES:

1. A análise quanto a iluminação natural, foi desenvolvida do ponto de vista energético (conservação de energia), não abordando aspectos relativos ao conforto visual.

2. A análise das salas de aula quanto o desempenho térmico e o uso da iluminação natural não tem a pretensão de esgotar a questão da avaliação dos ambientes salas de aula, que necessitam ser avaliados também sobre outros aspectos e com outros procedimentos e ferramentas.

3. A análise quanto a correlação entre os níveis de conforto térmico (índices PMV e PPD) e o consumo teórico de energia para resfriamento (CTR), foi feita para o período de dois dias de verão, 01 e 06 de março, não implicando desta maneira a generalização destes resultados para os demais dias do ano.

4. O arquivo climático utilizado nas análises, no formato TRY, caracteriza-se por ser referente a um ano real, escolhido dentre uma série de anos, com comportamento de temperaturas sem extremos, sendo desta forma um ano “comportado”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	146

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALUCCI, Márcia P., [1992]. **Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica. Procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de Projeto de Edificações** - Tese de Doutorado. FAU/ USP, São Paulo.
- AROSZTEGUI, J. M., [1993]. **Prevision del Desempeño Térmico del Edificio desde las Primeras Decisiones de Proyecto**. Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura. Universidad de la Republica O. del Uruguay, Montevideo.
- AZEVEDO, G. A. N. e BASTOS, L. E. G., [1995]. **As Escolas Públicas do Rio de Janeiro: Considerações sobre o Conforto Térmico das Edificações**.
- BARBOSA, Miriam J., BOGO, Amilcar, GOULART, Solange, PIETROBON, Cláudio E., PITTA, Telma. [1994]. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações visando o Conforto Térmico** - Trabalho de Disciplina do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC, Florianópolis.
- BOGO, Amilcar J., [1995]. **Exame de Qualificação de Mestrado: Reapresentação** - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFSC, Florianópolis.
- CARVALHO, Licínio C. de, [1983]. **Gestão de Energia nos Edifícios Escolares na Satisfação das Exigências de Conforto Visual** - LNEC. Lisboa.
- COOPER, I., [1984]. **Barriers to Exploitation of Daylighting in Building Design: U. K. Experience**. Energy and Buildings, 6 p 127-132.
- FANGER, P. O., [1972]. **Thermal Comfort- Analysis and Applications in Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company.
- FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R., [1988]. **Manual de Conforto Térmico**. Nobel, São Paulo.
- GATES, Steve and WILCOX, Joe, [1984]. **Daylighting Analysis for Classrooms Using DOE-2.1 E**. Energy and Buildings, 6 p 331-341.
- GIVONI, Baruch, [1976]. **Man, Climate and Architecture**. Applied Science Publishers Ltd, London.
- GOULART, Solange, V. G., [1993]. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico em Edificações em Florianópolis**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC, Florianópolis.
- IPT S.A., [1987]. **Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e Escolares: Manual de Procedimentos para Avaliação**. São Paulo.

- ISO 7730., [1984]. **Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort.** International Organization for Standardization.
- LAMBERTS, Roberto,[1990]. **Notas de Aula - Disciplina de Desempenho Térmico de Edificações - Algoritmo de Cálculo de Ventilação por Efeito do Vento - Curso de Engenharia Civil/UFSC, Florianópolis.**
- MASCARÓ, Lucía E. de R. e MASCARÓ, Juan L., [1985]. **Energia e Arquitetura: uma Relação que Requer a Reformulação do Ensino de Projeto Arquitetônico: Anais do I Encontro Nacional sobre Ensino de Projeto Arquitetônico.** UFRGS, Porto Alegre.
- MASCARÓ, Juan L. e MASCARÓ, Lucía.,[1992]. **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios.** Sagra/DC Luzzatto, Porto Alegre.
- NBR 5413 [1991]. **Iluminância de Interiores.** Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ORNSTEIN, Sheila Walbe e BORELLI NETO, José,[1995]. **O Desempenho dos Edifícios da Rede Estadual de Ensino - O Caso da Grande São Paulo.**CNPq - FAU/USP, São Paulo.
- PEREIRA, Fernando O. R.,[1994]. **Notas de Aula - Disciplina de Iluminação Natural no Ambiente Construído - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFSC, Florianópolis.**
- PEREIRA, Fernando O. R. e CUNHA NETO, José A. B., [1988]. **Princípios para Otimização do Desempenho Térmico de Componentes da Edificação: I Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil.** ANTAC/UFSC, Florianópolis.
- RIVERO, Roberto, [1986]. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural.** DC Luzzatto Editores, Porto Alegre.
- ROBBINS, Claude L.,[1986]. **Daylighting - Design and Analysis.**USA.
- ROMÉRO, Marcelo de A.,[1991]. **A Conservação de Energia e o Projeto de Arquitetura: uma Análise Geral.** In: Sinopses, São Paulo.
- SECRETARIA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO, [1995]. **Dados sobre a rede escolar de primeiro e segundo grau em Florianópolis - Diretoria de Planejamento,** Florianópolis.
- SOUZA, Marcos B. de, [1995]. **Impacto da Luz Natural no Consumo de Energia Elétrica de um Edifício de Escritórios em Florianópolis.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFSC, Florianópolis.

SZOKOLAY, S. V.,[1987]. Thermal Design of Buildings: Part 2: Thermal Behaviour of Buildings. Raia Education Division, Australia.

WATSON, D. e LABS, K. ,[1983]. Climatic Design - Energy-Efficient Buiding Principles and Practice- Chapter 1:Heat and People. McGraw-Hill. Inc., USA.

THAM, K. W.,[1993]. Conserving Energy without Sacrificing Thermal Confort. In: Buiding and Environment, vol. 28, no 3. Pergamon Press, Great Britain.

THE EUROPEAN COMMISSION, [1994] .Daylighting in Buildings. Dublin.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:

Consiste na bibliografia complementar, com o objetivo de obtenção de um embasamento conceitual sobre a temática estudada, sem necessariamente ser citada na dissertação.

- ANTAC/UFSC., [1988]. **Princípios para Otimização do Desempenho Térmico de Componentes da Edificação.** In: Anais do I Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. UFSC, Florianópolis.
- AROSZTEGUI, J. M., [1993]. **Ayuda al Proyetista en sus Decisiones Tempranas para una Arquitectura Termicamente Confortable.** In: Segundo Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Florianópolis, p.37.
- AROSZTEGUI, J. M., [1995]. **Curso El Proyecto para la Eficiencia Térmica de los Edificios.** ANTAC.
- CHICHERCHIO, Luiz C., [1994] . **Seminário: Conservação de Energia Elétrica: Iluminação Natural versus Iluminação Artificial em Edificações Industriais.** CELESC , Joinville.
- CORBELLA, Oscar D., [1988]. **O Clima e a Edificação - Ensaio sobre Arquitetura Bioclimática.** In: **Seminário Crise Urbana, Energia e Desenvolvimento Alternativo: o caso do Rio de Janeiro e Conservação de Energia no Meio Urbano,** Rio de Janeiro.
- HOPKINSON, R. G., PETHERBRIDGE, P., e LONGMORE, J., [1975]. **Iluminação Natural.** Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- KOENIGSBERGER, O. H. et al. [1973]. **Manual of Tropical Housing and Building Part 1: Climate Design.** Longman, New York.
- LAMBERTS, Roberto, [1993]. **Desempenho Térmico de Edificações: Cálculo da Transmitância Térmica e da Resistência Térmica de Elementos e Componentes. Texto Base para Norma.** UFSC, Florianópolis.
- LAMBERTS, Roberto, [1994]. **Notas de Aula-Disciplina de Análise Térmica de Edificações.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC, Florianópolis.
- LBL, [1989]. **DOE-2 Reference Manual - version 2.1 D.** Lawrence Berkeley Laboratory. Berkeley.
- LBL, [1993]. **DOE-2 Supplement - version 2.1 E.** Lawrence Berkeley Laboratory. Berkeley.
- LBL, [1994]. **DOE-2 Basics - version 2.1 E.** Lawrence Berkeley Laboratory. Berkeley.

- MARKUS, T. A. and MORRIS, E. N., [1982] . **Building, Climate and Energy - Chapter 9: Shape of Building.**
- MENDES, Nathan. [1993]. **Avanços em Simulações Térmicas de Edificações - Trabalho de Disciplina do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.**UFSC, Florianópolis.
- PATRÍCIO, Anita, [1995]. **Estudo do Comportamento Térmico de Uma Escola Primária - Projecto de Fim de Curso.** Portugal.
- RIVERO, Roberto,[1979]. **Influência de La Forma, La Orientação y Otras Variables del Edificio en su Relacion Térmica con el Médio Exterior.** Servicio de Climatología Aplicada a La Arquitectura. Universidad de La Republica O. del Uruguay, Montevideo.
- ROMÉRO, Marcelo de A.,[1994]. **Método de Avaliação do Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Campi Universitários: o caso da Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira.** Volume I. Tese de Doutorado. FAU/USP, São Paulo.
- SERRA, Geraldo G.,[1989]. **Conservação de Energia e Forma Arquitetônica.** EPUSP, São Paulo.
- SITERPA, [1988]. **Procedimentos para a Determinação das Propriedades Térmicas de Materiais e Elementos de Edificações - Capítulo 3: Caracterização das Propriedades Térmicas dos Materiais e Elementos das Edificações.**UFSC, Florianópolis.
- STRAATEN, J. F. van,[1967]. **Thermal Performance of Buildings.** Elsevier Publishing Company, Amsterdam.

ANEXO

ANEXO 1:PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE VENTILAÇÃO NATURAL.....	149
--	-----

ANEXO 1: Procedimento de Cálculo de Ventilação Natural:

Efetuada de acordo com o algoritmo mencionado por **LAMBERTS [1990]**:

A) Algoritmo de cálculo para ventilação unilateral, considerando apenas uma abertura de entrada:

$$N = (Q \times 3600)/144 \quad \text{onde:}$$

N - número de renovações de ar por hora

Q - vazão de ar: $Q = 0,025 \times A \times Vz$ com:

A - área útil de entrada (50% da área total de janelas)

Vz - velocidade do vento corrigida em função da altura

B) Algoritmo de cálculo para ventilação cruzada: para 25% de WWR:

- Área de entrada: 50% da área total de janelas = 3 m² (situação que considera as janelas totalmente abertas, do tipo maximar ou basculantes, resultando em cerca de 50% da área útil disponível para ventilação).

- Área de saída: consideração das situações abaixo, para escolha do valor de área de saída:

- Área de porta: $0,8 \times 2,1 = 1,68 \text{ m}^2$

- Área das aberturas altas na parede da porta (identificada na etapa de levantamento de campo, com aproximadamente 1,56 m² - 50% de 3,12 m²).

Adoção do valor médio de 1,6 m² como área de saída.

$$N = (Q_w \times 3600)/Vol \quad \text{onde:}$$

$Q_w = 0,6 \times A_w \times Vz \times \Delta CP$ com:

Vol - volume do ambiente

$1/A_w^2 = 1/SA_e^2 + 1/Sa_s^2$ onde:

Ae - área de entrada de ventilação

As - área de saída de ventilação

Vz - velocidade do vento corrigida pela altura:

$Vz/V10 = kz^a$ com:

V10 = 4,1 m/s (velocidade média anual do vento)

Coefficientes de correção k e a:

- área urbana: $k = 0,4$ $a = 0,25$
- altura da cumeeira $z = 4$ m

ΔC_p - coeficiente de pressão do vento, com:

ΔC_{pl} - diferença entre os coeficientes de pressão do vento para edificação em campo aberto

$\Delta C_{pl} = 1,2$ incidência do vento perpendicular a área de entrada: para situação com distância entre as edificações de duas vezes a edificação (situação urbana de baixa densidade): $\Delta C_p = 0,6$ $\Delta C_{pl} = 0,72$.