

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NAS
SALAS DE AULA DO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO DA UFOP**

AUTORA: MARCELA ASSUNÇÃO FARIA
ORIENTADOR: PROF. DR. HENOR ARTUR DE SOUZA

Ouro Preto, fevereiro de 2013

MARCELA ASSUNÇÃO FARIA

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NAS
SALAS DE AULA DO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO DA UFOP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Ouro Preto, fevereiro de 2013

F224a Faria, Marcela Assunção.
Avaliação das condições de conforto térmico nas salas de aula do campus morro do cruzeiro da UFOP [manuscrito] / Marcela Assunção Faria - 2013.

xiv, 157f.: il. color.; graf.; tab.; mapas.

Orientadora: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção metálica.

1. Conforto térmico - Teses. 2. Escolas - Edifícios - Teses. 3. Pós-ocupação (Arquitetura) - Teses. 4. Edifícios – Propriedades térmicas - Teses. I. Souza, Henor Artur de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 727:378.4

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NAS SALAS DE AULA DA UFOP NO CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO

AUTORA: MARCELA ASSUNÇÃO FARIA

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 28 de fevereiro de 2013, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)



Prof. Dr. Emani Carlos de Araújo (UFOP)



Profª. Dra. Danielly Borges Garcia Macedo (UNILESTE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, criador de todas as coisas, que nos momentos difíceis me deu forças para seguir em frente. Aos meus Pais por me apoiarem incondicionalmente em todas as minhas escolhas. Minha irmã Bruna, que dividiu comigo as angústias e muitos e muitos textos digitados neste trabalho. Ao meu namorado Arthur que além de me dar carinho e companheirismo nos inúmeros momentos difíceis, participou e contribuiu com a pesquisa, com agilidade no Excel que me faltou, contagem de questionários que eu já não tinha mais cabeça, dentre tantos momentos até o final... Silmara minha sócia e amiga, como agradecer tudo que você fez, e faz por mim... sua participação fez toda a diferença. Sem palavras, vocês foram imprescindíveis. Aos colegas do mestrado, já sinto saudades... Ao meu orientador Henor, agradecer e pouco. Te admiro muito, obrigada por ajudar com atenção, ensinar com boa vontade e por ter a maior paciência do mundo.

DEDICATÓRIA

À minha família, amigos, e ao meu namorado Arthur.

RESUMO

A qualidade ambiental interna de uma edificação está diretamente relacionada a uma resposta adequada aos condicionantes climáticos do local onde a edificação estiver inserida. As condições de conforto e também estética de um dado ambiente construído podem influenciar no desempenho das atividades ali exercidas pelas pessoas. Considerando-se espaços escolares estas relações do usuário com o ambiente têm um caráter ainda mais importante já que podem refletir diretamente no processo de aprendizado. Neste trabalho avalia-se o ambiente térmico das salas de aula da Universidade Federal de Ouro Preto, especificamente na Escola de Minas, no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas e no Bloco de Salas, investigando-se a percepção dos usuários. A investigação é realizada por meio da aplicação de questionários e medição das variáveis ambientais *in loco*, simultaneamente, ao longo dos meses de junho, julho e setembro de 2011. Os resultados obtidos são tratados estatisticamente, utilizando o cálculo do desvio padrão a partir das médias de temperatura operativa e umidade relativa, obtendo-se os limites de conforto para a população em estudo. No período estudado, no qual a faixa de temperatura do ar externo foi de 16,0°C à 24,0°C aproximadamente, obtém-se uma percentagem de aproximadamente 75% de satisfeitos com o ambiente térmico. Nos prédios da Escola de Minas e do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas parte dos problemas, em relação ao ambiente térmico, foi solucionado com a instalação de brises, películas insulfim nas vidraças e cortinas, nas fachadas com maior insolação. No caso do prédio do Bloco de Salas, para o qual nenhuma solução foi pensada, foi proposto um *retrofit* englobando a instalação de brise soleil móvel e o aumento da vegetação de médio porte do entorno imediato, evitando insolação direta na fachada envidraçada, dentre outras estratégias.

Palavras Chave: conforto térmico, percepção do usuário, desempenho térmico, *retrofit*.

ABSTRACT

The interior environmental quality of a building is directly linked to a climate conditioning of a venue where the building is in. The comfort conditions and also aesthetics of a certain built environment can influence the way the activities performed by people in it are developed.

Considering educational areas, those relations of the user with the environment have a more important role, once they can directly reflect in the learning process. In this work, the classrooms' thermal environment of the Federal University of Ouro Preto are assessed more specifically in the Minas School, in the Institute of Exact Sciences and Biological and in the Block of Rooms where the perception of the users are investigated. The investigation is realized through questionnaires and alongside measurement of the environment's variables in site during the months of June, July and September, 2011.

The obtained results are statistically treated, using the calculation of the Standard Deviation from the operative and humidity averages, getting the comfort limits for the studying populations. In the studied period in which the temperature range of the outer air was approximately between 16 C and 24 C, it is obtained a percentage of approximately 75% of satisfied people with the thermal environment. In the premises of the Minas School and the Institute of Exact Science and Biological, part of the problems related to the thermal environment was solved with the installation of brises, skin insulfilm in the windows and curtains in the façades with more insolation. In the case of the Block of Rooms, for which no solution was thought, it was proposed a retrofit, encompassing the installation of mobile brisesoleil and the expansion of the medium vegetation of the immediate surroundings, avoiding direct insolation in the glazed façade, among other strategies.

Key word – thermal comfort, user perception, thermal performance, retrofit

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Carta bioclimática de Olgay.....	33
Figura 2.2 - Carta bioclimática de Olgay com medidas corretivas.....	34
Figura 2.3 - Carta bioclimática GIVONI.....	35
Figura 2.4 - Carta bioclimática baseada na carata de GIVONI.....	36
Figura 2.5 - PMV X PPD.....	39
Figura 2.6- Índice de temperatura efetiva (temperaturas em °F).....	40
Figura 3.1- Solstícios e equinócios.....	49
Figura 3.2- Brises em fachadas.....	54
Figura 3.3- Efeito chaminé: tipos de ventilação.....	56
Figura 4.1 - Localização da cidade de Ouro Preto no mapa do Estado de Minas Gerais.	62
Figura 4.2- Zoneamento bioclimático do território brasileiro.....	63
Figura 4.3-Localização dos edifícios estudados no Campus Morro do Cruzeiro da UFOP. Escala 1/10.000.....	65
Figura 4.4- Escola de Minas: (a) entrada principal; (b) fachada norte com proteção solar em brises na ampliação ao fundo.....	66
Figura 4.5- Planta de locação dos blocos da Escola de Minas.....	67
Figura 4.6- Detalhe interno da sala de aula; (a) boa iluminação natural; (b) com película <i>insufilm</i> nas janelas e cortinas, iluminação artificial.....	68
Figura 4.7- (a) Foto ICEB I, II e III; (b) Bloco de salas III do ICEB, quando em fase de construção; (c) ICEB III, foto atual com uso de brises.....	69
Figura 4.8 - Planta de locação do ICEB III.....	69
Figura 4.9 - Foto sala de aula com película protetora nas janelas, cortina e brise externo..	70
Figura 4.10 - Prédio de Medicina da UFOP , fachada oeste.....	71
Figura 4.11 -Sala de aula, iluminação Natural.....	71
Figura 4.12-Planta de locação do Bloco de salas.....	72
Figura 4.13 -Sensor de temperatura e umidade Modelo ALMEMO.....	74
Figura 4.14 - Termômetro de globo negro, ALMEMO.....	75
Figura 4.15 - Termo anemômetro FV A605 TA, ALMEMO.....	76
Figura 4.16 - Equipamentos de medição de temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo e umidade do ar interna.....	76
Figura 4.17 - <i>Data Logger</i> ALMEMO 2890-9.....	77
Figura 4.18 - Estação metereológica WS-16-A.....	78
Figura 4.19 - Distribuição da frequência relativa do sexo dos pesquisados por prédio....	81
Figura 4.20 - Distribuição da frequência relativa idade dos pesquisados (EM).....	82
Figura 4.21 - Distribuição da frequência relativa idade dos pesquisados (ICEB III).....	82
Figura 4.22 - Distribuição da frequência relativa da idade dos pesquisados (Bloco de Salas).....	82
Figura 4.23-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (EM).....	83
Figura 4.24-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (ICEB III).....	83

Figura 4.25-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (Bloco de Salas).....	83
Figura 4.26-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (EM).....	84
Figura 4.27-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (ICEB III).....	84
Figura 4.28-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (Bloco de Salas).....	84
Figura 4.29-Distribuição da frequência relativa à idade dos pesquisados.....	85
Figura 4.30-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados.....	85
Figura 4.31-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados.....	85
Figura 5.1- Planta da sala pesquisada do ICEB III	88
Figura 5.2- Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS- Bloco 14 fachada sul..	89
Figura 5.3- Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS-Bloco 11 fachada sul...	89
Figura 5.4- Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS –Bloco 13 fachada norte	89
Figura 5.5-Planta da sala pesquisada do BLOCO DE SALAS-Primeiro pavimento.....	89
Figura 5.6- Planta da sala pesquisada do BOLOCO DE SALAS-segundo pavimento.....	90
Figura 5.7 - Julgamentos subjetivos gerais sobre conforto térmico.....	92
Figura 5.8 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (EM).....	93
Figura 5.9 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (ICEB III).....	93
Figura 5.10 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (Bloco de Salas).....	93
Figura 5.11-Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (EM).....	94
Figura 5.12 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (ICEB III).....	94
Figura 5.13- Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (Bloco de salas).....	95
Figura 5.14 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (Escola de Minas).....	95
Figura 5.15 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com o sexo usuários (ICEB III).....	95
Figura 5.16 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (Bloco de Salas).....	96
Figura 5.17 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com a vestimenta (EM).....	96
Figura 5.18- Julgamentos sobre conforto térmico de acordo coma vestimenta (ICEB III).....	97
Figura 5.19 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo coma vestimenta (Bloco de Salas).....	97
Figura 5.20 - Sensações percebidas de acordo os julgamentos subjetivos (EM).....	98
Figura 5.21 - Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (ICEB III).....	98
Figura 5.22 - Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (Bloco de salas).....	99
Figura 5.23 – Sensações térmicas subjeticas em relação ao movimento do ar (EM).....	99
Figura 5.24 – Sensações térmicas subjeticas em relação ao movimento do ar (ICEBIII)..	100

Figura 5.25 – Sensações térmicas subjetivas em relação ao movimento do ar (Bloco de salas).....	100
Figura 5.26 - Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (EM).....	101
Figura 5.27 - Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (ICEB III).....	101
Figura 5.28- Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (Bloco de salas)....	102
Figura 5.29 - Percepção da iluminação sala de aula (EM).....	102
Figura 5.30- Percepção da iluminação sala de aula (ICEBIII).....	103
Figura 5.31 - Percepção da iluminação sala de aula (Bloco de salas).....	103
Figura 5.32 - Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persianas (EM).....	104
Figura 5.33 - Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persiana (ICEB III)	104
Figura 5.34- Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persiana (Bloco de Salas)	105
Figura 5.35 - Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (EM)..	106
Figura 5.36- Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (ICEB III)	106
Figura 5.37 - Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (Bloco de salas)	106
Figura 5.38 - Aceitabilidade do ambiente para estar todos os dias e capacidade de estudo (EM)	107
Figura 5.39 - Aceitabilidade do ambiente para estar todos os dias e capacidade de estudo (ICEB III)	107
Figura 5.40- Aceitabilidade do ambiente para estudar todos os dias e capacidade de estudo (Bloco de salas)	107
Figura 5.41 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura do ar.....	109
Figura 5.42 – Sensação térmica do ambiente com relação à umidade relativa do ar.....	109
Figura 5.43 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura de globo.....	110
Figura 5.44 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura operativa.....	110
Figura 5.45 – Cruzamento da temperatura do ar com a variável de satisfação com o ambiente.	112
Figura 5.46 – Cruzamento da umidade com a variável de satisfação com o ambiente.....	112
Figura 5.47– Cruzamento da temperatura operativa com a variável de satisfação com o ambiente.....	112
Figura 5.48– Cruzamento da temperatura do ar com a capacidade de estudar no ambiente.....	113
Figura 5.49– Cruzamento da umidade com a capacidade de estudar no ambiente.....	113
Figura 5.50 – Cruzamento da temperatura operativa com a capacidade de estudar no ambiente.....	114
Figura 5.51 – Relação entre as respostas de sensação térmica e a temperatura operativa..	117
Figura 5.52 – Relação entre as respostas de sensação térmica e a umidade relativa.....	117
Figura 5.53 – Classificação dos dados da sensação térmica em função da temperatura operativa.....	118
Figura 5.54 – Classificação dos dados da sensação térmica em função da umidade	

relativa.	118
Figura 5.55 – Zona de conforto em função da temperatura operativa e umidade relativa..	119
Figura 5.56 – Diagrama psicrométrico com os parâmetros de conforto térmico determinados.	120
Figura 5.57-Carta solar com proteção horizontal e vertical da fachada Sul (EM).....	122
Figura 5.58- Carta solar fachada Norte (EM).....	122
Figura 5.59- Brise fixo na fachada oeste da Escola de Minas.....	123
Figura 5.60- Carta solar fachada Oeste (ICEB III).....	123
Figura 5.61- brise soleil horizontal fachada oeste ICEB III.....	124
Figura 5.62- Carta solar fachada Leste (ICEB III).....	124
Figura 5.63- Carta solar fachada Oeste (Bloco de Salas).....	125
Figura 5.64- Proposta de Retrofit para fachada oeste Bloco de Salas.....	125
Figura 5.65- Carta solar fachada Leste (Bloco de Salas).....	126
Figura 5.66- Proposta de Retrofit para fachada leste do bloco de salas.....	126
Figura 6.1 Imagem do novo prédio bloco de salas com vegetação, brise soleil e placas fotovoltaicas.....	129
Figura 6.2- Imagem da nova planta de cobertura, com telhado verde e placas fotovoltaicas.....	129
Figura C1- exemplo de carta solar.....	141
Figura D1- Detalhamento das camadas do telhado verde plano.....	144
Figura D2- Detalhamento das camadas e exemplos do telhado verde plano.....	144
Figura D3- Exemplos de telhado verde planos e curvos.....	145
Figura D4- Placas fotovoltaicas.....	147
Figura D5- Detalhamento das camadas do telhado verde inclinado com captação de água.....	148
Figura D6- Detalhamento do sistema de captação e reaproveitamento de água.....	149
Figura D7 - piso de bambu-fonte site eco casa.....	149
Figura D8-madeira plástica- fonte site eco casa.....	150
Figura D9- Cidade Songdo, Coréia do Sul.....	150
Figura D10- Cidade Songdo, Coréia do Sul.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Escala de sensação térmica.....	37
Tabela 4.1 – Diretrizes e estratégias de condicionamento passivo para a zona.....	63
Tabela 4.2 – Posições de medições para variáveis físicas de um ambiente.....	77
Tabela 4.3– Detalhamento do número de salas e questionários aplicados na pesquisa de campo.....	81
Tabela 5.1 – Características das salas avaliadas.....	88
Tabela 5.2 – Variáveis ambientais.....	91
Tabela 5.3 – Frequência absoluta da resposta para o grau de satisfação segundo a variação da temperatura operativa.....	108
Tabela 5.4 - Escala de sensação térmica.....	116
Tabela 5.5-Faixas de temperatura operativa e de umidade relativa.....	119
B.1 . Temperaturas do ar externo.....	139

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Considerações iniciais	14
1.2. Projeto versus desempenho energético	15
1.3. Objetivos	17
1.3.1. <u>Objetivo Geral</u>	17
1.3.2. <u>Objetivo Específico</u>	17
1.4. Justificativa	18
1.5. Motivação	19
1.6. Ambiente escolar	20
1.7. Estrutura do trabalho	22
2. CONFORTO AMBIENTAL	24
2.2. Conforto térmico	26
2.3. Variáveis do Conforto térmico	30
2.4. Índices de conforto térmico	31
2.4.1. <u>Carta Bioclimática de Olgyay</u>	33
2.4.2. <u>Diagrama bioclimático de givoni</u>	35
2.4.3. <u>Método de Fanger</u>	36
2.4.4. <u>Temperatura Efetiva</u>	39
3 - DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES	42
3.1. Eficiência Energética X sustentabilidade na construção	42
3.2. Construção Sustentável	44
3.3. Estratégias para construção eficiente	47
3.3.1. <u>Iluminação Natural</u>	47
3.3.2. <u>Radiação Solar</u>	49
3.3.3. <u>Ventilação Natural</u>	55
3.3.4. <u>Envoltória externa</u>	56
3.4 Retrofit	58
4. METODOLOGIA ADOTADA	60
4.1. Método	60
4.2. Caracterização do objeto de estudo	62
4.2.1 <u>A cidade de Ouro Preto-MG</u>	62
4.2.2. <u>Edificações estudadas</u>	64
4.2.2.1. Escola de Minas.....	66
4.2.2.2. ICEB III.....	68
4.2.2.3. Bloco de salas Medicina.....	70
4.3. Coleta de dados	72
4.3.1. <u>Parâmetros físico-ambientais medidos diretamente</u>	73
4.3.1.1 Temperatura do ar.....	73
4.3.1.2 Umidade relativa do ar.....	74
4.3.1.3 Temperatura de globo.....	75
4.3.1.4 Velocidade do ar.....	75
4.3.1.5 Dados externos.....	78
4.3.2. <u>Parâmetros físico-ambientais calculados</u>	79

4.4 Definição e caracterização da amostra.....	80
5. RESULTADOS.....	87
5.1. Análise das salas avaliadas.....	87
5.2. Análise das variáveis ambientais.....	90
5.3. Correlação entre as variáveis psico-fisiológicas.....	92
5.4. Cruzamento das variáveis ambientais e as psico-fisiológicas.....	108
5.4.1 <u>Satisfação com o ambiente.....</u>	111
5.4.2. <u>Capacidade de adaptação ao ambiente.....</u>	113
5.5. Definição dos limites de conforto térmico.....	114
5.6. Análise da necessidade de sombreamento.....	121
5.6.1. <u>Cartas solares- Escola de Minas (EM).....</u>	122
5.6.2. <u>Cartas solares- ICEB III.....</u>	123
5.6.3. <u>Cartas solares - Bloco de Salas.....</u>	125
6. CONCLUSÕES.....	127
6.1 Considerações finais.....	130
6.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXOS.....	136
ANEXO A- Questionários.....	136
A.1 . Formulário – Usuário.....	136
A.2 . Formulário – Pesquisador.....	138
ANEXO B - Aspectos Climatológicos de Ouro Preto – MG.....	139
ANEXO C - Cartas Solares.....	140
ANEXO D - Telhado verde e energias renováveis.....	143
ANEXO E - Relatório cartas solares.....	152
Relatório E1: Escola de Minas Fachada Sul.....	152
Relatório E2: Escola de minas Fachada Norte.....	153
Relatório E3: ICEB III Fachada Leste.....	154
Relatório E4: ICEB III Fachada Oeste.....	155
Relatório E5: bloco de salas Fachada leste.....	156
Relatório E6: bloco de salas Fachada Oeste.....	157

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O progresso nas estruturas de aço e de concreto permitiu que as construções leves vencessem vãos livres cada vez maiores. As plantas dos edifícios, especialmente dos edifícios comerciais, tornaram-se livres, já que as paredes estruturais foram reduzidas a um mínimo. Houve também contribuições efetivas ao desempenho energético, já que os conhecimentos em isolamento térmico e ventilação também avançaram. Entretanto, conhecimentos tradicionais de adaptação ao clima local foram sendo esquecidos. Nos climas quentes, as estruturas leves já não conseguiam preservar durante o dia o frescor da noite, como faziam as paredes espessas de pedra, de taipa e de adobe. Também fazia falta o frescor dos ambientes com pé-direito alto e ventilação cruzada. Nos climas frios, as formas soltas sobre pilotis e as paredes externas sem vidro já não conseguiam conservar o calor (SHIMD, 2005).

No Brasil, a partir da década de 1920, o aço começou a ser utilizado em estruturas, esquadrias e acabamentos, permitindo que a construção civil evoluísse em sua racionalização, velocidade de construção, padronização, limpeza no canteiro de obras e coordenação da produção. Porém, mesmo com as visíveis vantagens, o aço ainda não era consideravelmente empregado devido ao seu alto preço e sua necessidade de mão-de-obra qualificada. Até a década de 1970, as construções metálicas eram restritas basicamente a instalações industriais na configuração de galpões. Somente a partir da década de 1980, o aço teve uso considerável em grandes construções, visto que seu alto custo passou a ser compensado principalmente pela agilidade, padronização e leveza nas grandes construções.

Nos dias atuais o emprego do aço vem crescendo devido a suas qualidades, dentre elas as mais importantes: leveza, permitindo grandes vãos, limpeza e rapidez. Sua utilização vem se expandindo a diversos tipos de construções: pontes, escolas, hospitais, edifícios comerciais e habitacionais, galpões, dentre outros.

Atualmente, está ocorrendo uma expansão de novas tecnologias construtivas em função do mercado, pois cada vez mais há uma busca de sistemas alternativos que aumentem a produtividade, diminuam o prazo de obra e eliminem o desperdício, e dentre elas destaca-se a

construção estruturada em aço (MORAES, 2000).

A necessidade de se construir rápido e sem desperdícios são os principais fatores responsáveis pelo aumento da utilização da estrutura e esquadria metálicas. O agravante, é que juntamente com o tempo que não se pode perder, ocorre também o descaso com o conforto ambiental (ambiente x comportamento humano), ignorando os anseios e necessidades dos novos usuários de tais construções.

A construção civil é apontada como uma das indústrias que mais impactam o meio ambiente. O setor consome 2/3 da madeira natural, e cerca de 50% dos recursos naturais do planeta, sendo grande parte de recursos não renováveis. Na construção civil, a cada 3 prédios construídos se desperdiça 1. Segundo a Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA), “a demolição de edificações é responsável por 48% da produção de lixo, o que equivale a 65 milhões de toneladas por ano; as reformas são responsáveis por 44%, ou 60 milhões de toneladas por ano, vêm de canteiros de obras” (KEELER; BURKE, 2010).

No entanto, o uso de construções metálicas no Brasil ainda é pequeno quando comparado com outros países, devido a questões culturais e históricas. O concreto armado é, ainda hoje, o material de construção, a nível estrutural, mais utilizado nas construções brasileiras.

Em virtude das vantagens, o mercado da construção tem optado em muitos casos pelo uso da estrutura metálica, devido a um maior retorno na relação custo/benefício que esse tipo de sistema construtivo oferece no custo final da obra. A aplicabilidade desse tipo de estrutura pode ser vista em edifícios institucionais, como *shoppings centers*, edificações comerciais, edificações públicas, edificações para fins educacionais e de saúde e em edifícios residenciais.

1.2. Projeto versus desempenho energético

A Arquitetura possui como uma de suas funções, oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas. Ao intervir no meio natural, o homem altera formas, cores e materiais, o que, a partir

de uma certa escala, provoca alterações no clima. A racionalização do uso da energia apresenta estreitos laços com a adequação da arquitetura ao clima, evitando ou reduzindo os sistemas de condicionamento artificial de ar, quer com a finalidade de refrigerar, quer com a de aquecer os ambientes. O condicionamento passivo pode propiciar, quando pensado, a redução do excesso de calor resultante no interior dos edifícios, minimizando, por vezes, os efeitos de climas excessivamente quentes (FROTA, 2004).

O conforto térmico é, em linhas gerais, obtido por trocas térmicas que dependem de vários fatores, ambientais ou pessoais, governados por processos físicos, como convecção, radiação, evaporação e eventualmente condução. Estes processos de trocas térmicas dependem da produção de calor metabólico, do nível de fatores ambientais (velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa e temperatura média radiante) e do tipo de vestimenta que o indivíduo estiver usando. O efeito conjugado dos mesmos é que define o grau de conforto ou desconforto térmico sentido pelas pessoas.

A escolha dos materiais que compõem os fechamentos de uma edificação, deve ser feita de forma criteriosa, levando em consideração não apenas a relação custo/benefício, mas também a sua relação com o clima local, pois a escolha de um material não adequado pode ocasionar um aumento do consumo de energia elétrica, devido a um maior uso de ar condicionado, nos períodos de temperatura elevada.

Imprimir a um edifício características que proporcionem uma resposta térmica ambiental conveniente não implica um acréscimo obrigatório de custo de construção, mas, ao contrário, deve resultar em redução do custo de utilização e de manutenção, além de propiciar condições ambientais internas agradáveis aos ocupantes.

Quanto mais agradáveis forem as condições de conforto no ambiente, mais otimizada poderá ser a tarefa realizada nesse local. Estas condições não são somente as ambientais, mas também da capacidade de aclimatação ao meio ambiente, dos hábitos alimentares, das atividades, da altura, do peso, do tipo de roupa de cada indivíduo e até mesmo da idade e do sexo.

As situações de desconforto podem ser causadas por temperaturas extremas, ventilação insuficiente, umidade excessiva combinada com altas temperaturas, radiação térmica devido a superfícies aquecidas, e podem ser prejudiciais criando efeitos psicológicos sobre uma pessoa em um determinado ambiente, além de efeitos sobre o corpo humano, como alteração nos batimentos cardíacos e aumento da sudorese.

A influência climática sobre o comportamento e a saúde das pessoas é tão óbvia que frequentemente ela é menosprezada. A influência do tempo e clima sobre os organismos vivos tem sido estudada intensivamente durante as últimas décadas. Estudos efetuados por meio da descrição da Biometeorologia mostram diversos trabalhos relacionando variáveis ambientais e doenças em geral. As doenças brônquio-asmáticas e cardiovasculares mostram-se muito sensíveis à variabilidade da temperatura do ar e conseqüentemente de índices de conforto térmico, bem como de níveis de poluição. (FONTANELLA, 2009).

Os impactos diretos da qualidade do ar interno incluem maiores custos com serviços de saúde, diminuição da produtividade, pedidos de indenização por parte do trabalhador, desvalorização dos imóveis e, em casos mais extremos, despesas com acordos judiciais.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Avaliar o ambiente térmico das salas de aula da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), especificamente da Escola de Minas (EM), do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB III) e do Bloco de salas de aulas (edifícios com sistemas construtivos diferentes), investigando-se a percepção dos usuários.

1.3.2. Objetivo Específico

Para alcançar o objetivo algumas etapas importantes são contempladas como:

- A caracterização global da edificação (projeto, materiais utilizados, entorno);
- A definição dos parâmetros relevantes para a avaliação de desempenho térmico de edificações;

- A verificação do desempenho térmico da edificação por meio de medições das variáveis *in loco* e aplicação dos questionários;

1.4. Justificativa

Em todas as áreas de conhecimento, o foco maior é o ser humano. A constante busca em qualidade de vida e ideais do ser humano faz com que diversas áreas se aprofundem em pesquisas sobre o assunto. O estudo do comportamento x espaço vem sendo discutido massivamente como princípio ideal para a harmonia física e psíquica do ser humano. Como exemplo, na área de psicologia Bechtel e Churchman (2001), defendem a revolução contínua do pensamento de como o ambiente e a psicologia se interagem, analisando o comportamento humano em meio ao ambiente em busca de melhorias. Outro exemplo é na área de engenharia e na arquitetura onde se defende em pesquisas e publicações em congressos a geração de indicadores de qualidade do ambiente construído (MEDVEDOVSKI, 2008).

O presente trabalho consiste na continuação da pesquisa realizada por Fontanella (2009), que avaliou o conforto térmico nas salas de aula da UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) em dois edifícios distintos construtivamente, mediante pesquisa sobre adaptação climática e as preferências quanto à sensação térmica da população em estudo.

O ambiente construído, seu processo de produção e uso não são simples expressões físicas, mas devem expressar e interpretar a reação dos usuários de diversas maneiras, de acordo com as necessidades humanas, os modos de pensar, as atitudes, os valores e as imagens.

Um desempenho térmico adequado de um dado ambiente construído, que atenda as condições de conforto térmico aos seus usuários com o menor consumo de energia, pode ser alcançado se todos os parâmetros (físicos e ambientais) relevantes em relação ao balanço térmico do ambiente são observados na proposição do projeto. Dentre as variáveis importantes nesse processo destaca-se a capacidade térmica do sistema de fechamento e a ventilação natural seletiva (diurna e/ou noturna).

Diante disso, o estudo do desempenho térmico de edificações torna-se importante, pois o uso do sistema industrializado contribuiu para o surgimento de novos materiais, e para que eles sejam usados de forma adequada, devem ser feitos estudos iniciais levando em consideração o

clima local, o tipo de ocupação, a forma da edificação, dentre outros fatores. Esse tipo de análise possibilita projetar ambientes confortáveis que atendam as expectativas humanas ou identificar e minimizar problemas oriundos do projeto, da construção ou da manutenção da edificação.

Segundo a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) o desempenho dos seres humanos, sob uma condição de estresse térmico, é aproximadamente 11 % menor, quando comparado ao seu desempenho sob condições térmicas adequadas ou de neutralidade. As edificações que adotam medidas eficientes para melhorar as condições térmicas internas e a qualidade do ar interno são mais agradáveis de se trabalhar, têm taxas de retenção de funcionários mais altas e, na maioria dos casos, resultam em aluguéis superiores. Algumas companhias de seguros oferecem descontos para quem investe na qualidade do ar interno e na eficiência energética das construções. Os arquitetos e os empregadores devem estar cientes de que os funcionários têm o direito a um ar interno mais saudável, como defendido pela Organização Mundial da saúde (OMS).

Várias outras pesquisas que estão sendo desenvolvidas sobre o conforto ambiental em arquitetura escolar ressaltam a necessidade de serem estabelecidas melhorias em salas de aula para que o ensino e o aprendizado possam apresentar melhor qualidade (PIZARRO, 2005).

1.5. Motivação

Revisando trabalhos como os de Xavier (1999) realizado na Escola Técnica Federal de Santa Catarina, Gonçalves (2000) que pesquisou os índices de conforto térmico determinando os limites de aplicabilidade e/ou adaptabilidade desses índices para uso em Belo Horizonte – MG, Araújo (2001) que fez um estudo de avaliação pós-ocupação junto aos usuários escolares na cidade de Natal-RN, observa-se que a zona de conforto obtida é diferente da encontrada em trabalhos realizados em outras partes do país, e distinta também da zona de conforto adotada para o Brasil. Essas diferenças evidenciam a adaptação das pessoas ao clima, bem como sugerem a necessidade da especificação das zonas de conforto diferenciadas para cada região.

Embora o ambiente escolar seja um importante instrumento de desenvolvimento do ser humano, infelizmente a maioria das construções não está adequada às atividades exercidas e

ao conforto térmico, tão importante para o bem estar e a aprendizagem. A análise detalhada da bibliografia existente indica que o aumento das taxas de ventilação e o melhor controle da temperatura podem melhorar o desempenho tanto no trabalho como na escola (KEELER; BURKE, 2010). Segundo esses autores, condições de desconforto térmico no ambiente escolar podem ser responsáveis por sonolência, aumento de sudação, além de alterações nos batimentos cardíacos. Tais manifestações fisiológicas acabam por dificultar a concentração do aluno, e assim, interferir significativamente no aprendizado.

Estudos como o realizado por Wong e Khoo (2002), reforçam que a condição térmica nas salas de aula em edifícios escolares tem de ser cuidadosamente considerada principalmente por causa de sua alta densidade de ocupação e também por causa das influências negativas que um ambiente térmico insatisfatório tem sobre a aprendizagem e desempenho dos seus usuários.

O arquiteto é o criador da modificação do espaço, e o faz pensando na satisfação dos desejos do usuário, baseado nos conhecimentos oferecidos pela tecnologia da construção e na sua cultura sobre a estética, a ética e a história.

1.6. Ambiente escolar

Uma escola deve ser um ponto de referência na comunidade na qual se insere, principalmente, pelo seu caráter sociocultural e quando construída, levando em conta o clima local, pode caracterizar uma edificação de espaços otimizados, influenciando diretamente na prática de suas atividades fundamentais.

A interdisciplinaridade requerida para o projeto de espaços escolares indica que o espaço escolar é uma realidade extremamente complexa. Nenhuma disciplina isolada dá conta desta complexidade. Deve haver visões psicológicas, pedagógicas, arquitetônicas. Alguém que tenha uma visão do espaço, da cor, da relação entre o que compõe o espaço e o usuário (PIZARRO, 2005).

Condições microclimáticas adequadas são importantes em qualquer ambiente construído. Nos ambientes educacionais, a qualidade, ou seja, as condições de conforto térmico, acústico e

luminoso, podem atuar no rendimento do aluno, influenciando na concentração, compreensão, aprendizagem e desempenho global.

A qualidade do ar interno afeta a produtividade, a saúde e o conforto dos trabalhadores. No caso de escolas, já se sabe que, além de uma boa iluminação a boa qualidade do ar interno melhora o aprendizado. À medida que as taxas de ventilação aumentam também sobem a produtividade e o desempenho (KEELER; BURKE, 2010).

Mendell (2002) fez um resumo de pesquisas focadas na produtividade então atuais e concluiu que muitos fatores podem afetar o desempenho escolar de crianças de maneira negativa; entre eles, encontram-se os controles de ventilação inadequados e a presença de poluentes microbiológicos, térmicos e químicos internos.

O conforto térmico dos usuários em uma edificação está diretamente ligado ao desempenho térmico dessa edificação. O processo de avaliação de desempenho térmico de uma edificação possui as seguintes fases: caracterização das exigências humanas de conforto térmico; caracterização das condições típicas de exposição ao clima; caracterização da edificação e sua ocupação; caracterização do comportamento térmico da edificação (determinação das condições internas de conforto térmico) e avaliação do desempenho térmico da edificação (AKUTSU, 1998; IPT, 1998).

Sendo a educação um dos fatores que mais influem no desenvolvimento de um país, a qualidade de ensino torna-se algo de grande importância para que esta educação seja eficiente. Uma boa qualidade de ensino não só depende da capacitação dos professores, mas também das condições físicas das salas de aulas, ambientes em que os mesmos interagem com os alunos.

O conforto ambiental, fator intimamente relacionado à produtividade de trabalho e ao rendimento escolar, depende do projeto da edificação e de seus ajustes para as atividades de seus usuários. Itens como qualidade do ar interno, temperatura e umidade, condições de ventilação e de iluminação e acústica têm grande influência no aprendizado dos alunos (GRAÇA; KOWALTOWSKI; PETRECHE, 2006, ORNSTEIN; ONO, 2005).

Algumas soluções simples de projeto arquitetônico, tanto para criação como adequação, podem garantir economia e bem estar a alunos e professores, como salas de aula bem dimensionadas, com temperaturas amenas e índices de iluminação e ventilação naturais adequados, e panos de vidro em paredes externas protegidos por beirais ou brises, garantindo iluminação e ventilação naturais nas salas. Já que existe relação direta da qualidade e da produtividade com o ambiente de trabalho, pode-se afirmar que as salas de aulas precisam prover os alunos e professores de condições saudáveis, garantindo a maior naturalidade de uma das atividades mais importantes para a sociedade, a educação.

1.7. Estrutura do trabalho

O presente trabalho é composto de cinco capítulos mais a conclusão descritos a seguir. O capítulo 1 compreende a introdução com os objetivos, motivação do trabalho e justificativa.

No capítulo 2 explanou-se sobre o conforto ambiental, sua definição, conforto térmico, os estudos precedentes na área, descrevendo e analisando os principais índices de conforto térmico, suas bases teóricas, bem como restrições à sua aplicação.

No capítulo 3 foi feita uma revisão bibliográfica sobre o desempenho das edificações, com foco em eficiência energética e sustentabilidade na construção. Falou-se também sobre Retrofit, conceitos e aplicações.

No capítulo 4 formula-se e conceitua-se a situação-problema, caracterizando o objeto de estudo. Explica-se também a metodologia adotada para a execução do trabalho, enumera-se as etapas e detalha-se os procedimentos experimentais adotados nas medições de campo e os procedimentos utilizados no tratamento dos dados levantados.

No capítulo 5 mostra-se os resultados obtidos por meio de análises quantitativas e qualitativas. É feito o estudo das cartas solares para os prédios estudados, complementando os resultados da pesquisa e mostra-se uma proposta de solução dos problemas encontrados.

No capítulo 6 faz-se uma avaliação crítica do que foi executado e estudado, e indica-se possibilidades para o seu aperfeiçoamento e desenvolvimento em trabalhos posteriores.

No anexo A, traz-se os questionários que foram preenchidos nos ensaios de campo, pelos usuários e pelo pesquisador. No anexo B, apresenta-se as temperaturas do ar externo nos dias que foram realizadas as medições. No anexo C apresenta-se uma explicação aprofundada sobre o uso das cartas solares. No anexo D fala-se sobre telhados verdes e energias renováveis. E no anexo E mostra-se os relatórios dos brises dimensionados especificamente para as fachadas dos prédios estudados.

2 CONFORTO AMBIENTAL

A solução para se ter conforto está na adequação da envolvente da edificação (paredes, coberturas e aberturas) aos condicionantes ambientais locais. O conforto ambiental de um espaço está diretamente relacionado à satisfação do usuário, ou seja, quando o usuário se sente neutro ou confortável em relação aos fenômenos externos e internos: iluminação, calor ou frio e ruído.

Uma abordagem para a verificação do conforto está diretamente ligada à avaliação pós-ocupação porque é a partir dela que se conclui o resultado da satisfação dos usuários. Esta abordagem é base para se descobrir se os padrões mínimos de conforto ambiental foram implementados no projeto ou em sua execução, e se não, apresentam soluções, paliativas ou não, a curto, médio e longo prazo. Estes dados podem ser obtidos via percepções dos usuários ou por coleta de dados com equipamentos. A avaliação pós-ocupação avalia até que ponto as edificações atendem às necessidades dos usuários e identifica maneiras de aprimorar o projeto, o desempenho e a aptidão de cada prédio.

Com base em estudos de Souza (2006), a especificação de um ambiente em termos térmicos, lumínicos e acústicos e suas tolerâncias depende das atividades a serem desenvolvidas. A necessidade de se melhorar cada vez mais o conforto ao ambiente, bem como de se expandir o uso de novos materiais e tecnologias, como é o caso do aço, tem aumentado pesquisas e estudos relacionados à ocupação.

O sistema nervoso e os sentidos de uma pessoa (o olfativo, o auditivo, o visual e o emocional) definem os componentes do ambiente interno, tais como: a acústica, a iluminação natural, o conforto visual, a conexão com o exterior e o conforto térmico. Isso se tornou ainda mais importante quando o Conselho de Ciência da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Science Advisory Board), colocou a qualidade do ar interno entre os cinco principais impactos ambientais sobre a saúde humana (KEELER; BURKE, 2010).

O conforto ambiental representa a qualidade do ambiente e engloba os seguintes fatores: conforto acústico; conforto lumínico; conforto térmico; qualidade do ar interno; ergonomia.

O conforto acústico tem como objetivo a obtenção de boas condições de sossego e trabalho por meio de níveis de ruídos internos aceitáveis e a garantia das condições de inteligibilidade da voz. Sabe-se que o ruído excessivo incomoda e traz alterações no comportamento humano.

Os males que podem ser atribuídos à poluição sonora são distúrbios neuropsicológicos, dores de cabeça, fadiga, estresse, efeitos no humor: irritabilidade e neuroses, doenças cardíacas e distúrbios no sistema cardiovascular, hipertensão e hipotensão, desordens digestivas, úlceras, colites, perda da audição, problemas cognitivos (incluindo dificuldades de aprendizado nas crianças) e distúrbios de comportamento, dentre outros.

O ambiente deve estar projetado considerando as possíveis fontes de ruídos dentro do futuro prédio, deve-se pensar em como evitar sua transmissão para o ambiente. É preciso ter consciência da existência de fontes de ruídos nas vizinhanças e analisar quais ações devem ser adotadas.

O conforto lumínico é o principal determinante da necessidade de iluminação em um edifício. Nos trópicos, como é o caso do Brasil, deve-se pensar na necessidade de se controlar a luz que entra, para não iluminar demais causando ofuscamento, e um ingresso exagerado de radiação direta, que afetará o conforto térmico. Ter um bom nível de luz para a tarefa que se deseja realizar é uma condição necessária em edificações escolares.

Um estudo do Heschong Mahone Group¹ (2002), focado em sala de aula e nas notas obtidas pelos alunos levou há algumas conclusões interessantes, ainda que controversas. Em um ambiente de sala de aula, os pesquisadores descobriram que a presença de claraboias sem controle, que causam ofuscamento e desconforto térmico, resultou em uma queda de 21% nas notas de leitura dos estudantes. O estudo também se deparou com uma melhoria de 7% nas salas de aula com maior iluminação natural, além de uma melhoria de 14 a 18%, entre os alunos que ocupavam as salas de aula com janelas maiores. (KEELER; BURKE, 2010)

A iluminação natural, componente específico da qualidade do ambiente interno, dá a oportunidade de vincular e equilibrar benefícios duplos, uma vez que as técnicas empregadas para a sua obtenção também reduzem o consumo de energia.

¹ Lisa Heschong, Roger L. Wright & Stacia Okura, "Daylighting Impacts on Human performance in School", Journal of the Illuminating Engineering Society (Summer 2002):101-114.

A temperatura, a umidade, a velocidade do ar, a radiação solar incidente sobre o corpo e a temperatura radiante média das superfícies alteram o conforto térmico das pessoas. Para uma pessoa estar em conforto térmico, a temperatura de sua pele deve ser de aproximadamente 35⁰C. Entretanto, o favorecimento de uma destas variáveis ambientais específicas pode representar uma queda no desempenho do edifício em relação às outras variáveis. Nesses casos, o arquiteto se vê, muitas vezes obrigado a optar pelo favorecimento de uma em detrimento da outra, conforme o parâmetro mais importante para o projeto em questão. Segundo Graça e Kowaltowski (2003), não é possível maximizar todos os tipos de conforto ao mesmo tempo, mas sim encontrar um conjunto de soluções adequadas ao projeto em questão.

O excesso de calor, umidade, vento, ruído, etc, afetam a saúde e o bem-estar das pessoas. O calor em excesso pode, por exemplo, afetar o desempenho das pessoas, causar inquietação, perda de concentração. A umidade provoca desconforto, sonolência, aumento do suor. O ruído em excesso causa inquietação, perda do sossego, concentração, etc. Essas e outras perturbações que ocorrem, muitas vezes, sem que se perceba, causam o estresse e, depois de certo tempo provocam nas pessoas doenças mais complexas, como diabetes, cardiovasculares, respiratórias etc.

2.1. Conforto térmico

Os primeiros estudos sobre conforto térmico datam do início do século passado. Esses estudos tinham o objetivo principal de avaliar de que maneira as condições termo higrométricas afetavam o rendimento do trabalho (OLGYAY, 1963; FANGER, 1972; GIVONI, 1976). No caso do Brasil, a Norma Regulamentadora NR 17:2007 do Ministério do Trabalho e Emprego recomenda que para condições de conforto, o índice de temperatura efetiva deve estar entre 20°C e 23°C. Recentemente foram aceitas revisões para norma ASHRAE55 (ASHRAE, 2004) que incluem um novo padrão de conforto adaptativo (ACS) e que permite temperaturas mais altas no interior de edifícios ventilados naturalmente durante o verão e em zonas de clima mais quente e levam em conta a interferência do usuário no ambiente, como o abrir ou fechar janelas dentre outras atuações.

O conforto Térmico é uma sensação individual, subjetiva, que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor e massa a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

O homem é considerado um ser homeotérmico, isto é, possui mecanismos internos de regulação térmica que se acionam em função da temperatura externa. O ser humano produz calor (por metabolismo) e ganha ou perde calor do ambiente ao seu redor. Se ganhar mais do que perder, a temperatura da pele sobe e ele se distancia da sensação de conforto.

As condições de conforto térmico são função da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta (pessoal) e das variáveis ambientais (ambiente) que proporcionam as trocas de calor e massa entre o corpo e o ambiente. Assim, os índices de conforto térmico procuram englobar, em um único parâmetro, diversas variáveis. Do ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna do corpo sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termorreguladores, ou seja, é necessário que o organismo humano se encontre em balanço térmico com o meio ambiente.

A manutenção da temperatura interna do organismo relativamente constante, em ambientes cujas condições térmicas são as mais variadas possíveis, se faz por meio de seu aparelho termorregulador, que comanda a redução ou aumento das perdas de calor e massa pelo organismo por meio de alguns mecanismos de controle. Uma resposta é aumentar a produção térmica para coincidir com a perda. As tensões musculares que causam tremores, por exemplo, podem causar um aumento de três vezes na produção de calor. Ao mesmo tempo, o organismo tenta cortar a perda de calor, limitando o fluxo sanguíneo na pele e nas extremidades.

A pele fria reduz a perda de calor. Em situações de frio, os vasos sanguíneos se contraem perto da superfície. A vasoconstrição ocorre geralmente nas extremidades em primeiro lugar, isto é, os dedos, mãos, pés, nariz, e assim por diante. Uma vez que os vasos sanguíneos são

totalmente contraídos, a pele funciona de maneira similar à roupa, e proporciona isolamento útil. Seu valor de isolamento depende da espessura da camada de gordura.

A termorregulação, mesmo sendo o meio natural de controle de perdas de calor e massa pelo organismo, representa um esforço extra e, conseqüentemente, uma queda de potencialidade de trabalho. A pele é o principal órgão termorregulador do organismo humano, e é através dela que se realizam as trocas de calor e massa.

A fadiga física faz parte do processo normal de metabolismo e é resultante do trabalho excessivo do aparelho termorregulador, pela existência de condições ambientais desfavoráveis, no que diz respeito à temperatura do ar, tanto com relação ao frio quanto ao calor, e à umidade relativa do ar.

A temperatura e a umidade ambiental influem diretamente no desempenho das atividades humanas. Quando o ambiente está muito úmido fica mais difícil evaporar o suor, principalmente se não houver ventilação. Segundo Iida (1990), o corpo humano trabalha como uma máquina exotérmica, sempre gastando calor, mesmo em estado de repouso absoluto. No caso de trabalhos normais 23 a 58 W são gastas, para trabalhos moderados com os braços 232 a 581 W e 581 W para trabalhos pesados envolvendo movimentos corporais. Sendo assim, o equilíbrio térmico do organismo deve ser atingido por meio dos mecanismos de condução, convecção, radiação e principalmente, evaporação e respiração.

Tratando-se de um ambiente construído as condições de conforto variam de acordo com os condicionantes climáticos do local. Este fator é determinante para a escolha da tipologia construtiva de acordo com cada lugar. Para se obter um projeto com boas condições internas de conforto térmico é necessário um estudo prévio de todas as variáveis climáticas do entorno, principalmente temperatura e ventilação, para se aproveitar melhor as condições locais.

O conforto higrotérmico objetiva evitar temperaturas internas muito elevadas no verão e muito baixas no inverno, e é a integração dos dados de temperatura, umidade relativa e ventilação para a obtenção de boas condições de conforto. A ventilação objetiva a higienização do ar interno (eliminação de odores, poluentes, etc.) e o conforto ao eliminar

excesso de calor interno.

Além dos condicionantes térmicos a serem avaliados no processo de projeto, pelo zoneamento bioclimático, para a qualidade de um projeto, principalmente em regiões quentes, deve-se também contar com as diretrizes construtivas de aberturas para a captação de vento local e principalmente com os dados de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de alguns materiais para paredes e coberturas.

O conforto térmico pode não ser visto apenas como um problema de termo regulação fisiológica, mas também como uma resposta comportamental às condições ambientais (HUMPHREYS; NICOL, 1998). A falta de controle sobre o ambiente pode aumentar a probabilidade de desconforto. Assim, a hipótese adaptativa parte do princípio de que as pessoas encontram maneiras de se adaptarem às condições do ambiente, quando há tempo suficiente, desde que essa adaptação não represente um risco de choque térmico (DE DEAR; BRAGER, 2001).

A portaria INMETRO N^o. 53 (INMETRO, 2009) especifica requisitos técnicos bem como os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética.

Em 1984, o Inmetro iniciou com a sociedade a discussão sobre a criação de programas de avaliação da conformidade com foco no desempenho, com a finalidade de contribuir para a racionalização do uso da energia no Brasil.

Atualmente, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (**PBE**) é composto por 38 Programas de Avaliação da Conformidade em diferentes fases de implementação, que contemplam desde a etiquetagem de produtos como fogões, refrigeradores e condicionadores de ar, até demandas mais recentes na área de recursos renováveis (aquecimento solar e fotovoltaico) e outras mais complexas e com grande potencial de economia de energia para o país, como as edificações e os veículos (INMETRO, 2009).

As primeiras etiquetas de eficiência energética para projetos brasileiros de habitação foram concedidas em novembro de 2010, durante a cerimônia de lançamento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para residências e edifícios multifamiliares, promovida

pela Eletrobrás e pelo Inmetro, no Hotel Transamérica, em São Paulo. A exemplo da etiqueta para edifícios comerciais, de serviços e públicos, e para os eletrodomésticos, a etiqueta para habitações também é concedida dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelas duas instituições.

2.3. Variáveis do Conforto térmico

As principais variáveis climáticas de conforto térmico são: temperatura; umidade; velocidade do ar; radiação solar incidente. Além destas a atividade exercida bem como a vestimenta utilizada também são relevantes.

A temperatura do ar interno do ambiente é a principal determinante da sensação de calor e deve estar de acordo com as atividades que serão ali exercidas para que não se comprometa o rendimento humano. Se a temperatura estiver muito baixa sente-se frio, ao contrário, se estiver muito alta, sente-se calor. A temperatura do ar corresponde à temperatura ao redor do corpo humano e determina a troca de calor por convecção entre as pessoas e o ar ambiente ao redor.

As trocas de calor por convecção substituem a camada de ar próxima à pele por um ar mais frio. Para que isso ocorra, a temperatura ambiental deve ser menor que 37°C, que é a média da temperatura corporal. As trocas por condução só são possíveis se o organismo tiver contato direto com algum material. Quanto às trocas de calor por radiação, o corpo humano se comporta como um bom absorvente e radiador (IIDA, 1990).

Já a umidade relativa está associada à quantidade de vapor contido no ar e quando excessiva, inibe ou diminui a perda de calor por evaporação, por isso sente-se mais calor. A falta de umidade pode comprometer a saúde. A evaporação do suor contido na pele é o mecanismo termorregulador mais importante e depende diretamente da umidade relativa e do movimento do ar. A umidade relativa é um parâmetro essencial no conjunto de variáveis climáticas, pelo fato da influência da umidade do ar no conforto térmico das pessoas esta fortemente relacionada com as condições de temperatura (FROTA; SCHIFFER, 2007).

Quanto mais seco for o ar, menor a sua saturação, portanto a situação é mais favorável à evaporação. Entretanto, os índices de umidade devem estar dentro de certos limites para que o

organismo não sofra. De acordo com Araújo (2001), a umidade relativa do ar não deve ser inferior a 20% para evitar o ressecamento das mucosas. Da mesma forma, o excesso deve ser evitado, principalmente em ambientes com temperaturas muito altas e pouca ventilação, que dificultam o efeito da absorção e a evaporação da vestimenta e da pele. Além disso, o excesso de umidade provoca a condensação superficial e o desenvolvimento de fungos nos componentes das edificações que, por sua vez, também provocam sérios problemas de alergias nas vias respiratórias.

A radiação solar seja direta, refletida ou difusa, produz um efeito de aquecimento sobre a pele ou roupa atingida por ela. Ela é responsável pela troca de calor entre dois corpos, que guardam entre si uma distância qualquer, por meio de sua capacidade de transmitir e absorver energia térmica. A temperatura radiante média é calculada pela média da temperatura ambiente com as temperaturas das superfícies vizinhas ao corpo e promove o processo de transferência de calor por radiação das superfícies circundantes do ambiente com as pessoas.

E finalmente é a partir do tipo de atividade e vestimenta apropriada que será exercida no local que as demais variáveis serão calculadas. A roupa se constitui em uma resistência térmica adicional e a atividade dissipa energia térmica do corpo aumentando a sensação de calor.

2.4. Índices de conforto térmico

No Brasil as pesquisas na área se iniciaram na década de 1930 e 1940 por meio de trabalhos de higienistas. Somente a partir da década de 1970, com a crise mundial de energia, quando o conceito de utilização de outras fontes de energia foi sendo incorporado, os índices térmicos passaram a ser utilizados na análise de projetos e a ser questionados.

Ao projetar as instalações de condicionamento mecânico, os engenheiros usam uma ferramenta básica chamada de carta psicrométrica. No caso dos arquitetos e projetistas, são mais úteis as cartas bioclimáticas simplificadas, que definem a zona de conforto com base na temperatura e na umidade relativa do ar. Essas cartas mostram como é possível ampliar a zona de conforto com o uso de estratégias passivas ou de baixo consumo de energia, dentre elas: o aquecimento solar passivo, a ventilação natural, a massa térmica dos fechamentos, a ventilação noturna e o resfriamento por evaporação.

Desde o início do século XX vários estudos delimitaram zonas de conforto térmico, baseadas em faixas de variações de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar e que determinam situações ambientais ideais para o homem desenvolver suas tarefas, sem a necessidade de o organismo acionar seus mecanismos termorreguladores sensores. Os primeiros estudos acerca da influência das condições termo higrométricas sobre o rendimento no trabalho foram desenvolvidos pela Comissão Americana da Ventilação em 1916 (FROTA; SCHIFFER, 2007).

Os índices de conforto térmico procuram englobar, num parâmetro, o efeito conjunto de diversas variáveis, tais como o tipo de vestimenta, a atividade exercida pela pessoa e os parâmetros ambientais. Estes índices foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados em índices biofísicos, fisiológicos e subjetivos.

Os índices biofísicos baseiam-se nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos. Os índices fisiológicos baseiam-se nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar. Os índices subjetivos baseiam-se nas sensações subjetivas de conforto experimentadas nas condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Geralmente, os índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada, e a partir daí, relacionam as variáveis do ambiente às respostas subjetivas ou fisiológicas dos indivíduos sob a forma de gráficos, cartas, em que são delimitadas as zonas de conforto térmico.

A escolha de um tipo de índice de conforto deve estar relacionada com as condições ambientais, com a atividade desenvolvida pelo indivíduo e pela maior ou menor importância de um ou de outro aspecto do conforto. Neste trabalho serão apresentados para fins de aplicação às condições ambientais correntes nos edifícios como as escolas, para as condições climáticas brasileiras, aqueles que estimam a sensação térmica para atividade sedentária ou procuram englobar, em um único parâmetro o efeito combinado de várias variáveis, a saber: Carta Bioclimática de Olgyay; Diagrama bioclimático de Givoni; Temperatura Efetiva de Yaglou e Houghthen; Método de Fanger (PMV e PPD).

2.4.1. Carta Bioclimática de Olgyay

Os irmãos Olgyay (1963) foram os primeiros a aprofundar a noção de conforto térmico e tentar estabelecer relações desse conforto com os ambientes interiores nos edifícios e sugerem que seu diagrama seja utilizado principalmente para edifícios leves em regiões úmidas. O diagrama de Olgyay é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical o da temperatura do ar e o eixo horizontal o da umidade relativa do ar (Figura 2.1).

Na figura 2.1 mostra-se também as sensações fisiológicas das áreas periféricas, os limites da atividade ou de risco, dependendo das condições de calor e umidade, e a tolerância a baixas temperaturas quando se aumenta a resistência térmica da vestimenta.

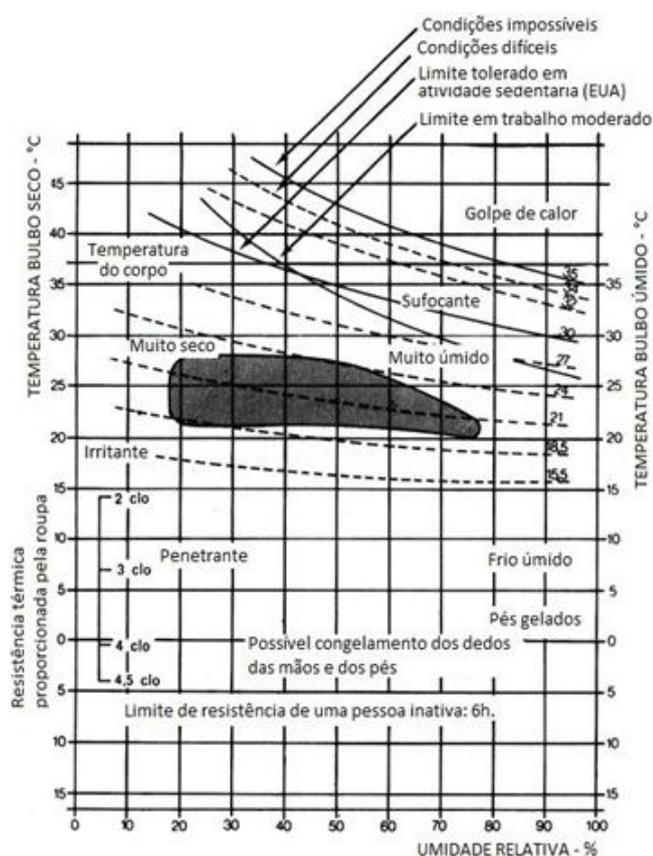


Figura 2.1 – Carta bioclimática de Olgyay
Fonte: IZARD; GUYOT, 1980.

A temperatura e umidade ambiente devem estar em sintonia com a atividade, bem como as vestimentas dos indivíduos. Para que ocorra a condição de conforto fora desses limites aceitáveis e combinados com os parâmetros entre si, algumas medidas devem ser adotadas. As

alternativas de correção são o aumento ou a diminuição da movimentação do ar, o sombreamento e o aumento ou a diminuição de radiação sobre os ocupantes.

Na figura 2.2 mostra-se o movimento da zona de conforto quando se aplicam medidas corretivas no ambiente, tais como: aumento da radiação incidente contra o frio; aumento da velocidade do vento contra o excesso de calor e umidade e evaporação contra o calor excessivo e a secura.

Entretanto, ela aplica-se estritamente para as condições externas. Olgyay (1963) justifica que em suas experiências as temperaturas internas foram muito próximas das temperaturas externas desconsiderando as características da edificação. Ele apresenta somente as estratégias de ganho solar, ventilação e resfriamento evaporativo. No entanto, uma metodologia completa deve apresentar procedimentos que permitam definir exigências e características da envoltória, mas essas proposições não aparecem na carta apresentada pelo autor. As vantagens desse método estão na possibilidade de comparar um ambiente construído com medições das variáveis climáticas externas e de se obter correções a serem adotadas para fazer com que o espaço interior fique confortável.

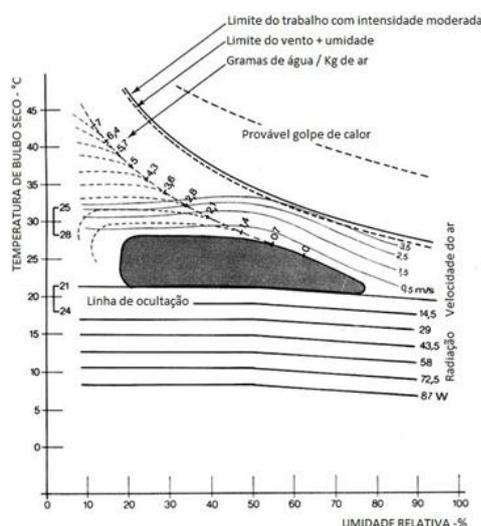


Figura 2.2 - Carta bioclimática de Olgyay com medidas corretivas
Fonte: IZARD; GUYOT, 1980.

2.4.2. Diagrama bioclimático de Givoni

Givoni (1969) desenvolveu uma carta bioclimática a ser empregada em edifícios para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por Olgyay (1963). A principal diferença

entre esses dois sistemas deve-se ao fato de que o diagrama de Olgyay (1963) é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical para temperatura enquanto a carta de Givoni (1969) é traçada sobre uma carta psicrométrica normal (Figura 2.3).

Segundo Givoni (1992) o diagrama de Olgyay é propício para as condições externas, entretanto existe uma incoerência quanto às estratégias de projeto sugeridas no diagrama para as condições internas. Segundo Barbosa (1997) os sistemas desenvolvidos por Olgyay e Givoni buscam ampliar a zona de conforto por meio da adoção de estratégias arquitetônicas que alteram a sensação do clima interno em estudo. Consta de um método de representação de algumas estratégias de controle ambiental, como a massa térmica da envoltória da edificação, o vento, o esfriamento evaporativo, o calor radiante, a umidificação, etc., que permitem o restabelecimento das condições de conforto no interior das edificações.

Esta zona de conforto foi desenvolvida por meio de um diagrama psicrométrico onde estão representados os limites de conforto, propriamente ditos, para usuários aclimatados, em repouso ou em atividade sedentária. Utiliza, como modelo biofísico, aquele que descreve os mecanismos de troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, o Índice de Stress Térmico (ITS). Este índice utiliza a temperatura de ar, umidade relativa do ar, movimento de ar, radiação solar, taxa metabólica e vestimentas como variáveis incluídas no cálculo.

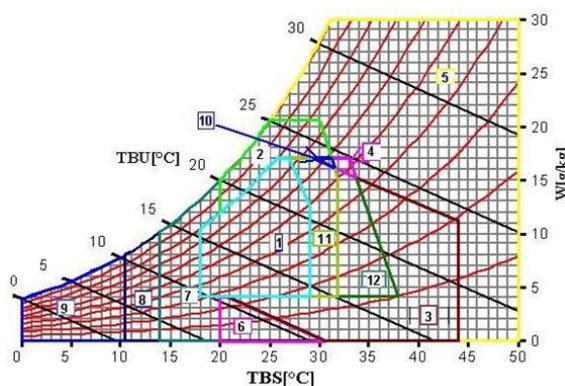


Figura 2.3 - Carta bioclimática GIVONI
Fonte: SCHUCH; LAMBERTS; DUTRA,1996.

Na carta de Givoni (1992) os limites originais de conforto foram determinados com base em pesquisas conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel, ou seja, países de clima temperado. Entretanto, considerando estudos realizados em países quentes e apoiando-se no fato de que as pessoas que moram em países em desenvolvimento com clima quente e úmido,

aceitam limites máximos superiores de temperatura e umidade, a atualização feita pelo autor em 1992 passa a sugerir a expansão destes limites para o caso, conforme mostra figura 2.4.

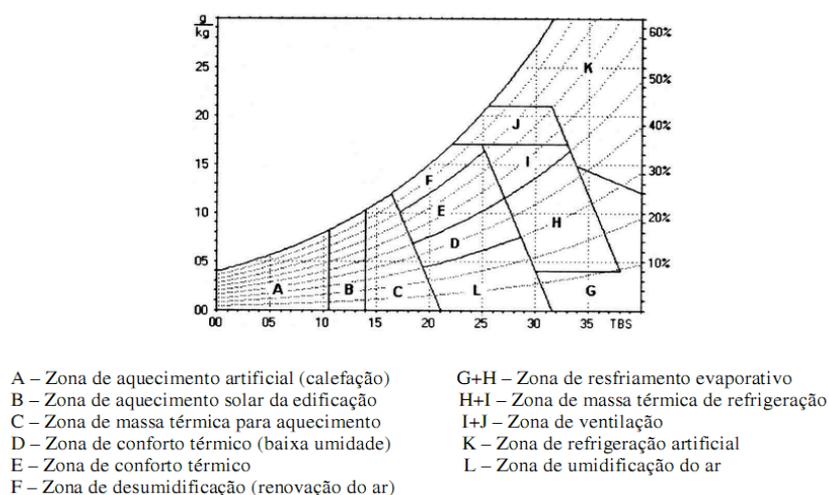


Figura 2.4 – Carta bioclimática baseada na carta de Givoni.
 Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

2.4.3. Método de Fanger

Um método muito conhecido é o método do Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote - PMV) desenvolvido por Fanger (1972). Este método foi adotado como base para o desenvolvimento de uma norma que especifica condições de conforto térmico para ambientes termicamente moderados (ISO 7730, 2006).

Fanger (1972) desenvolveu uma equação complexa para chegar a uma definição matemática do conforto térmico. A equação inclui seis variáveis que são essenciais para o conforto térmico humano. As quatro variáveis ambientais do modelo são a temperatura ambiente, a temperatura radiante, a umidade relativa e a velocidade do ar; o isolamento da vestimenta e o nível de atividade, por sua vez, são as outras duas variáveis.

O índice proposto por Fanger é baseado na formulação de uma equação de conforto térmico que correlaciona sensação térmica com a atividade metabólica do corpo humano, sendo que esta última é função da atividade realizada pelo indivíduo. A sensação térmica média das pessoas em um dado ambiente, segundo Fanger (1972), pode ser representada por meio do voto médio estimado do grupo, baseado em uma escala de 7 pontos de satisfação térmica (Tabela 2.1), expressando a porcentagem estimada de satisfeitos.

Tabela 2.1 - Escala de sensação térmica

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Confortável
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Fonte: ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004).

O índice PMV é derivado das condições do estado de equilíbrio, mas pode ser aplicado com boa aproximação durante menores flutuações de uma ou mais variáveis, desde que as médias ponderadas do tempo das variáveis durante o período anterior de 1 h sejam aplicadas. Pode-se determinar o PMV a partir da equação,

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036M) + 0,028]. \quad (2.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - T_{ar}) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{roupa} [(T_{roupa} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] - f_{roupa} \cdot h_c \cdot (T_{roupa} - T_{ar}) \end{array} \right.$$

$$T_{roupa} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{roupa} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{roupa} \cdot [(T_{roupa} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] + f_{roupa} \cdot h_c \cdot (T_{roupa} - T_{ar})\} \quad (2.2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} & \text{para } 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} & \text{para } 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$f_{roupa} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{roupa} & \text{para } I_{roupa} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{roupa} & \text{para } I_{roupa} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (2.4)$$

onde M é a taxa metabólica (W/m^2), sendo 1 MET = 58,2 W/m^2 ; W é a potência mecânica eficaz (W/m^2); I_{roupa} é o isolamento da roupa ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), sendo 1 clo = 0,155 $\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$; f_{roupa} é o fator de superfície do vestuário; T_{ar} é a temperatura do ar (°C); T_r é a temperatura radiante média (°C); V_{ar} é a velocidade relativa do ar (m / s); p_a é o vapor da pressão parcial da água (Pa); h_c é o coeficiente de transferência de calor convectivo [$\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$]; T_{roupa} é a temperatura superficial da roupa (°C).

usando um computador, ou diretamente do anexo E da norma ISO 7730 (ISO, 2006) e por medida direta, utilizando um sensor integrado (temperaturas equivalente e operativa). Ao definir $PMV = 0$ é estabelecida uma equação que prediz combinações de atividade, vestuário e parâmetros ambientais que, em média, proporcionam uma sensação térmica de neutralidade em relação ao ambiente.

O PMV pode ser usado para checar se um dado parâmetro está em conformidade com critérios de conforto térmico do ambiente, e para estabelecer requisitos para os diferentes níveis de aceitabilidade.

Fanger (1972) ampliou ainda o conceito do PMV para prever a proporção de um dado grupo de pessoas que ficariam insatisfeitas num dado ambiente. Essa condição de insatisfação das pessoas foi definida em termos dos votos de conforto. Assim, a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (Predicted Percentage of Dissatisfied- PPD) é definida em termos do PMV, por meio da equação,

$$PPD = 100 - 95 \exp[-0,03353PMV^4 - 0,2179PMV^2] \quad (2.5)$$

ou por intermédio da curva mostrada na figura 2.5. O percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) é um índice que estabelece uma previsão quantitativa do percentual de pessoas insatisfeitas termicamente quando sentem muito calor ou muito frio. Segundo a norma internacional ISO 7730 (ISO, 2006), pessoas termicamente insatisfeitas são aquelas que vão votar muito quente, quente, frio ou muito fria sobre a sensação térmica na escala de 7 pontos indicados, apresentados na Tabela 2.1.

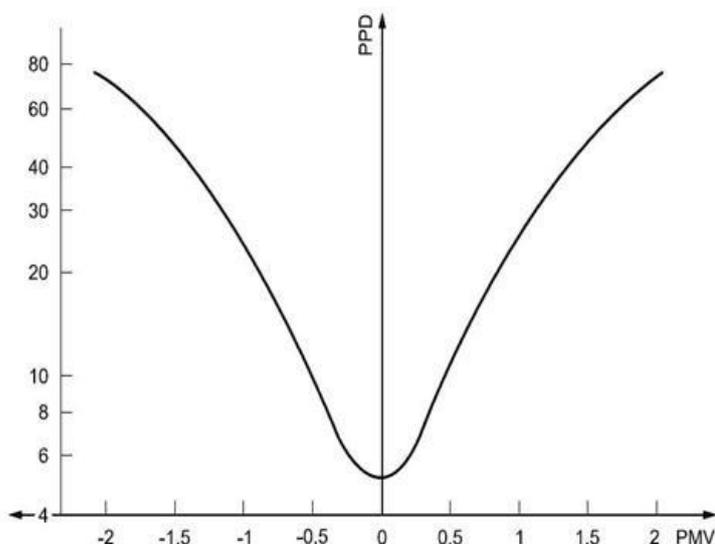


Figura 2.5 - PMV X PPD
Fonte: ISO 7730 (ISO, 2006)

2.4.4. Temperatura Efetiva

A temperatura efetiva foi o primeiro dos índices empíricos estabelecidos e foi inicialmente proposto por Houghten, Yaglou e Miller (1923). Concebido a princípio como um critério de avaliação de conforto térmico, o método está baseado no estudo das respostas de grandes conjuntos de pessoas que trabalham em ambientes com diferentes combinações de temperatura, umidade e movimentação de ar. A idéia fundamental do método foi de reunir, em uma única designação, ou seja, em um índice, todas as condições climáticas que produzem uma mesma ação fisiológica (ASHRAE, 2003). Este índice foi definido pela correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar (Figura 2.5).

Observa-se que a temperatura efetiva, medida pelo método dos dois termômetros (bulbo seco e bulbo úmido) não considera o efeito da radiação. Em ambientes onde a radiação for intensa, será necessário substituir o termômetro seco por outro chamado de termômetro de globo. A temperatura efetiva assim obtida chama-se temperatura efetiva corrigida (IIDA, 2005).

Uma outra proposta de correção para o índice de Temperatura Efetiva utiliza a temperatura do termômetro de globo em vez de temperatura de bulbo seco do ar, para base dos cálculos,

posto que a temperatura de radiação, sendo superior ou inferior à temperatura de bulbo seco do ar, proporciona alterações na sensação de conforto. (FROTA; SCHIFFER, 2007).

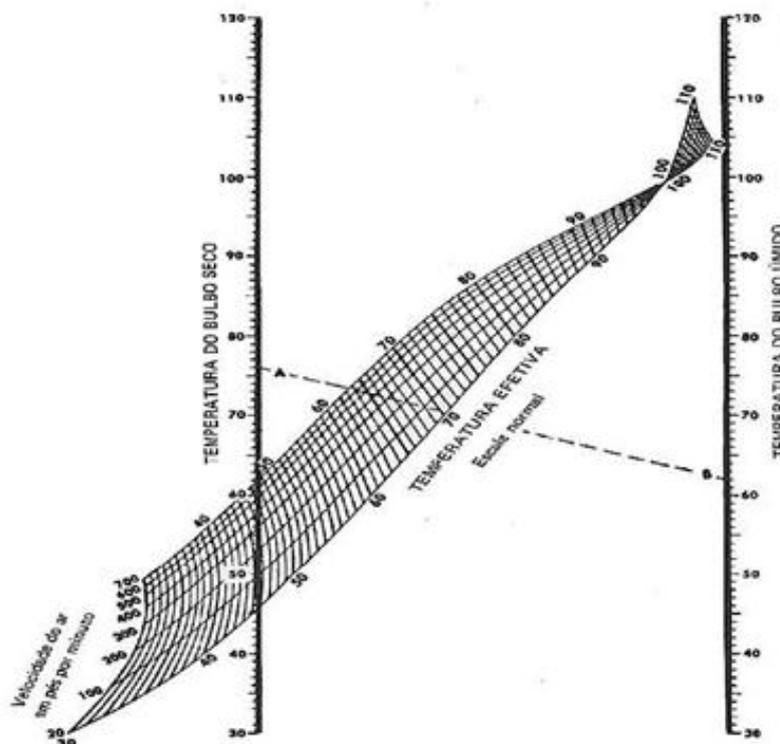


Figura 2.6 - Índice de temperatura efetiva (temperaturas em °F).
Fonte: ISO 7730, (ISO, 2006).

Esse nomograma mostrado na Figura 2.6, quando os dados disponíveis são de temperatura bulbo seco do ar, ou do termômetro de globo, umidade e velocidade do ar, é normalmente utilizado em conjunto com a Carta Psicrométrica, a qual fornecerá as correspondências entre a temperatura do termômetro de bulbo seco e a temperatura do termômetro de bulbo úmido, a partir dos dados de umidade relativa (FROTA; SCHIFFER 2007).

O Índice de Temperatura Efetiva leva em consideração os seguintes parâmetros: temperatura (bulbo seco), umidade relativa e velocidade do ar. Ele foi apresentado de forma que o seu valor pode ser determinado para qualquer combinação de temperaturas de bulbo seco e úmido e velocidade do ar. Foram pesquisados indivíduos do sexo masculino, que passavam de uma câmara de controle para uma câmara de teste adjacente, e então se comparava as sensações térmicas nos dois ambientes.

Um indivíduo pode se sentir confortável numa faixa larga de temperatura e existe uma faixa de modificação dentro da qual, ainda que a temperatura seja desconfortável, a sensação de desconforto não será imediata, e esta adaptação ao desconforto acontece de forma lenta e gradual (GONÇALVES; VALLE; GARCIA, 2001; FROTA; SCHIFFER 2007).

Como coloca Xavier (1999), mudanças bruscas de temperatura e temperaturas inesperadas (por exemplo, ondas de frio no verão e vice-versa) tendem a provocar sensações de insatisfação em relação ao ambiente e, provavelmente, deficiência na ação da tarefa.

Entretanto, conclui-se que em temperaturas acima de 30°C o homem já não se encontra mais apto a realizar sua atividade em ritmo normal: aumentam-se as pausas, e diminuem-se a velocidade da tarefa e a concentração (PIZARRO, 2005).

Antes do surgimento do condicionamento de ar, o excesso de calor era amenizado com elementos de sombreamento e a circulação do ar. Quando a umidade é moderada, os elementos de sombreamento e a circulação do ar oferecem o conforto necessário em temperaturas abaixo de 30⁰C (KEELER; BURKE, 2010).

3 - DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES

3.1. Eficiência Energética X sustentabilidade na construção

Em meados de 1970, a crise energética, fez com que a busca por meios de conservação de energia se intensificasse para assegurar o devido desenvolvimento econômico. A relação entre a energia consumida pela construção, o uso das edificações e os problemas ambientais do planeta é indiscutível. O dióxido de carbono e os demais gases do efeito estufa criam uma camada isolante ao redor da terra, concentrando o calor que vem do sol. Os níveis cada vez mais elevados de tais gases na atmosfera alteram os climas tanto globais como regionais.

A construção civil é considerada como responsável pelo consumo de uma parcela significativa de energia elétrica, consumo de materiais com alto nível de energia embutida, consumo de materiais com alta emissão de CO₂, produção de entulho, grande movimentação de terra, uso de transporte para materiais e entulhos. Diante disso, houve uma maior preocupação em avaliar o desempenho térmico das edificações no intuito de projetar ambientes confortáveis com consumo mínimo de energia elétrica.

A repetição contínua de projetos, cálculos não refeitos, falta de estudos no pré-projeto sobre implantação e condições de conforto ambiental têm gerado espaços desconfortáveis aos usuários e um considerável aumento no consumo de energia elétrica para o condicionamento dos ambientes. As exigências atuais relativas à conservação de energia e conforto humano apontam para projetos de edificações que apresentem um desempenho global adequado. A eficiência energética de uma edificação está associada à concepção de um projeto estrutural adequado e a um sistema de fechamento que apresente um bom desempenho térmico e acústico em relação às condições climáticas locais.

Além do sistema estrutural e tipologia construtiva, a eficiência global do ambiente construído é outro fator importante no projeto e construção de quaisquer habitações. Uma edificação projetada de forma adequada para o clima no qual está inserida torna-se mais confortável, ou menos desconfortável, além de economizar energia. Em relação à construção estruturada em aço, os sistemas de fechamento, superfícies que definem os espaços construídos de uma

edificação, são uma das etapas mais importantes no processo construtivo como um todo, pois estão diretamente ligados à imagem e ao conforto térmico e acústico de qualquer edificação.

Uma edificação possui sua arquitetura caracterizada pelo seu tipo, finalidade e utilização e essa arquitetura específica deve suprir os requisitos de maneira adequada e economicamente viável.

O aspecto econômico da sustentabilidade das edificações apresenta vantagens da redução de custos, de forma mais representativa, na fase de utilização. Estas se verificam dentro do ciclo de vida da edificação, considerando o custo de energia, utilização de água, mão-de-obra para manutenção, troca de componentes, equipamentos, dentre outros (OLIVEIRA, 2006).

Antes de se transformar em calor, frio, movimento ou luz, a energia sofre um percurso mais ou menos longo de transformação, durante o qual uma parte é desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor, nem sempre é devidamente aproveitada. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação: desde que a energia é transformada e, mais tarde, quando é utilizada. Edifícios inteligentes podem ser considerados as construções racionais, com pouco impacto ambiental e energeticamente eficientes.

Segundo Grillo (2005) novos conceitos de projetos sustentáveis indicam as possibilidades de integração da natureza com os materiais e técnicas construtivas, resultando em ambientes confortáveis, energeticamente eficientes e com baixo custo de manutenção. Neste contexto, deve-se colocar a importância da captação de água da chuva e da energia solar.

A ideia de eficiência energética na construção civil representa o desenvolvimento de projetos para construção de edifícios inteligentes, com alternativas que contribuam para menor impacto ambiental e menor desperdício. Hoje, muitas construções e projetos estão adotando medidas alternativas que possam aproveitar água das chuvas; energia solar; ambientes com ventilação natural; materiais alternativos como o bambu, garrafas de plástico e materiais recicláveis para uma construção sem poluição.

3.2. Construção Sustentável

A economia também enfrenta muitos desafios em razão das mudanças climáticas que afetam os recursos hídricos, a agricultura, as florestas o habitat natural de inúmeras plantas e animais nativos. A elevação do nível dos mares, que decorre da emissão descontrolada de gases do efeito estufa, causará enchentes e deixará muitos desabrigados em várias áreas costeiras.

Para enfrentar o aquecimento global e chegar à sustentabilidade ecológica, será preciso mudar muita coisa além do nosso modo de construir. Não existem edificações sustentáveis, mas sociedades sustentáveis. No entanto, projetar edificações que consomem muito menos energia é essencial para vencer os desafios ambientais (KEELER; BURKE, 2010).

O crescimento populacional, o adensamento de construções e a mudança radical da paisagem, têm caracterizado o processo de urbanização em escala mundial nas últimas décadas. Na década de 1950 um terço da população mundial residia em cidades. Neste crescente cenário de urbanização, impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes da interação com eventos hidrológicos têm sido recorrentes, afetando grande parte da população. O conjunto dos impactos ambientais e em especial nos recursos hídricos derivados das aglomerações populacionais e do seu contexto urbano tem demandado de forma contundente a busca por soluções que, forçosamente não se limitam ao campo restrito de uma disciplina ou de análises isoladas. Tem-se que lidar com uma tarefa planetária: tentar equilibrar a energia, as emissões e os fluxos de água.

A construção sustentável é um produto da moderna sociedade tecnológica e visa causar o menor impacto tanto na construção como na manutenção dos empreendimentos utilizando-se de recursos naturais locais de forma integrada ao meio ambiente em que está inserida. Tal modelo de construção utiliza materiais ecológicos e soluções tecnológicas inteligentes, que promovem a redução da poluição, o bom uso, a economia de água, de energia e o conforto de seus usuários.

A boa notícia é que se tem tudo o que é necessário para enfrentar o desafio do aquecimento global. Têm-se todas as tecnologias que se precisa; outras mais estão sendo desenvolvidas. E

a medida que se tornam disponíveis e ficam mais baratas quando produzidas em escala, essas tecnologias facilitarão o trabalho. (KEELER; BURKE, 2010).

Ao considerar o desempenho energético, o projeto tem como objetivo reduzir o consumo de energia da edificação em 50% em relação consumo médio de energia de edificações semelhantes em sua região. Para demonstrar o cumprimento da meta é possível utilizar desde uma lista simples de estratégias de projeto de baixo consumo de energia até um modelo energético simples do projeto via simulação numérica. O objetivo deve ser maximizar a eficiência dos sistemas da edificação, buscando interações complementares que reduzam o lixo e os efluentes usando, a capacidade térmica residual de um sistema para pré-aquecer outros. Isso envolve usar equipamentos extremamente eficientes, dimensionar os sistemas de modo adequado e incorporar energias renováveis assim que os demais sistemas forem aprimorados.

Para utilizar os recursos com inteligência, é preciso maximizar seu potencial a fim de aumentar a eficácia e a eficiência e reduzir ou eliminar o desperdício. Devemos propor soluções como sistemas de armazenagem de água, soluções de tratamento de água no terreno e na própria edificação. Para fins de projeto integrado, as estratégias de conservação de água giram em torno do lançamento do esgoto, da preservação da paisagem e do manejo dos recursos hídricos. Os projetos de estacionamento com piso asfáltico escoam a água da chuva para o coletor pluvial, impedindo que ela seja aproveitada para os outros usos. Já os projetos com superfícies porosas deixam que água passe para o lençol freático, o que contribui para eficiência do ciclo da água.

Para diminuir o impacto ambiental, uma edificação precisa-se solucionar mais do que um problema ambiental:

- demolição no terreno e resíduos da construção;
- eficiência na utilização de recursos;
- minimizar o impacto da mineração e do extrativismo na produção de materiais; contribuir para a recuperação destes recursos naturais.
- reduzir o consumo de solo, água e energia durante a manufatura dos materiais, a construção da edificação e a utilização por seus usuários;
- baixa energia incorporada durante o transporte dos materiais ao terreno;

- conservação de energia e projetar visando ao consumo eficiente de energia na alimentação dos sistemas de calefação refrigeração, iluminação e força;
- oferecer qualidade do ar interno;
- evitar o uso de materiais de construção e limpeza que emitam compostos orgânicos voláteis;
- evitar o uso de equipamentos que não controlem ou não filtrem de maneira adequada a entrada ou produção de particulados;
- controlar a entrada de poluentes externos por meio de filtragem de ar, ventilação;
- projetar uma conexão com o exterior que forneça ventilação natural, iluminação diurna, e vistas para o exterior.

O objetivo da construção sustentável é transformar a construção das edificações em uma arquitetura neutra em carbono, desenvolver a capacidade de produzir no mínimo a energia que será consumida, limpar e fornecer água potável que será consumida, oferecer ambientes saudáveis, seguros e não tóxicos para os usuários, e, ao mesmo tempo, fazer com que o projeto e as operações tenham um consumo líquido zero de energia.

Um projeto sustentável vai mais além do que o aproveitamento de água de chuva, da ventilação natural e do uso da energia solar. Para receber esta credencial de empreendimento sustentável, o projeto precisa ser: ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente aceito.

O termo ecologicamente correto está no uso racional de todos os recursos que o meio ambiente proporciona, minimizando os impactos ecológicos negativos e potencializando os positivos sobre todas as etapas; economicamente viável relaciona-se ao tempo em que ele precisa ser economicamente viável, trazendo o justo retorno a seus acionistas e investidores no curto, médio e longo prazos; e por socialmente justo e culturalmente aceito entende-se aqui o compromisso com o respeito à comunidade local bem como a disseminação do conhecimento adquirido e aplicado ao projeto, contribuindo para o crescimento de todas as pessoas envolvidas.

A obra sustentável deve aproveitar os recursos naturais (como por exemplo, iluminação natural), racionalizar o uso de energia, prover sistemas e tecnologias que permitam redução no

consumo de água (reuso, aproveitamento da água de chuva), contemplar áreas para coleta seletiva de lixo (reciclagem) e criar ambientes saudáveis, utilizando tecnologias para regular acústica e temperatura.

3.3. Estratégias para construção eficiente energeticamente

Em suma, as metas energéticas de projetos habitacionais se apoiam em cinco elementos (KEELER; BURKE, 2010):

- o uso do projeto responsivo ao clima, que incorpora técnicas passivas para reduzir o consumo de energia associado à calefação, a refrigeração e ao aquecimento de água;
- a utilização de sistemas de fechamento externo capazes de criar uma separação térmica e acústica adequadas entre o interior e o exterior por meio de estanqueidade ao ar, isolamento térmico, eliminação de pontes térmicas e acústicas, isolamento acústico seleção de materiais de acabamento externos adequados, localização e uso de janelas e vidros de alto desempenho apropriados;
- a possibilidade de controle da ventilação;
- o uso de equipamentos bem-dimensionados para fins de calefação e refrigeração, bem como a escolha de equipamentos e eletrodomésticos eficientes em energia;
- a maximização do consumo de energias renováveis para suprir as demandas energéticas remanescentes;
- O aproveitamento adequado da radiação solar.

3.3.1. Iluminação Natural

Um dos componentes do conforto visual é a ergonomia visual, que defende que o projeto do ambiente interno é capaz de criar a iluminação correta para cada tarefa. Entre os fatores que podem prejudicar o conforto e a eficiência visual encontram-se o ofuscamento, a iluminação artificial incorreta, a cor, a textura, o contraste e a luminosidade do ambiente.

É possível, economizar energia pela redução das cargas de iluminação elétrica artificial usando-se claraboias com sensores de luz, os quais acionam a iluminação artificial quando os

níveis de luz natural diminuem até certo ponto. Outra estratégia de projeto consiste em se instalar sensores nas luminárias próximos às fontes de iluminação natural, desligando-as quando os níveis de luz alcançam uma determinada intensidade. Além de expandir o consumo de energia da edificação, esse equilíbrio maximiza a eficácia dos sistemas complementares e bem projetados.

As técnicas necessárias para um projeto de iluminação natural de qualidade são usadas durante as etapas de definição da implantação, dos fechamentos externos e internos, e dos materiais. As boas estratégias de iluminação natural envolvem decisões de projeto tanto na arquitetura propriamente dita como na implantação da edificação. A edificação deve possuir eixo principal leste-oeste, com fontes de luz natural em mais de uma fachada lateral e plantas baixas estreitas, o que maximiza a iluminação e minimiza os ganhos térmicos. É importante considerar como a iluminação natural entrará no cômodo e como a luz solar direta será barrada.

É possível projetar sistemas de proteção solar integrados à pele da edificação, tanto no interior como no exterior, ou apenas aos interiores. Existem no mercado brises e persianas com controles que permitem a entrada de diferentes níveis de luz. Alguns sistemas de proteção mais sofisticados apresentam controles que reduzem automaticamente os níveis de iluminação elétrica. As estratégias passivas de controle da luz, por sua vez, incluem tirar proveito de características do terreno, como as árvores. Os brises oferecem um controle mais dinâmico, pois conseguem, inclusive, acompanhar o movimento aparente do sol com base no horário e na estação com o auxílio das leituras precisas das cartas solares seja durante os meses de inverno, com sol baixo, seja durante os meses de verão, nos quais os ângulos são maiores.

Combinar os controles de iluminação natural e artificial também é fundamental. Uma alternativa é usar sistemas de dimerização (amortecimento de luz) incluindo a regulação manual simples, *dimmers* progressivos automáticos, que variam de 100 a 50%, ou *dimmers* contínuos que cobrem todo o percentual utilizando sensores ou seguindo horários pré-determinados. As demais técnicas incluem sistemas de desligamento automático e outros mais sofisticados com sensores foto celulares (KEELER; BURKE, 2010).

3.3.2. Radiação Solar

Conforme o clima e as variações climáticas, o ser humano age no sentido de adequar-se, variando desde suas vestimentas até suas construções e o seu modo de vida. A história mostra que no mundo antigo, as soluções arquitetônicas já incorporavam conhecimentos da geometria da insolação. Por exemplo, um templo cujo altar fica iluminado pelo sol em determinado dia de reconhecida importância como se pode encontrar nas arquiteturas Egípcia, Inca, Maia (FROTA, 2004).

A geometria da insolação representa um importante instrumento de projeto e o desempenho térmico da edificação depende diretamente de sua aplicação. O conhecimento da geometria da insolação, de como o sol percorre o céu de determinada localidade em função do dia/mês do ano, de quanto tempo ele fica acima do horizonte é essencial para projetar, aproveitando o calor solar quando houver interesse em aquecer e evitando ou protegendo as construções, quando o clima for quente ou na estação quente.

A posição do sol relativamente a um ponto da Terra varia ao longo do dia e ao longo do ano. Um observador situado num ponto da superfície terrestre vê o sol tomar diferentes posições no seu horizonte visual durante o dia, devido ao movimento de rotação da terra em torno do eixo polar. Também notará que no verão o sol atinge posições mais altas que no inverno devido ao movimento de translação em torno do sol, conforme representado na figura 3.1.

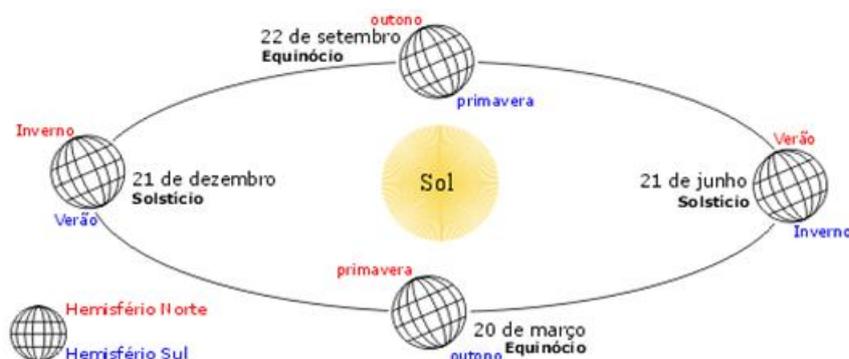


Figura 3.1- Solstícios e equinócios
Fonte: SOLSTÍCIOS..., 2012.

Ao movimento diário do sol percebido na esfera celeste como circunferência, denomina-se trajetória aparente do sol. Assim, pode-se determinar uma trajetória aparente do sol para cada dia do ano em função de cada latitude diversa da terra. O movimento aparente do sol ao longo do dia e do ano, é semelhante ao de uma espiral quase paralela, que se desenvolve, em ir do sul para o norte e norte para o sul constante, limitando-se ao trópico de câncer – latitude $23^{\circ} 30' N$ – no Hemisfério norte e ao trópico de capricórnio – latitude $23^{\circ} 30' S$, no hemisfério sul passando duas vezes por ano sobre o Equador (FROTA, 2004).

Nos solstício de junho quando o sol fica a pino (90 graus com a terra), ao meio dia, sobre o trópico câncer, é verão no hemisfério norte e inverno no hemisfério sul e a região polar sul não recebe sol enquanto a região polar norte recebe sol o dia todo.

Em 21 de março e 24 de setembro datas dos equinócios, o sol descreve sua trajetória em torno do equador terrestre, permanecendo 12h acima do horizonte e 12h abaixo, dia é igual a noite, o que ocorre em todo o planeta, ainda que sol seja visto em posições diferentes com inclinações menores à medida que o ponto da terra se afaste do equador, e mesmo quando tal ponto sejam os pólos, que nestas datas, observam apenas uma metade do sol se deslocando na linha do horizonte.

No solstício de dezembro quando o sol fica a pino ao meio dia, sobre o tropico de capricórnio, é verão no hemisfério sul e inverno no hemisfério norte, a região polar norte não recebe sol, enquanto a região polar sul recebe sol o dia todo.

Segundo escreve Olgyay. (1973): “geralmente, a transferência de radiação calorífica que afeta a edificação se divide em cinco tipos diferentes”, a saber:

- 1) radiação de onda curta direta do sol;
- 2) radiação difusa de onda curta procedente da abóboda celeste;
- 3) radiação de onda curta produto da reflexão nos terrenos adjacentes;
- 4) radiação de onda longa procedente do solo e dos objetos próximos cuja temperatura é elevada;
- 5) radiação de onda longa expedida em intercâmbio entre o edifício e o céu;

As duas primeiras formas são a radiação direta do sol e a radiação difusa do céu. A terceira e a quarta se referem às questões do entorno próximo ao edifício, e a última trata do calor emitido pela própria edificação.

O sol, ao incidir sobre uma superfície vai aquecê-la em função da intensidade com que chega a esta superfície e também de acordo com as características térmicas do material e do acabamento superficial. Ao incidir sobre um material opaco, reflete parte da radiação solar, ou volta para a atmosfera que é relativamente transparente a ela, ou até reirradia sobre outras superfícies aquecendo-as, porém com menos intensidade.

Esse fenômeno chamado reflexão, ocorre essencialmente em função da cor da superfície exposta, por exemplo, a cor branca reflete muito. Em menor escala, um edifício recebe o sol refletido de fachadas de outros prédios para o seu interior.

Outro fenômeno de trocas térmicas superficiais que ocorre simultaneamente é absorção da radiação solar. Todo material opaco ao ser submetido a incidência da radiação solar, reflete uma parcela e absorve outra. Assim, se o branco reflete 95%, absorve 5% da radiação solar, ficando a superfície sujeita a um pequeno acréscimo de temperatura. Por outro lado, uma superfície preta que reflete apenas 10% da radiação solar incidente, absorve 90% e sofre um significativo aquecimento, podendo passar a emitir bastante calor radiante. Esta radiação é de baixa temperatura com relação ao sol, mas significativa na escala de temperatura ambiente.

O ar muito úmido dificulta a passagem da radiação solar. As perdas térmicas noturnas também ficam reduzidas pela mesma dificuldade, só que com fluxo no sentido contrário. A vegetação tem um importante papel no efeito da radiação solar e na consequente temperatura do ar de um lugar. A vegetação absorve cerca de 90% da radiação visível, 60% na região do infravermelho e reflete ou transmite através de suas folhas o restante do espectro da radiação. Também na umidade a vegetação tem seu papel, com o processo de evapotranspiração.

O maior ou menor aquecimento de um determinado ponto da superfície da terra depende primeiramente das condições geométricas de exposição à radiação solar. Isso depende da latitude que vai determinar os ângulos de incidência do sol e o período de permanência do sol acima do horizonte do lugar.

Para proteger a envoltória de uma edificação, seja com elementos construídos, seja com vegetação, é necessário determinar a posição do Sol, para o local em questão, na época do ano

em que se deseja barrar seus raios diretos. Para tal, tem-se que recorrer a algumas noções básicas da Geometria da Insolação, a qual possibilitará determinar, graficamente, com o uso das cartas solares, os ângulos de incidência do Sol, em função da latitude, da hora e da época do ano.

Os instrumentos disponíveis para os estudos de geometria da insolação são as cartas solares e alguns transferidores de ângulos. As cartas solares consistem na representação gráfica das trajetórias aparentes do Sol, projetadas no plano do horizonte do observador, para cada latitude específica (ANEXO C).

Os usos mais correntes da geometria da insolação em projetos são determinação de tempos de insolação em fachadas, traçado das sombras, penetração de sol pelas aberturas, traçado de Máscaras, projeto de brise-soleil, ajuste de valores de radiação solar incidente.

Estudos como esses são úteis, para se ter um panorama que permita análises a cerca de localização de piscinas, churrasqueiras, *playgrounds* ou jardins, outros equipamentos e usos no entorno do prédio, visualizar como o sol penetra em um recinto, nas diversas épocas do ano, verificar quão séria pode ser tal penetração de sol, para decidir sobre a necessidade de alterar as características da abertura, mudando de posição, reduzindo ou aumentando sua área, prevendo a instalação de dispositivos de proteção interna – cortinas, persianas – alterando a especificação do vidro ou providenciando uma proteção externa tipo quebra-sol fixo ou regulável.

O efeito do mascaramento vai ser diferente, à medida que se varia a implantação do conjunto com relação ao Norte. Para uma mesma orientação seu efeito também vai sofrer variação em função da latitude do lugar.

Estes estudos geométricos devem ser feitos para alguns pontos da fachada de um edifício, a serem escolhidos conforme suas dimensões e os significados das obstruções. Para posterior estudo de proteção solar com brise-soleil, é sempre interessante verificar o efeito de mascaramento que prédios vizinhos podem estar provocando.

O mascaramento é o único para o observador que ocupe tal posição, em qualquer ponto da terra. A porção de céu visível é sempre a mesma. O que pode variar é a influência da

obstrução representada por cada prédio, em função da posição do norte verdadeiro e da latitude. Para verificar tal questão, a máscara deve ser sobreposta à carta solar.

Elementos incorporados à própria construção também podem “mascarar” porções de céu desde os beirais de telhados, marquises, varandas, sacadas, outras partes da própria construção e até dispositivos quebra-sol existentes, com o único objetivo de proteção solar.

Todo brise-soleil deve, de preferência, ter a face que recebe o sol, clara, ser composto de material isolante térmico, e ter superfície da face oposta com acabamento de baixa emissividade. A face externa sendo de cor clara sofre pequeno sobreaquecimento; o material, sendo isolante, transmite pouco do pouco calor solar absorvido; deste, pequena parcela é emitida para o lado interno do brise.

Estes sistemas de proteção solar podem ser fixos ou móveis. Os sistemas móveis podem ser mecânicos, elétricos, comandados em função da incidência do sol ou da intensidade luminosa ou da temperatura.

Brises também podem ser instalados entre dois vidros ou no lado interno da janela. Entretanto, em termos decrescentes de eficiência, a ordem é a seguinte: proteção solar externa, proteção solar entre dois vidros, proteção solar interna (FROTA, 2004).

Também materiais semitransparentes ou translúcidos, vidros, policarbonatos, assim como telas, elementos vazados, podem ser utilizados como brise-soleil, em função do clima, da área das aberturas, da orientação solar, entre outras razões.

Os passos requeridos para se projetar um brise-soleil são os seguintes:

- verificar a latitude do lugar onde está ou será construído o prédio;
- usar a carta solar referente a latitude ou cuja latitude se aproxima da do lugar;
- ter, na planta, a posição do norte verdadeiro;
- determinar, para cada orientação de fachada vertical, a metade da carta solar relativa ao céu visível por essa fachada;
- caso haja construções, árvores ou qualquer volume obstruindo a “visão” do entorno, é necessário que se desenhe a máscara de eficiência total produzida por tais obstruções;

Faz-se uma primeira análise da região da carta a ser “mascarada”, de modo a compreender-se qual tipo de proteção é aplicável ao caso:

- se é uma região do céu mais próxima ao zênite, a proteção deve ser feita com elemento horizontal;
- se esta região se estende igualmente para a esquerda e para a direita da normal a cada umbral da janela, isso significa que a placa horizontal deve se estender, mais, ou menos, para a esquerda ou para a direita da janela;

O brise-soleil (Figura 3.2), representa um dispositivo cuja função é sombrear, com o objetivo de reduzir a incidência de sol sobre uma construção ou sobre espaços exteriores, de modo a obter-se melhores condições de temperatura e controle de incidência de luz solar que pode provocar problemas tanto de iluminação – contrastes e ofuscamentos- e de sobreaquecimento. Bem estudado sob o ponto de vista geométrico, representa importante recurso para o controle de ganhos de calor, com redução nos sistemas de ar-condicionado e consequente conservação de energia. Sendo uma proteção bem dosada, pode permitir adequado uso da luz natural com aproveitamento da luz refletida por seus elementos.

A proteção solar das edificações pode ser:

- externa, controlando a radiação antes que ela atinja o corpo da edificação, podem ser fixas ou móveis;
- entre dois vidros, geralmente feita com persianas reguláveis;
- interna, representada por cortinas.



Figura 3.2 - Brises em fachadas
Fonte: VENTILAÇÃO NATURAL..., 2012.

As condições de insolação dos vãos envidraçados são fortemente condicionadas não só pela sua orientação, mas também pelas obstruções à radiação solar direta. Estas obstruções podem resultar de edifícios fronteiros aos vãos, de palas ou outras saliências do próprio edifício e de vegetação. Em casos correntes, procura-se maximizar a insolação dos vãos envidraçados nos períodos frios e em minimizá-la nos períodos quentes. Para a utilização de dispositivos de sombreamento, torna-se necessário conhecer com exatidão a trajetória aparente do sol ao longo do ano em cada ponto do nosso planeta, sendo só assim possível, um correto e eficaz dimensionamento destes elementos (CUNHA, 2005).

O correto dimensionamento dos dispositivos de proteção solar são de grande importância na redução da carga térmica oriunda da radiação solar incidente em superfícies envidraçadas e, conseqüentemente, na utilização do ar condicionado.

3.3.3. Ventilação Natural

Com frequência, toldos eram abertos sazonalmente sobre as janelas buscando criar sombras. Para permitir a ventilação, janelas de abrir eram distribuídas em diferentes alturas das edificações. Quando a ventilação cruzada, gerada pelo vento, não estava disponível, eram usadas janelas e ventiladores de teto para provocar a circulação do ar. Era possível melhorar o ambiente interno até quando a temperatura do ar e a umidade estavam altas, ainda que isso não fosse suficiente para atender as exigências dos usuários de edificações atuais (KEELER; BURKE, 2010).

O uso de ventilação natural nos ambientes pode contribuir para a redução da temperatura interna, além de contribuir para a higiene e qualidade do ar (Figura 3.3). A configuração do fluxo de ar no interior de uma construção é determinada pelo tamanho e a localização das aberturas de entrada de ar na parede; o tipo e a configuração das aberturas usadas; localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais adjacentes a elas. A ventilação é um dos componentes importantes na dispersão de poluentes aéreos gerados pelas atividades do homem e na renovação do ar viciado de ambientes fechados (ATAÍDE, 2008).

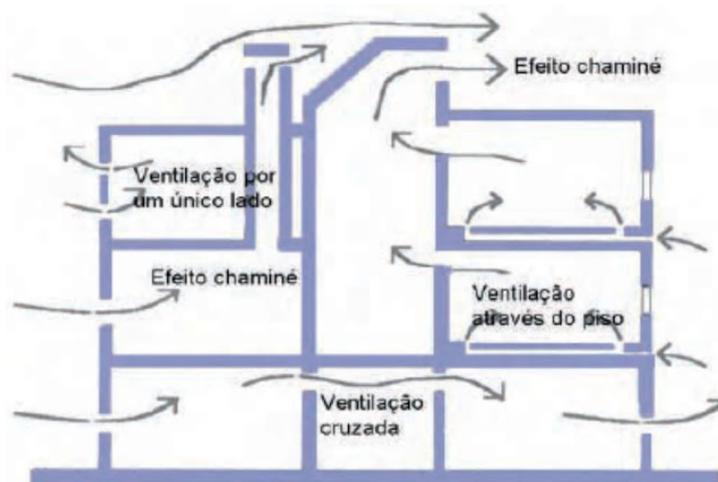


Figura 3.3- Efeito chaminé: tipos de ventilação
 Fonte: VENTILAÇÃO NATURAL..., 2012.

3.3.4. Envoltória externa

A maior fonte individual dos ganhos térmicos da envoltória externa do prédio é a radiação solar que entra pelos vidros. Para obter um desempenho energético excelente, os arquitetos de grandes edificações não habitacionais devem se concentrar nos ganhos térmicos que advêm do Sol ao longo do ano inteiro, em vez de apenas rejeitar o calor no verão e admiti-lo no inverno. Sempre que as cargas internas são reduzidas com o uso da iluminação natural e do controle das cargas dos eletrodomésticos, as estratégias de projeto passivo e de baixo consumo de energia podem reduzir ainda mais a demanda energética.

Em salas de aula ou escritórios, a luz solar direta pode causar ofuscamentos que praticamente impossibilitam a visualização do quadro ou do monitor do computador. As janelas simples e as esquadrias sem isolamento levam as perdas e ganhos térmicos indesejados nas aberturas, o que resulta no aumento do uso de energia para fins de calefação e resfriamento. É possível aprimorar o desempenho térmico das janelas que contém um conjunto hermético de duas ou mais chapas de vidro, ou vidro e películas de poliéster, substituindo-se o ar da câmara por um gás injetado. O enchimento da câmara por um gás mau condutor térmico, como o argônio ou o criptônio, reduz a transferência térmica no espaço. Por ser mais barato, o argônio é usado com mais frequência. O criptônio, por sua vez, tem um melhor desempenho térmico, mas sua produção é mais cara. Ambos os gases são atóxicos, incolores e inodoros (PIZARRO, 2005).

As janelas grandes exigem mais controle. Os prédios com pele de vidro exigem sistemas complexos para se controlar o ofuscamento e os ganhos térmicos. Quanto maior a área de vidro na zona de visão abaixo dos 2,10 m, menores devem ser a transmitância visível e o coeficiente de ganhos térmicos solares do material. Considere a criação de uma faixa da janela para a luz natural acima dos 2,10 m, de maneira a fornecer uma iluminação contínua e homogênea (PIZARRO, 2005).

Os elementos de sombreamento impedem os ganhos térmicos. Eles também são fundamentais para se criar um ambiente visual confortável, pois, além de limitar a luz do sol direta, equilibram os níveis de luz em toda a zona iluminada naturalmente mediante a redução drástica de tais níveis perto da janela. Após anos de pesquisa, foi criado um vidro inteligente capaz de alterar os graus de transmitância visível e solar de acordo com a luz do sol (KEELER; BURKE, 2010).

A massa térmica dos fechamentos externos em edificações, quando bem-sombreadas, absorvem o calor interno, melhorando as condições de conforto e reduzindo a necessidade de resfriamento (KEELER; BURKE, 2010). Enquanto conferem uma sensação de bem-estar, as paredes vivas também aumentam a qualidade do ar e a eficiência energética.

As coberturas escuras absorvem a radiação solar e ficam muito mais quentes que a temperatura do ar ambiente. O calor absorvido pela cobertura é conduzido pelo seu sistema, o que esquenta o interior e aumenta a carga de refrigeração da edificação. O ideal é que as coberturas permaneçam frias quando conseguem refletir a radiação em vez de absorvê-la. Os materiais de cobertura com refletividade e emissividade igualmente altas reduzem a temperatura do local e a transmissão de calor para o interior. Quanto mais alto for o valor, maior será a refletância ou a emissividade, e, conseqüentemente, mais frio ficará o material.

As coberturas frias são benéficas até em climas frios pois o sol fica mais baixo no céu e se mantém acima do horizonte por menos horas nos meses de inverno em relação ao verão, as coberturas absorvem muito menos calor. Embora as coberturas frias reduzam os ganhos térmicos no inverno, tal redução é muito inferior a que ocorre no verão, quando os ganhos são indesejáveis. Ainda que não substituam o isolamento térmico, as coberturas frias ajudam a melhorar o desempenho da envoltória externa da edificação. É importante observar que o

projeto do sistema de cobertura como um todo determina o desempenho térmico da cobertura propriamente dita.

3.4 Retrofit

O termo Retrofit surgiu na Europa e nos Estados Unidos, e tem o objetivo de revitalizar antigos edifícios, aumentando sua vida útil, por meio da incorporação de tecnologias modernas e utilização de materiais avançados.

Jesus (2008) define *retrofit* como a troca ou substituição de componentes ou subsistemas específicos de um edifício que se tornaram inadequados ou obsoletos, seja pelo passar do tempo ou em função da evolução tecnológica ou de novas necessidades dos usuários.

Conforme a opinião de vários autores como: Lanzinha, Freitas e Gomes de Portugal, Silva e Franco, Croitor e Melhado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP); Barrientos e Qualharini; Vale, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Malheiros, Phlipi, Coutinho; Silva, V G., Silva, M.G; John, V.M., Agopyan, V., Sato, N.; Aguiar, Cabrita e Appleton. Todos consideram que muitas edificações em uso necessitam de intervenção, devido algum tipo de deficiência em sua construção, ou mesmo pela existência de problemas de funcionamento devido a sua estrutura etária. O desenvolvimento sustentável quando articulado à construção civil enfrenta o desafio da busca de novas práticas e tecnologias que proporcionem a redução de resíduos e da poluição, o melhor aproveitamento dos recursos como energia e água, diminuição de consumo de matéria prima, desenvolvimento de projetos que aprimoram as condições de segurança e saúde dos usuários (MORAES, 2011).

Segundo Florim (2004), há um crescente interesse na redução dos impactos ambientais associados ao setor da construção civil, seja na fase de produção de materiais e componentes para edificação, seja na construção, no uso ou na demolição da mesma.

Segundo Santos (2009), gestores da construção civil têm um papel fundamental na busca por sistemas construtivos apropriados e medidas ambientalmente corretas, tais como: planejamento sustentável da área construída; eficiência energética e emprego de energia renovável; economia de água e eficiência em sua utilização; escolha de materiais de origem

certificada e com baixas emissões de CO₂ e redução do volume de lixo e maior facilidade de reciclagem e o uso do processo do *retrofit* arquitetônico.

O *retrofit* difere substancialmente da simples restauração, que consiste na restituição do imóvel à sua condição original, ou da reforma, que visa à introdução de melhorias, sem compromisso com suas características anteriores. Ele consiste em conservar a estrutura original do edifício, acrescentando a ela materiais e equipamentos modernos.

O *retrofit* não se refere a uma reforma, mas sim a uma troca ou substituição de componentes específicos de um produto, que se tornaram inadequados ou obsoletos com o passar do tempo ou em função de evolução tecnológica (MORAES, 2011) .

Com a tradução literal de “colocar o antigo em boa forma”, o termo retrofit tem sido amplamente empregado com o sentido de renovação, de atualização, mas mantendo as características intrínsecas do bem retrofitado. Não se trata simplesmente de uma reconstrução, pois esta implicaria em uma simples restauração. Ao invés disto, busca-se o renascimento. No mundo da construção, a arte de retrofitar está aliada ao conceito de preservação da memória e da história.

O SECOVI-SP indica duas situações básicas em que o Retrofit é aplicável, quando a recuperação reduz custo em comparação a uma construção nova e quando, no caso de uma edificação histórica, essa intervenção cria condições para novas funções e facilita o seu uso.

Retrofit exige que se encontrem soluções integrais para as fachadas, instalações, elevadores, proteção contra incêndio e outros itens, ele deve buscar a eficiência, pois é mais difícil do que iniciar uma obra, por conta das limitações físicas da antiga estrutura. A redução do prazo e a adequação geográfica do imóvel servem de estímulo à adoção dessa prática.

Como referência em intervenções nacionais e internacionais, o termo *retrofit* arquitetônico é uma oportunidade de negócios, uma solução para revitalização de áreas urbanas e atualização das edificações, com sua infraestrutura obsoleta e equipamentos ultrapassados (MORAES, 2011).

4. METODOLOGIA ADOTADA

Neste trabalho a pesquisa foi realizada na população universitária que frequenta três prédios da UFOP com características construtivas distintas: dois estruturados em aço e outro com estrutura convencional em concreto armado.

O método de trabalho consistiu em se obter, ao mesmo tempo, o valor das variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico dos usuários das salas de aula dessas edificações, por meio de medição *in loco*, assim como a percepção que estes indivíduos têm delas, por meio de questionários aplicados a estes usuários.

Posteriormente às medições foi feita análise de radiação solar por meio das cartas solares, para possibilitar o dimensionamento de proteções solares, como estratégia de condicionamento natural pelo sombreamento das fachadas com mais intensidade de insolação.

Para concretização do presente estudo e a posterior elaboração e desenvolvimento da pesquisa, foi feita inicialmente uma revisão bibliográfica. Esta compreendeu dissertações e teses, trabalhos científicos e técnicos, artigos científicos e informações técnicas, entre outros, com relação ao conforto térmico e sua avaliação em salas de aula, estudos sobre radiação solar incidente, proteções solares e sustentabilidade na construção.

4.1. Método

O desenvolvimento do trabalho foi realizado com a abordagem de conforto térmico, dividida em duas etapas: (1) aplicação de questionário para o levantamento de sensações térmicas percebidas e a mensuração simultânea das variáveis climáticas locais, durante os meses de junho à setembro de 2011. Este período da pesquisa ficou limitado em um período letivo e em função da disponibilidade das salas de aula para 2011; (2) determinação da zona de conforto em função da temperatura operativa e umidade relativa, por meio das medidas de síntese (média, mediana, desvio padrão, ...).

A investigação exploratória e subjetiva da percepção do ambiente, pelo usuário, foi realizada por meio da aplicação de questionários, *in loco*, focando a interação usuário-ambiente.

Simultaneamente a investigação da relação usuário/ambiente foi feita a avaliação dos parâmetros climáticos do ambiente, tanto internos como externos.

A elaboração dos questionários utilizados na pesquisa de campo foi realizada baseando-se na análise de exemplos anteriores de trabalhos semelhantes como o de Araújo (2001), Gonçalves (2000), Corgnati; Filippi e Viazzo (2007) e Fontanella (2009). Foram utilizados dois tipos de formulários: um para o pesquisador e outro para os usuários. No formulário do pesquisador, é feita a identificação da sala pesquisada, como local, pavimento e sala, assim como a disciplina, o nome do professor, data, início e término do preenchimento do formulário do usuário pelos alunos e o número de alunos totais pesquisados no ensaio.

O formulário do usuário tem ao todo 16 itens a serem respondidos. No campo 1 faz-se uma identificação da sala pesquisada, possibilitando seu reconhecimento em caso de separação do restante. No campo 2 encontram-se os dados individuais do usuário: sexo, idade, peso e altura. No campo 3 faz-se a definição do tipo de roupa que o aluno está usando no momento e no campo 4 explicita-se a sensação térmica em relação ao ambiente naquele momento, a partir de uma escala de 7 pontos (ISO7730, 2006). Nos campos 5, 15 e 16 questiona-se a satisfação e aceitabilidade da sala de aula naquele momento. Nos campos 6 e 7 investiga-se em relação à condição do movimento do ar e à necessidade de intervenções para melhorar o conforto térmico. No campo 8 lista-se as sensações que podem ter ocorrido com o usuário na última hora, e nos campos 9 e 10 discutem-se a incidência solar e o seu controle durante o período de aula se considerar necessário. Nos campos 11 e 12 questiona-se a satisfação e o tipo de iluminação do ambiente e nos campos 13 e 14 identificam-se a satisfação do usuário em relação ao ruído proveniente de dentro e de fora do edifício, durante as aulas.

Outra forma de avaliar o conforto dentro das salas de aula e completar a pesquisa de Fontanella (2009) foi a inclusão de uma análise das fachadas dos prédios por meio das cartas solares.

4.2. Caracterização do objeto de estudo

4.2.1 A cidade de Ouro Preto-MG

Ouro Preto – MG, cidade na qual está inserida a UFOP, caracteriza-se por possuir clima tropical de altitude úmido, característico das regiões montanhosas com chuvas durante os meses de dezembro a março, geadas raras em junho e julho. O município localiza-se a uma latitude $20^{\circ}23'08''$ sul e a uma longitude $43^{\circ}30'29''$ oeste, estando a uma altitude de 1.179 m (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Localização da cidade de Ouro Preto no mapa do Estado de Minas Gerais
Fonte: FONTANELLA, 2009

Geralmente se considera que a zona de conforto dos usuários de edificações inclui a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a temperatura média radiante, a presença ou a ausência de radiação solar direta e a velocidade do ar dentro do espaço, juntamente com fatores pessoais como o isolamento da vestimenta e o nível de atividade.

Para as condições climáticas brasileiras a norma NBR 15.220 (ABNT, 2005) apresenta um zoneamento bioclimático baseado na carta sugerida por Givoni (1992), ao todo são 8 diferentes zonas estabelecendo parâmetros e estratégias para atingir o nível de conforto térmico em determinada localidade (Figura 4.2).

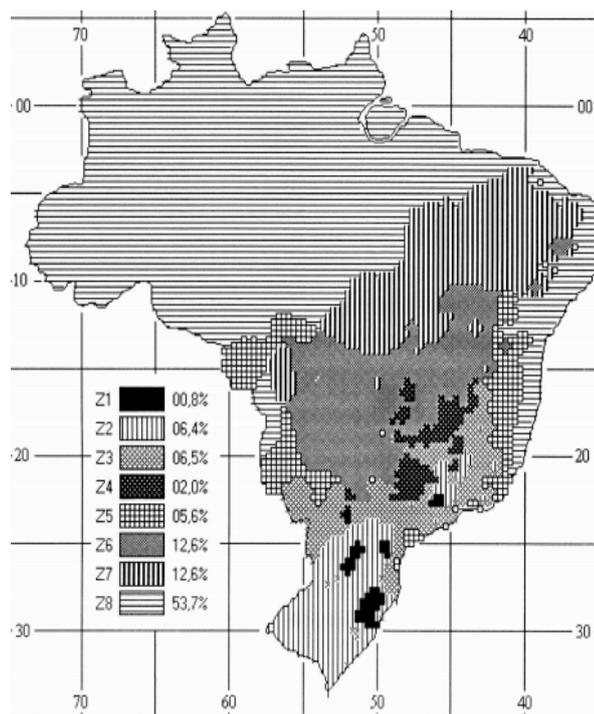


Figura 4.2 – Zoneamento bioclimático do território brasileiro.
Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

De acordo com esse zoneamento proposto a cidade de Ouro Preto localiza-se na zona bioclimática 3. Para a zona bioclimática 3, a norma NBR15220 (ABNT, 2005) sugere algumas diretrizes arquitetônicas conforme apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Diretrizes e estratégias de condicionamento passivo para a zona

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas	Fechamentos externos	Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Médias (15%<A>25%) A (em % área de piso em ambientes de longa permanência)	Permitir sol durante o inverno	Parede: Leve refletora	3,60	4,30	4,00	Verão: Ventilação cruzada
		Cobertura: leve isolada	2,00	3,30	6,50	Inverno: *Aquecimento solar da edificação * Fechamentos internos pesados (inércia térmica)

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

A partir desses dados sugeridos pela norma, pode-se desenvolver estratégias arquitetônicas ou adequar as existentes, de forma a melhorar o conforto térmico do ambiente de acordo com o clima local.

4.2.2. Edificações estudadas

A Universidade Federal de Ouro Preto agrega uma grande diversidade de edifícios, em estrutura metálica e em concreto pré-moldado, em seu Campus do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais. Em função da criação do curso de Medicina e também da adesão ao Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), com a criação de outros cursos, houve a necessidade de mais espaço físico, principalmente salas de aula e de laboratórios (SILVA; SOUZA; SOUZA, 2011).

Em função da necessidade de prazos curtos de execução, os prédios mais recentes, localizados na Universidade Federal de Ouro Preto, Campus do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, foram construídos observando apenas o estilo arquitetônico das edificações já existentes e a agilidade do sistema de construção (aço e concreto pré-moldado), sem nenhum estudo prévio de seu desempenho térmico resultando em respostas térmicas inadequadas às condições climáticas locais, principalmente, no período de temperaturas mais elevadas.

No trabalho realizado por Fontanella (2009) foram analisadas a qualidade do ambiente térmico das salas de aula de dois prédios somente, o da Escola de Minas e o Bloco do ICEB I, que possuem tipos distintos de construção: uma estruturada em aço e outra, em concreto convencional, respectivamente.

No presente trabalho foram analisados, o prédio da Escola de Minas, porém salas novas e com brise, e dois prédios diferentes daqueles avaliados por Fontanella (2009), sendo duas novas edificações, com orientação solar diferentes das demais, a saber: o Bloco do ICEB III, e o Bloco de salas. Analisa-se também a radiação solar por meio de cartas solares, estudo este que não foi feito por Fontanella (2009).

Na figura 4.3 apresenta-se um mapa de localização da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, com destaque aos edifícios estudados.

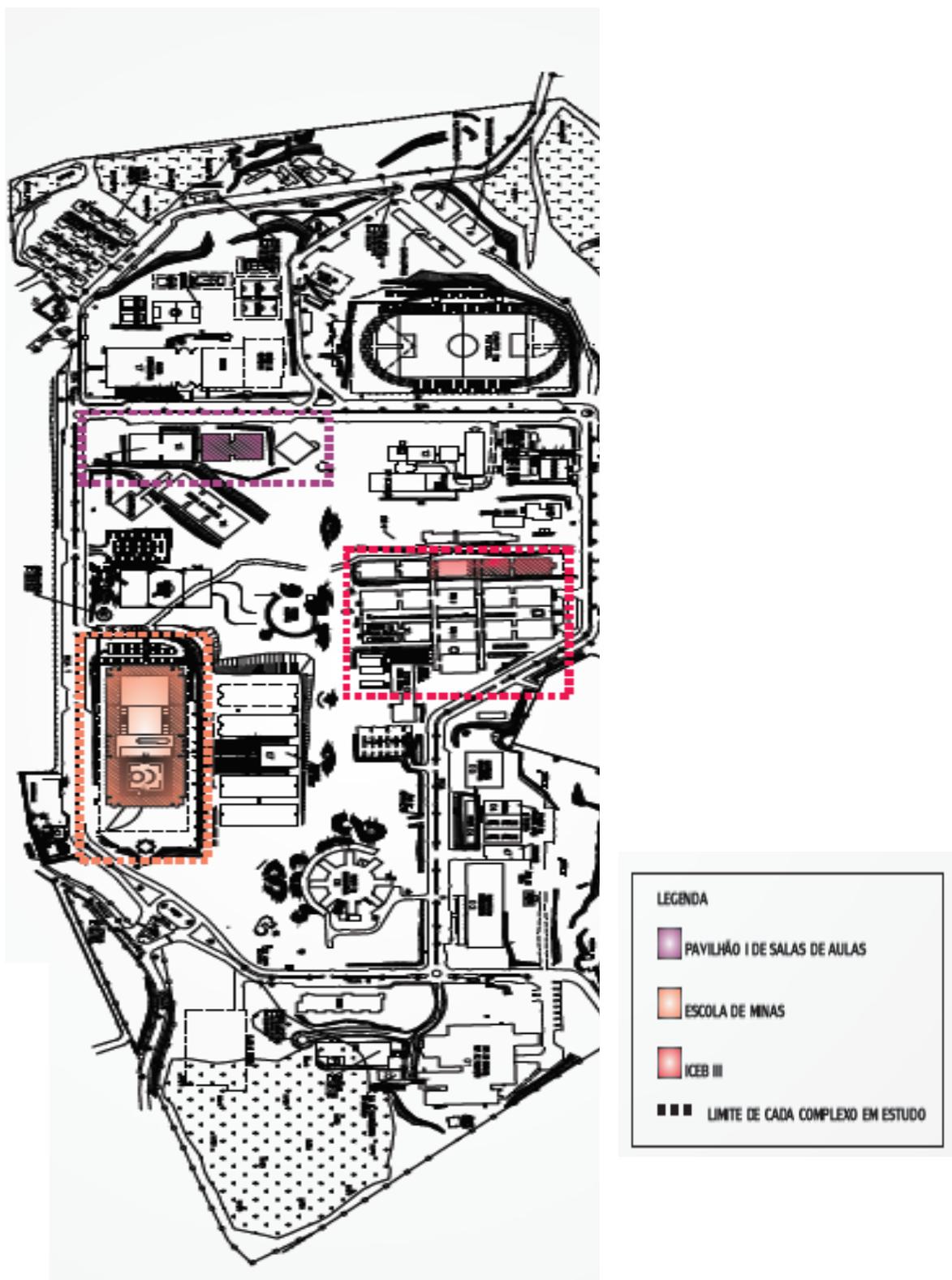


Figura 4.3 – Localização dos edifícios estudados no Campus Morro do Cruzeiro da UFOP. Escala 1/10.000

4.2.2.1. Escola de Minas

A Escola de Minas foi fundada em 1876, em Ouro Preto, e o seu atual prédio em estrutura metálica (Figura 4.4) foi construído no Campus Morro do Cruzeiro e inaugurado em Julho de 1996, fora dos limites do centro histórico deste município tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).



(a)



(b)

Figura 4.4- Escola de Minas: (a) entrada principal; (b) fachada norte com proteção solar em brises na ampliação ao fundo.

A estrutura metálica possibilitou um curto tempo de construção, aproximadamente de um ano e meio, e, já na praça de entrada, vê-se um expressivo pórtico em aço de onde flui toda a trama de pilares e vigas aparentes em estrutura metálica, que remontam às pontes, linhas e estações ferroviárias do início do século XX.

A edificação possui dois pavimentos e compreende três blocos: o primeiro, com a portaria, salas administrativas, laboratórios e salas de estudo, e os demais com as salas de aula que serão avaliadas e uma biblioteca. Na figura 4.5 apresenta-se a planta baixa de locação da edificação.

No segundo bloco, onde estão as salas de aula, o fechamento interno é constituído por paredes de tijolo furado rebocado com argamassa nas duas faces. O fechamento externo, no primeiro pavimento, é em alvenaria (tijolo laminado requeimado a vista por fora e revestimento em reboco por dentro) até meia altura e vidro no restante da parede.

No segundo pavimento, o fechamento externo é feito em esquadria de alumínio e vidro. O piso de ambos os pavimentos é em agregado cimentício de alta resistência, polido e escurecido, fundido sobre o contra piso de concreto no térreo e sobre a laje maciça de

concreto no segundo piso. A cobertura da edificação é feita em telhas de aço zincadas pré-pintadas em uma parte e telhas de fibra de vidro em outra, apoiadas sobre terças de perfis formados a frio de seção U e fixadas por parafusos também zincados (galvanizados). O forro é em PVC e reveste a laje maciça nos dois pavimentos, existindo entre o forro e a laje um espaço de aproximadamente 0,40 m (RIBAS, 2006; FONTANELLA, 2009).

A iluminação e ventilação são feitas pelas janelas do tipo máximo ar que ocupam toda a extensão da parede, e os vidros são cobertos por película protetora contra radiação para diminuir a incidência de luz, sendo ainda necessária em algumas salas, a presença de persianas, como é mostrado na Figura 4.6. A estrutura metálica é externa ao corpo da edificação e aparente, como é apresentado na Figura 4.4.

Nas salas da fachada norte, onde foram colocados o brises, nota-se um prejuízo com relação à iluminação natural atualmente devido à cor escura do dispositivo usa-se luz artificial o dia todo.

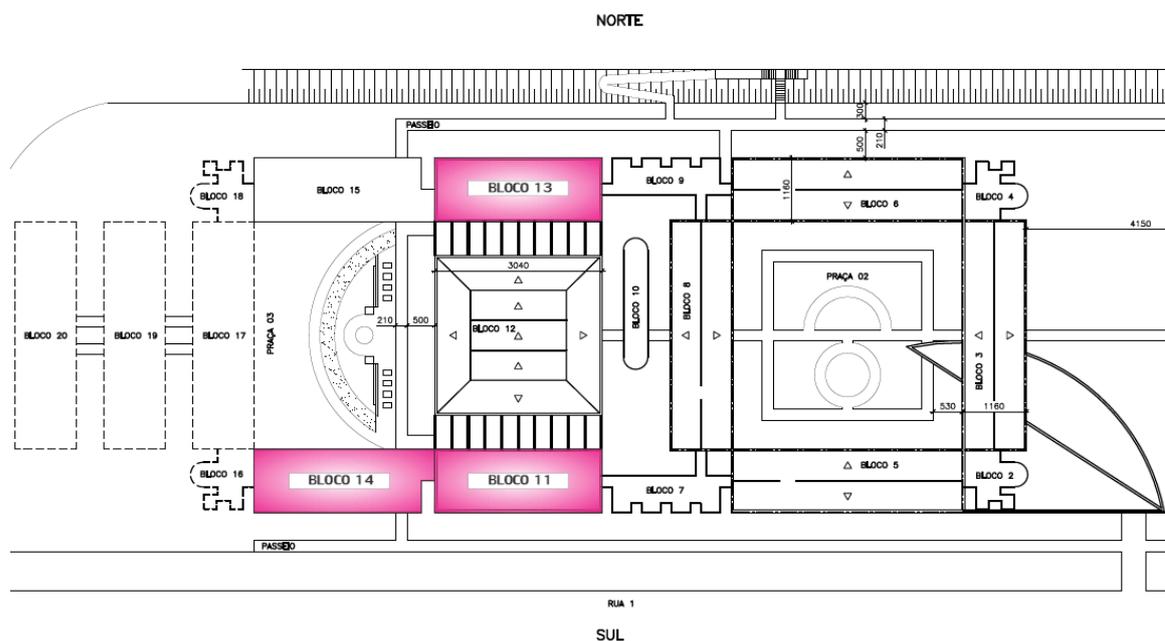


Figura 4.5- Planta de localização dos blocos da Escola de Minas



(a)



(b)

Figura 4.6- Detalhe interno da sala de aula; (a) boa iluminação natural; (b) com película *insufilm* nas janelas e cortinas, iluminação artificial.

4.2.2.2. ICEB III

O Bloco III do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) é construído em concreto pré-moldado (Figura 4.7) e apresenta problemas de conforto térmico aos seus ocupantes por terem grande parte da fachada externa em vidro. Este Bloco é uma ampliação do ICEB, constituído por cinco partes com eixo de simetria de Leste a Oeste: a biblioteca ao centro, dois blocos intermediários norte e sul, e dois blocos extremos, norte e sul (Figura 4.8). A edificação possui estrutura em concreto pré-moldado aparente e fechamento em alvenaria com revestimento laminado cerâmico e blocos de concreto, dividida em três pavimentos, com presença de salas, biblioteca, laboratórios, entre outros. A iluminação e a ventilação são por meio de janelas máximo ar.

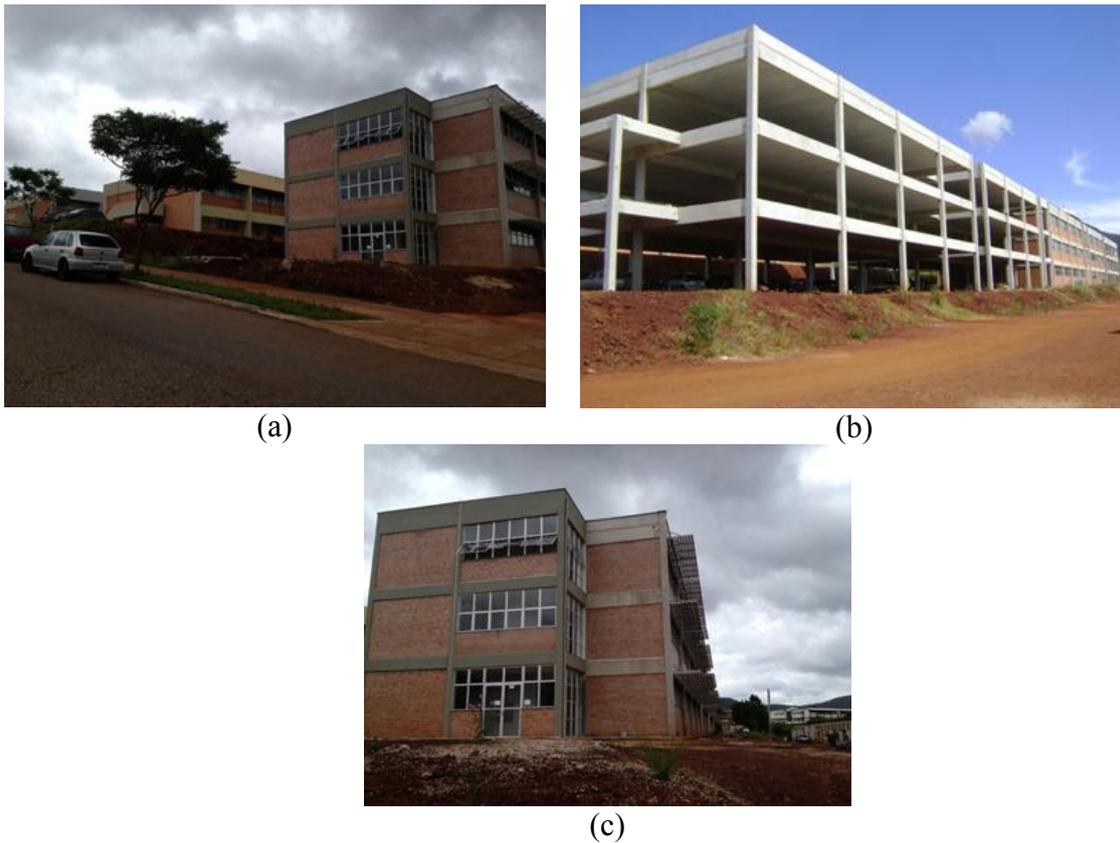


Figura 4.7 – (a) Foto ICEB I, II e III; (b) Bloco de salas III do ICEB, quando em fase de construção; (c) ICEB III, foto atual com uso de brises na fachada oeste.

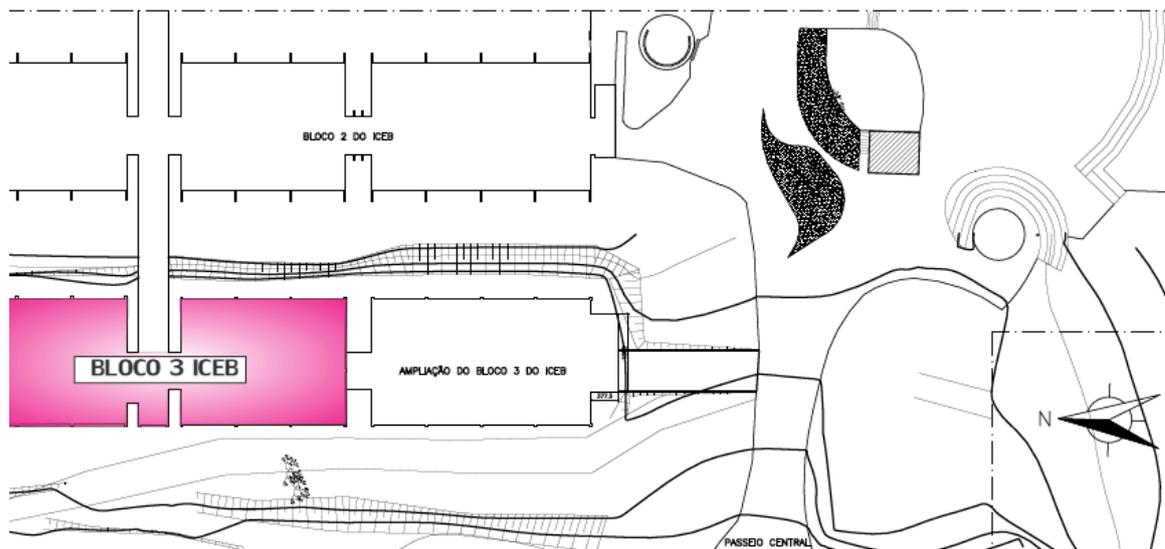


Figura 4.8 – Planta de locação do ICEB III.

No bloco de salas III do ICEB o fechamento é feito com tijolo maciço aparente. O tipo de piso desta edificação é concebido em cerâmica e os vidros utilizados são lisos e transparentes. Na Figura 4.9 visualiza-se que já foi instalado, cortinas e película *insufilm*, devido à iluminação

utilizada ser artificial, como pode ser observado na foto apresentada onde mostra as luzes ligadas.



Figura 4.9 – Foto sala de aula com película protetora nas janelas, cortina e brise externo.

Em estudo realizado no Bloco III de salas do ICEB, via simulação numérica utilizando o programa *Energyplus*, as zonas de alta temperatura do lado oeste assim como no Bloco de salas do curso de medicina, por receberem maior insolação dos raios solares também apresentam temperaturas internas mais elevadas na parte da tarde. As instalações das proteções solares externas (brises) nessas fachadas reduziram a temperatura interna em até 4,6 °C e em média 3,0 °C. A combinação com a estratégia de ventilação cruzada, supondo uma pequena abertura no corredor central, aumentaria um pouco mais o desempenho térmico da edificação (SILVA; SOUZA; SOUZA; 2011).

4.2.2.3. Bloco de salas

O Bloco de salas, estruturado em aço, possui uma área construída de 1.204,60 m², divididos em dois pavimentos. A edificação tem usos variados, como salas de aulas, parte administrativa, salas para professores, bibliotecas e laboratórios. A estrutura metálica é aparente e desvinculada do fechamento que é feito em alvenaria de bloco de concreto (Figura 4.10 e figura 4.11). A ventilação e iluminação ocorrem através de janelas de máximo ar e aberturas no corredor central de um pavimento para o outro. A cobertura é feita em telhas

termo acústicas curvas, tipo sanduíche. O desenho curvo da cobertura propicia a ventilação para a laje central que se comunica com as aberturas para ventilação e iluminação zenital.

O fechamento do bloco de salas é feito com blocos de concreto. O teto possui diferentes materiais, dependendo da sua utilização esse podem ser: forro de PVC, forro de chapas de fibra de madeira ou bloco de concreto. No piso são utilizados agregados minerais tipo PLB e piso cerâmico PEIS. A cobertura é feita em telhas do tipo sanduíche com lã de rocha e aço galvanizado e vidros lisos e transparentes. Na Figura 4.12 mostra-se a planta de locação do edifício.



Figura 4.10 - Prédio Bloco de salas da UFOP , fachada oeste.

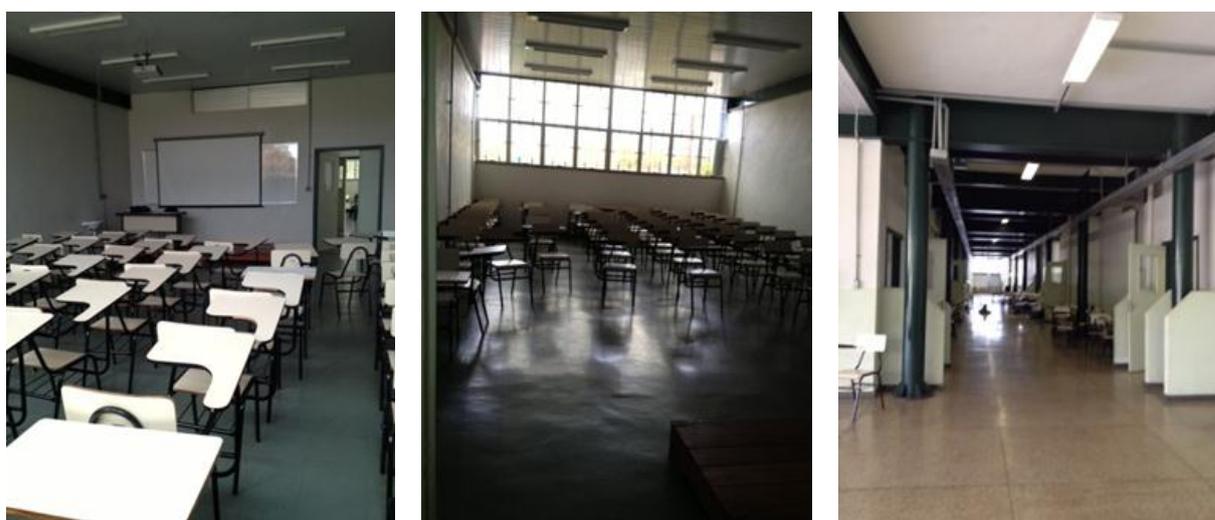


Figura 4.11 – Sala de aula, iluminação Natural

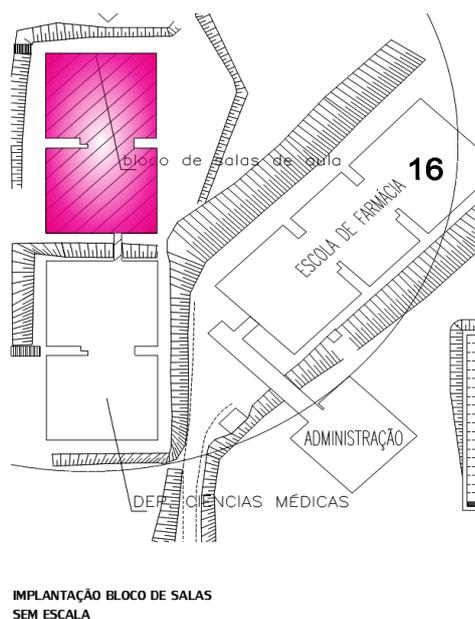


Figura 4.12 – Planta de locação do BLOCO DE SALAS.

No Bloco de salas as zonas térmicas (salas) do primeiro e segundo pavimentos (fachada oeste) apresentam temperaturas internas mais elevadas na parte da tarde, confirmando a influência do eixo de simetria do prédio e a maior incidência dos raios solares, nesse período.

Em estudo realizado com simulação numérica utilizando o programa *Energy Plus* observa-se pelos resultados obtidos que o sombreamento das fachadas, com a colocação de brises, reduz a temperatura interna em até 6,5 °C e em média 3,7 °C, o que reduz também o número de graus hora, necessários para resfriamento do ambiente durante o período diurno (SILVA, SOUZA, SOUZA, 2011).

4.3. Coleta de dados

O planejamento da metodologia a ser aplicada no experimento, abrange além da definição e detalhamento da fase de coleta de dados, a definição das variáveis envolvidas, como seriam obtidas durante o processo experimental e a elaboração dos questionários a serem aplicados e utilizados. Também fez parte desta fase, a aproximação aos equipamentos que seriam utilizados nas medições *in loco*.

A pesquisa consistiu de duas etapas simultâneas, a coleta de dados e aplicação dos questionários. Ela foi realizada na população universitária que frequenta três prédios da UFOP com características distintas: dois deles estruturados em aço e outro com estrutura

convencional em concreto. Esta coleta de dados consistiu em se obter, ao mesmo tempo, o valor das variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico dos usuários das salas de aula dessas edificações, assim como a percepção que estes indivíduos têm delas.

Para a obtenção das variáveis ambientais foram utilizados instrumentos de medição como sensores para aferir a temperatura e a umidade do ambiente, e um termômetro de globo. Simultaneamente, foram aplicados questionários para se levantar a resposta dos usuários principalmente em termos de sensações térmicas, além de condições como vestimentas, iluminação e ruído.

Os parâmetros utilizados neste estudo do conforto térmico de um ambiente podem ser divididos em dois grupos: os físico-ambientais e os psico-fisiológicos.

O grupo dos parâmetros físico-ambientais se divide em outros dois grupos: aqueles que podem ser medidos diretamente no ambiente e aqueles que são calculados a partir dessas medições. Os equipamentos utilizados nas medições das variáveis físico-ambientais são descritos a seguir.

4.3.1. Parâmetros físico-ambientais medidos diretamente

As variáveis físicas medidas diretamente neste trabalho foram a temperatura do ar, a umidade relativa do ar interno e externo, temperatura de globo e a velocidade do vento no interior das salas.

4.3.1.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar, ou temperatura de bulbo seco, é uma variável utilizada pela maioria dos índices de conforto térmico, constituindo um primeiro parâmetro de análise da condição térmica do ambiente. Ela influencia nos mecanismos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente e atua no processo de evapotranspiração indicando o quanto ele está sendo aquecido ou resfriado. Está diretamente ligada com a sensação térmica dos indivíduos e, nos modelos empíricos, geralmente é a variável principal.

Neste trabalho a temperatura do ar foi medida usando dois sensores diferentes, um para a temperatura interna do ambiente analisado e outro para o exterior. Para medir a temperatura do ar interno são utilizados sensores do tipo resistivos, modelo ALMEMO 3290 (Figura 4.13).

Os sensores de resistência elétrica utilizam o princípio que a variação da temperatura provoca também uma variação de sua resistência. O tipo de sensor utilizado, os NTC (termistores), têm uma resistência alta e um coeficiente negativo de temperatura, logo a resistência diminui quando aumenta a temperatura. Os sensores de temperatura, aqui utilizados, estão integrados nos sensores de umidade.



Figura 4.13 – Sensor de temperatura e umidade Modelo ALMEMO
Fonte: AHLBORN, 2003.

4.3.1.2 Umidade relativa do ar

Para medir a umidade interna do ambiente foi utilizado um sensor capacitivo modelo ALMEMO (Figura 4.13). Os sensores capacitivos possuem um substrato de vidro junto a uma camada de polímero sensível à umidade entre dois eletrodos de metal. Pela absorção da água, correspondente à umidade relativa, a constante dielétrica, e em consequência, a capacidade da camada fina do capacitor tendem a variar. O sinal medido é diretamente proporcional à umidade relativa e não é dependente da pressão atmosférica.

4.3.1.3 Temperatura de globo

A temperatura de globo é usada para calcular a temperatura radiante média e é medida por meio do termômetro de globo negro (Figura 4.14). O termômetro de globo consiste em um globo metálico de 150 mm de diâmetro, pintado externamente com tinta preta fosca, com uma parede de espessura bem fina (0,5mm), e no interior dessa esfera oca é adaptado um elemento sensor de temperatura e colocado na região de estudo.

A temperatura de globo, medida por meio deste instrumento, representa, num único valor, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, a partir do qual pode-se concluir sobre o nível de conforto de um dado ambiente.



Figura 4.14 – Termômetro de globo negro, ALMEMO
Fonte: AHLBORN, 2003.

4.3.1.4 Velocidade do ar

A velocidade do ar é um parâmetro que deve ser levado em consideração quando se analisam as trocas de calor por convecção e evaporação em relação à pessoa. É um parâmetro que apresenta dificuldades de medição e determinação devido às constantes flutuações em intensidade e direção no tempo e no espaço.

O sensor usado nesse estudo é um termo anemômetro utilizando um sensor de fluxo termoelétrico (Figura 4.15). Ele consiste num tubo de metal, que contém um sensor de

temperatura NTC para as medições de temperatura e um termistor miniatura aquecido para medição do fluxo de velocidade.



Figura 4.15 – Termo anemômetro FV A605 TA, ALMEMO
Fonte: AHLBORN, 2003.

Os sensores são fixados em um suporte metálico, conforme mostrado na Figura 4.17, e ligados ao *data logger*, Figura 4.18 .

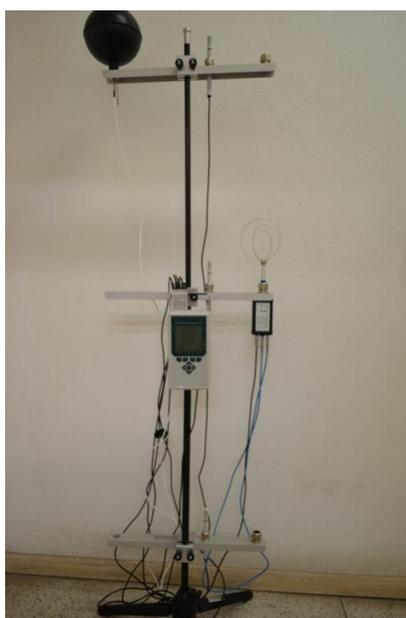


Figura 4.16 - Equipamentos de medição de temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo e umidade do ar interna.

As posições dos três sensores no suporte metálico são determinadas seguindo recomendação da norma ISO 7726 (ISO, 1996), e que correspondem às alturas da cabeça, do abdômen e do calcanhar, conforme apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Posições de medições para variáveis físicas de um ambiente

Localização dos sensores	Coeficientes ponderados para cálculos das variáveis				Alturas Recomendadas	
	Ambientes homogêneos		Ambientes heterogêneos		Sentado	Em pé
	Classe C*	Classe S**	Classe C	Classe S		
Nível da cabeça			1	1	1,1m	1,7m
Nível do abdômen	1	1	1	2	0,6m	1,1m
Nível do tornozelo			1	1	0,1m	0,1m

* Classe de conforto térmico e **Classe de estresse térmico
Fonte: ISO 7726 (ISO, 1996)



Figura 4.17 – Data Logger ALMEMO 2890-9
Fonte: AHLBORN, 2009.

Os dados coletados são armazenados em um sistema com data logger da marca ALMEMO 2890-9, que possui oito entradas individuais, que podem ser duplicadas quando um sensor faz mais de um tipo de medição, por exemplo, os sensores de umidade capacitivos possuem NTC's para medições de temperatura (Figura 4.13).

Este *data logger* possui também duas saídas de dados, uma que faz interface com o computador, e outra que é a saída analógica do equipamento. O equipamento tem a

capacidade de realizar medições agendadas, ou seja, programando data e hora que se deseja começar e terminar automaticamente uma série de medições. Sua memória tem capacidade de cerca 20.000 medições sem necessidade de transferência de dados para um computador. As frequências com que as tomadas de valores são realizadas também podem ser programadas.

O sistema com *data logger*, que é mostrado na Figura 4.17, foi utilizado para as medições internas, *in loco*, para coletar os dados de temperatura e umidade do ar, temperatura de globo, e velocidade do ar.

4.3.1.5 Dados externos

Como dados climáticos externos, foram utilizados os dados de temperatura e umidade do ar coletados por uma estação meteorológica instalada no próprio Campus do Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto. A estação WS-16-A (Figura 4.18) coleta os dados em tempo real por meio da interface RS232.

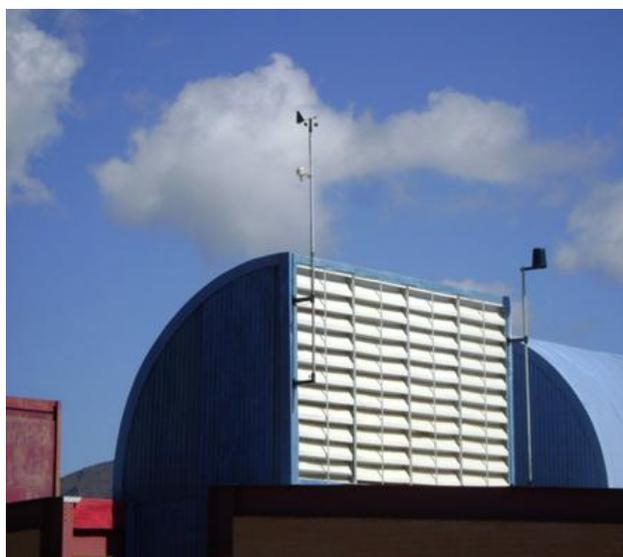


Figura 4.18 - Estação meteorológica WS-16-A

A estação meteorológica WS-16-A está instalada em cima do Laboratório de Hidráulica a uma altura de aproximadamente 11 m. A comunicação entre a estação e o módulo de

aquisição de dados é feito através de um cabo serial RS-232 de aproximadamente 32 m de comprimento.

O modulo de aquisição de dados é o que condiciona e processa o sinal gerado pelos sensores e passa para o computador por meio da interface RS232, no default, com uma taxa de até 9600 bits por segundo. Porém outras taxas podem ser selecionados pelo usuário. O usado é 1200 bits por segundo.

4.3.2. Parâmetros físico-ambientais calculados

Dentre as variáveis calculadas a partir das variáveis físicas medidas durante a pesquisa, tem-se a temperatura radiante média e a temperatura operativa.

A temperatura radiante média é a temperatura uniforme na superfície dos elementos que envolvem um ambiente, no qual uma pessoa troca a mesma quantidade de calor por radiação que aquela trocada com o meio. Esta variável influencia tanto no calor perdido através da radiação do corpo como na perda de calor por condução, quando o corpo está em contato com superfícies mais frias. Neste trabalho, para o cálculo desta variável, considera-se convecção natural (ISO, 1996) e o cálculo é feito por meio da expressão,

$$\bar{T}_r = \left[(T_G + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 (T_G - T_{ar})^{1/4} (T_G - T_{ar}) \right]^{1/4} - 273 \quad (4.1)$$

onde \bar{T}_r é a temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$), T_G é a temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$) e T_{ar} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente negro imaginário no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme (ASHRAE 55, 2004). Para o cálculo desta temperatura, utilizou-se a expressão:

$$T_o = \frac{h_c T_{ar} + h_r \bar{T}_r}{h_c + h_r} \quad (4.2)$$

onde T_o é a temperatura operativa ($^{\circ}\text{C}$), T_{ar} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), \bar{T}_r é a temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$), h_c é o coeficiente de troca de calor por convecção ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), e que foi considerado $h_c = 3,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (pessoa sentada com velocidade do ar entre 0 e 0,2 m/s), e h_r é o coeficiente de troca de calor por radiação ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), adotado o valor típico de $h_r = 4,7\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ (ASHRAE 55, 2004).

4.4 Definição e caracterização da amostra

Para o cálculo do tamanho da amostra, foi considerado o método apresentado por Renckly (1996), que se aplica nos casos em que os resultados são apresentados de várias maneiras ou quando existe dificuldade em estimar a porcentagem e o desvio padrão do atributo de interesse.

$$n = \frac{0,25NZ^2}{L^2 \cdot (N - 1) + (0,25Z^2)} \quad (4.3)$$

onde n é o tamanho necessário para a amostra, N é o número de indivíduos conhecido ou estimado da população, Z é o número de unidades de desvio padrão correspondente ao nível de confiança desejado e L é a precisão desejada, tolerância em torno da média.

Considerando o número de indivíduos da população (N) de 5.115 alunos, um nível de confiança de 90% para um coeficiente de confiança (Z) de 1,645, a precisão desejada (L) de 0,05, obtém-se uma amostra de 257 indivíduos.

A amostra utilizada foi de 320 indivíduos, tendo sido realizados no total 12 ensaios de campo com aplicação de questionários e medições das temperaturas e umidade do ambiente. Destes ensaios, 2 foram realizados no ICEB III, 3 no Bloco de Salas e 7 na Escola de Minas, nos dias 08, 09, 14 e 16 de junho, 13 de julho e 19, 20 e 22 de setembro de 2011, como pode ser visto em detalhes na Tabela 4.3.

Tabela 4.3– Detalhamento do número de salas e questionários aplicados na pesquisa de campo

Prédio		Junho	Julho	Setembro
ICEB III	N ^o Salas	-	-	1
	N ^o Questionários	-	-	40
Bloco de Salas	N ^o Salas		-	1
	N ^o Questionários	55	-	28
Escolas de Minas	N ^o Salas	2	1	4
	N ^o Questionários	54	23	120

A amostra utilizada de 320 indivíduos pesquisados pode ser analisada e caracterizada com os dados mostrados nas figuras 4.19 a 4.31, que ilustram a distribuição de frequência relativa quanto ao sexo, idade, peso e altura dos entrevistados, separados por edificação analisada.

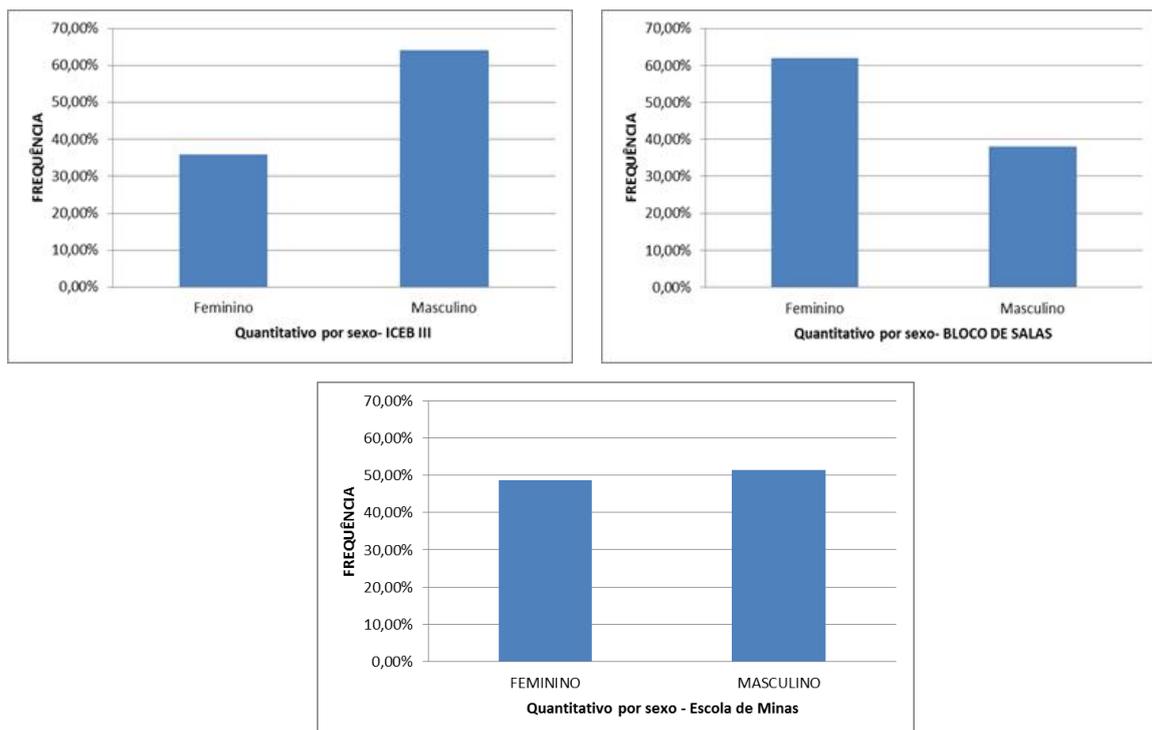


Figura 4.19 - Distribuição da frequência relativa do sexo dos pesquisados por prédio

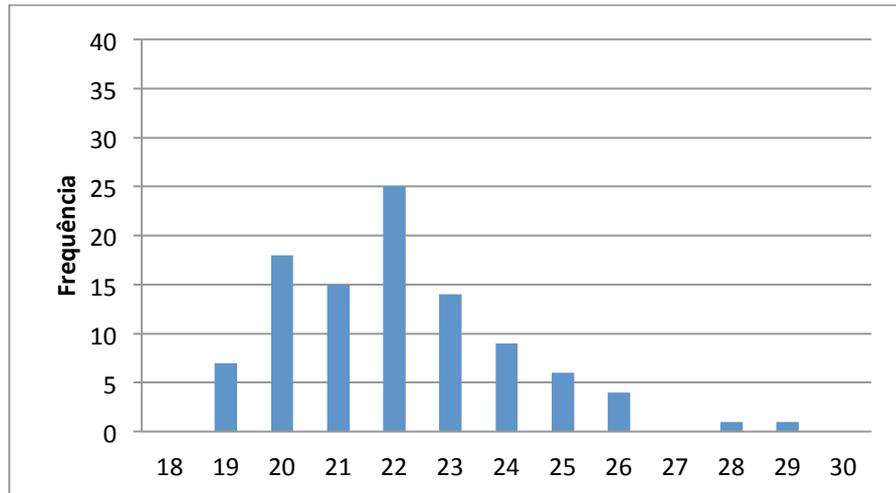


Figura 4.20 - Distribuição da frequência relativa idade dos pesquisados (EM)

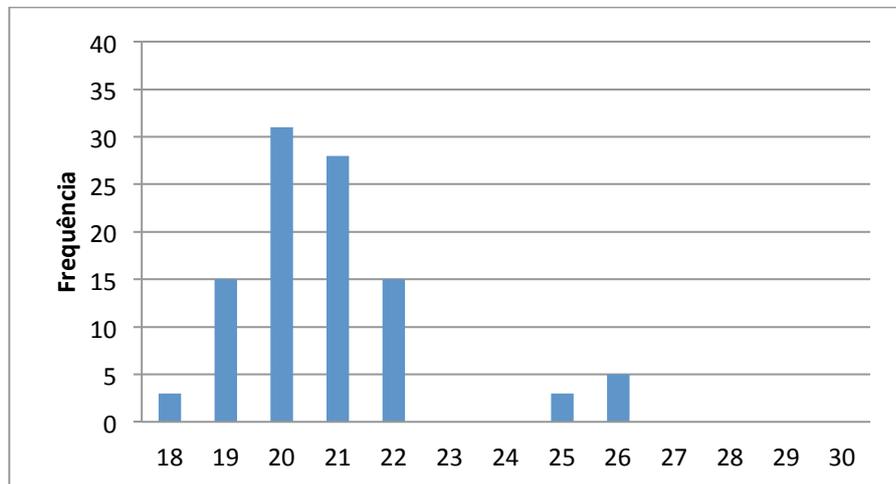


Figura 4.21 - Distribuição da frequência relativa idade dos pesquisados (ICEB III)

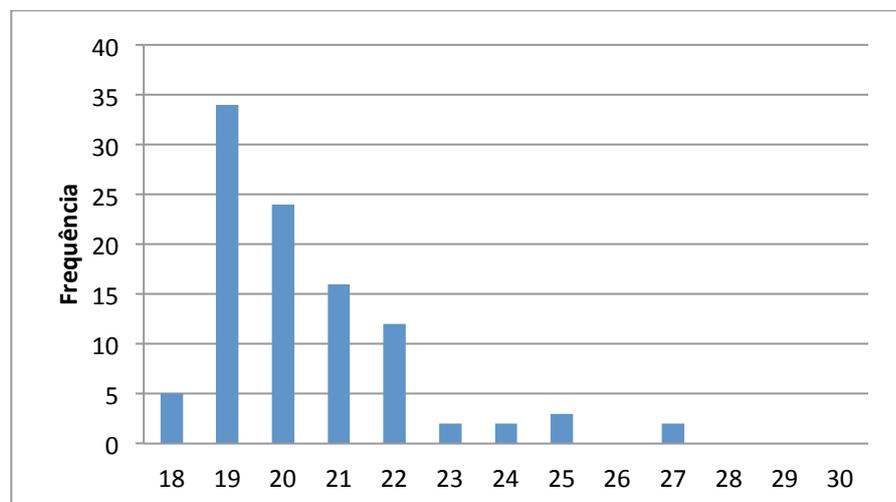


Figura 4.22 - Distribuição da frequência relativa da idade dos pesquisados (Bloco de Salas)

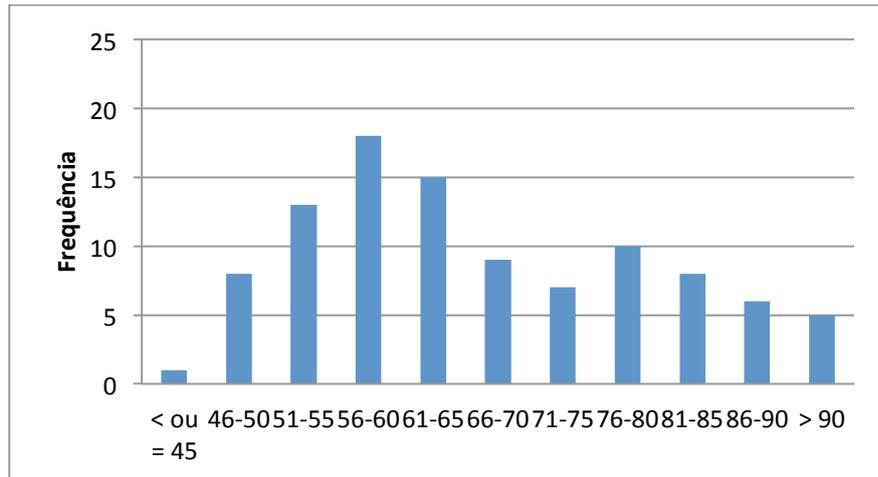


Figura 4.23-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (EM)

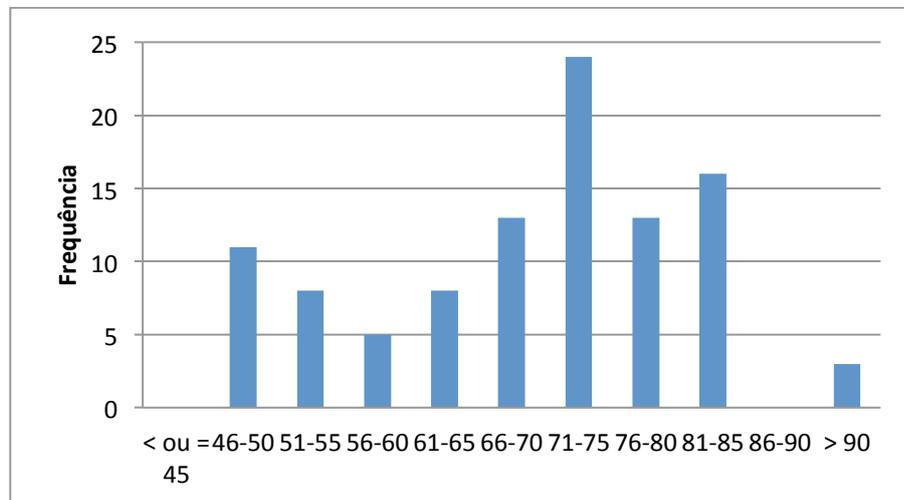


Figura 4.24-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (ICEB III)

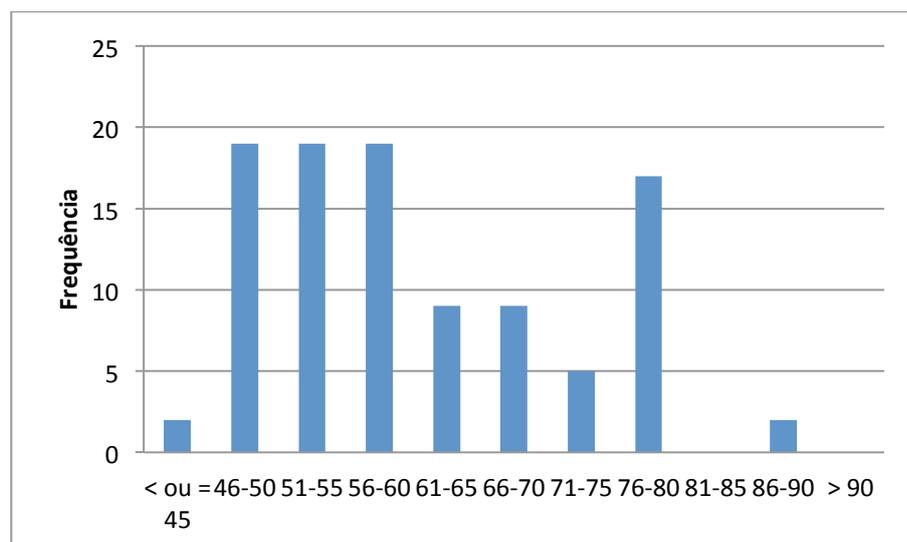


Figura 4.25-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (Bloco de Salas)

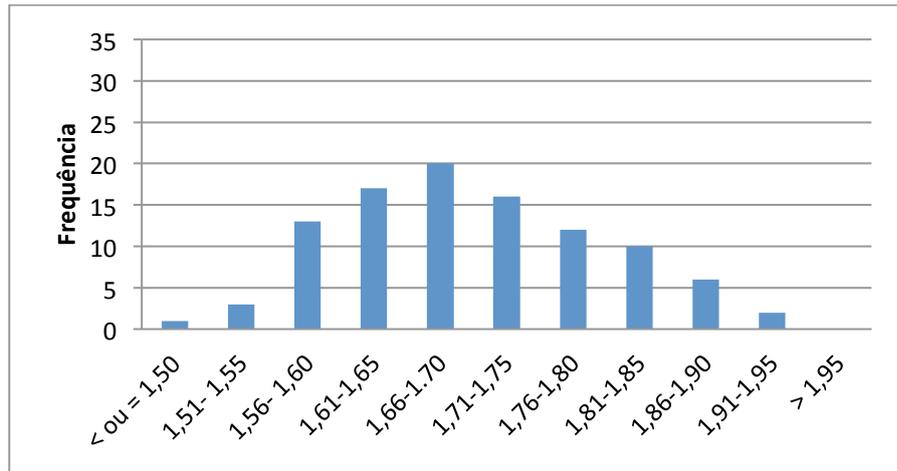


Figura 4.26-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (EM)

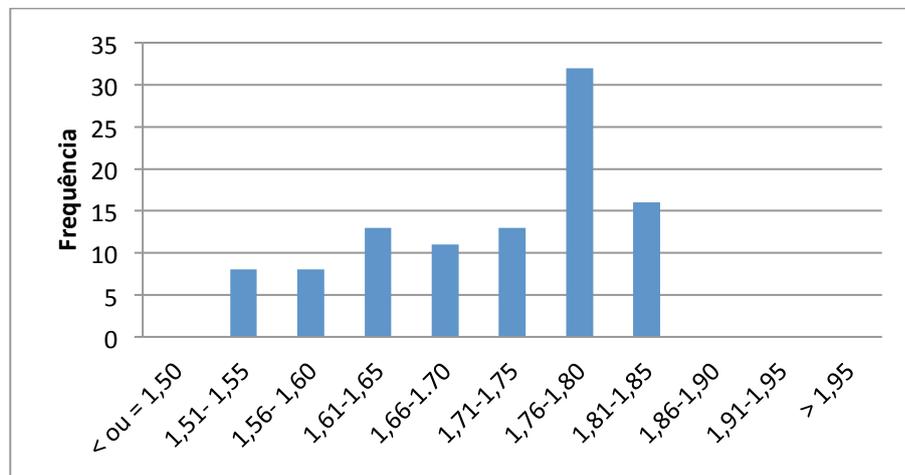


Figura 4.27-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (ICEB III)

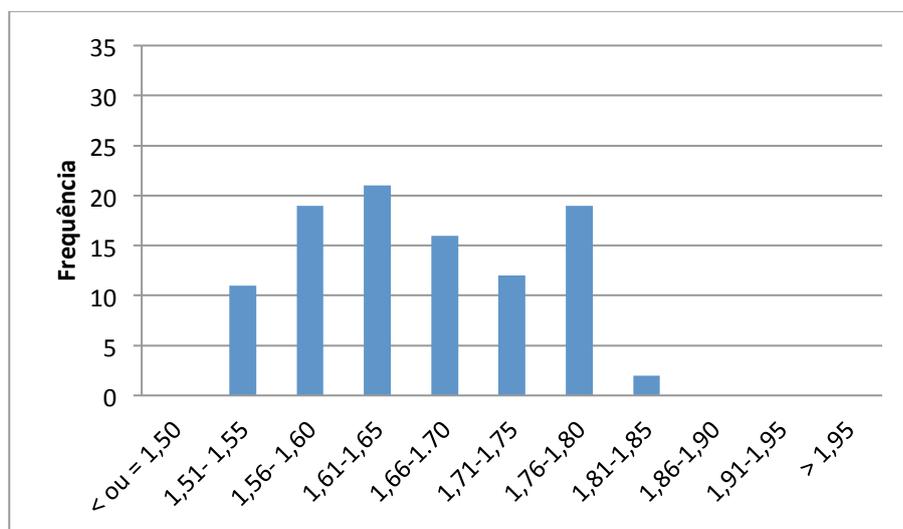


Figura 4.28-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (Bloco de Salas)

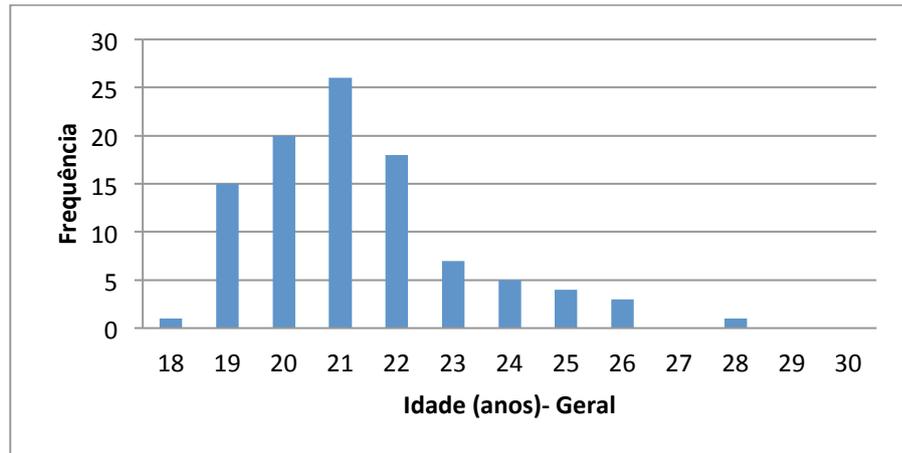


Figura 4.29-Distribuição da frequência relativa à idade dos pesquisados

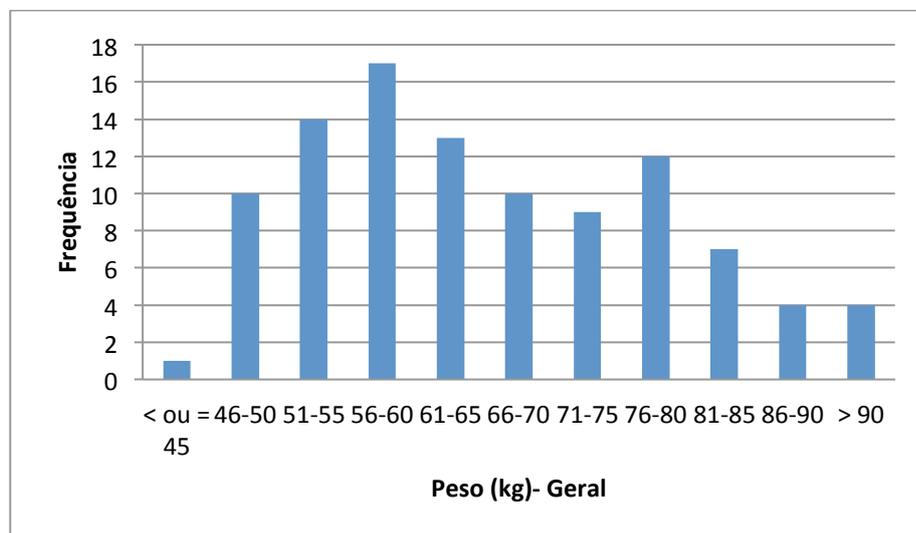


Figura 4.30-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados

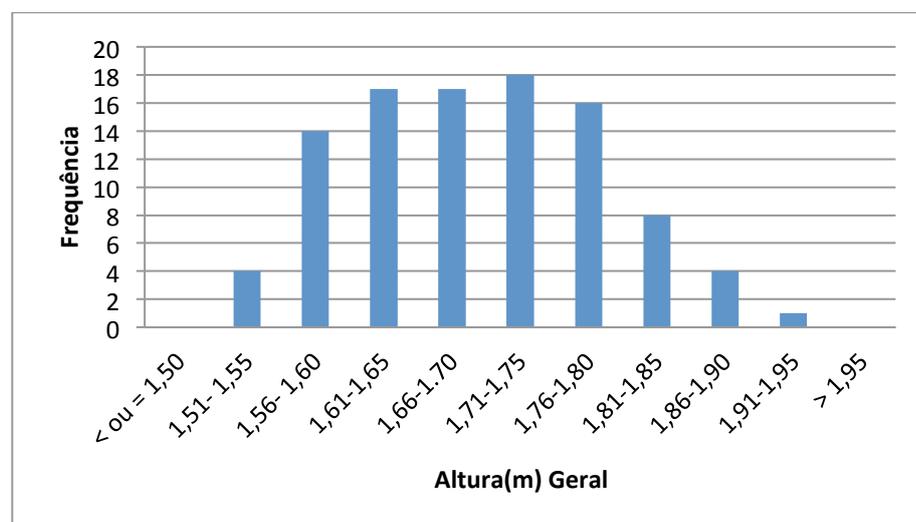


Figura 4.31-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados

Analisando os dados dos gráficos apresentados nas Figuras 4.19 a 4.31 observa-se que:

- Existem mais homens que mulheres no ICEB e EM: 51,0% homens e 49,0% mulheres na Escola de Minas, 63% homens e 37% mulheres no ICEB III;
- Mais mulheres do que homens no Bloco de salas: 62,0% mulheres e 38% homens;
- Idade da maioria está entre 18 e 26 anos;
- Altura da maioria está entre 1,60 e 1,80m;
- O peso está bem distribuído e entre 46 a 85 kg.

5. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentadas as análises dos dados levantados na pesquisa de campo, como as variáveis ambientais medidas, as variáveis fisiológicas e pessoais, bem como as relações entre as variáveis psico-fisiológicas, de cada edifício em estudo nos meses que ocorreram os trabalhos de campo. Analisa-se ainda cada sala, as medidas nelas realizadas e o grau de satisfação e aceitabilidade dos ambientes. Por último, são obtidos os limites de conforto para a população em estudo por meio das medidas de síntese (média, mediana, desvio padrão) e também são apresentadas as cartas solares das fachadas dos edifícios estudados e considerados pelos usuários como inadequados em determinados horários devido à forte radiação solar incidente. Nestas salas, para as quais foram feitos estudos de insolação via carta solar, não foi possível realizar medições.

5.1. Análise das salas avaliadas

Foram realizados 12 ensaios de campo, nos dias 08, 09, 14 e 16 de junho, 13 de julho e 19, 20 e 22 de setembro de 2011, totalizando uma amostragem de 320 indivíduos. Foram avaliadas: 1 sala no ICEB III, 2 salas no Bloco de salas e 6 salas na Escola de Minas. Conforme foi explicado anteriormente, em cada ensaio foram feitas medições das variáveis ambientais e aplicado um questionário (ANEXO A) sobre as preferências individuais de cada usuário.

Na Tabela 5.1 são apresentadas as principais características das salas analisadas, considerando que nenhuma delas possui algum tipo de ventilação mecânica.

Tabela 5.1 – Características das salas avaliadas.

PRÉDIO	SALA	NC	NE	V(m ³)	A (m ²)	P (m)	W/A	EXP	I
ICEB III	19	50	43	264,127	71,41	3,7	0,149	S	C/I
BLOCO DE SALAS	204	81	28	218,176	68,18	3,2	0,16	S	-
	101	81	53	202,176	63,18	3,2	0,173	S	I
ESCOLA DE MINAS	8	72	25	280,134	77,815	3,6	0,175	S	C/I
	10	72	29	281,112	78,92	3,6	0,173	S	C/I
	12	45	36	223,675	62,132	3,6	0,219	S	C/I
	22	48	36	237,99	66,11	3,6	0,206	N	P/C/I
	23	48	36	238,88	66,33	3,6	0,205	N	P/C/I
	24	48	23	238,88	66,33	3,6	0,205	N	P/C/I

NC: número de carteiras; NE: número de estudantes (média); V: volume (m³); A: área do piso (m²); P: pé direito (m); W/A: área envidraçada/área do piso; EXP: orientação da exposição das janelas; I: controle da incidência solar por (C) cortinas, (P) persianas ou (-) nenhuma.

Nas figuras a seguir, 5.1 a 5.6 são apresentadas as plantas baixas das salas analisadas.

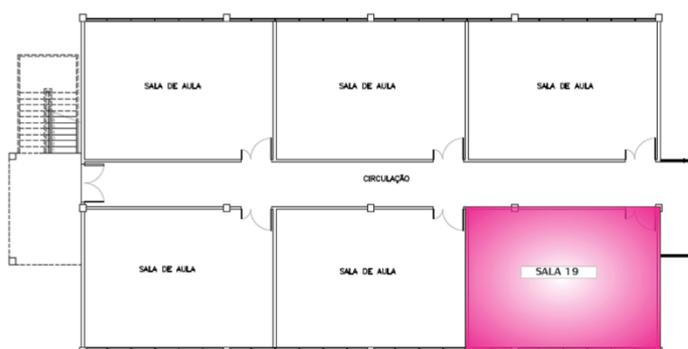


Figura 5.1 – Planta da sala pesquisada do ICEB III.

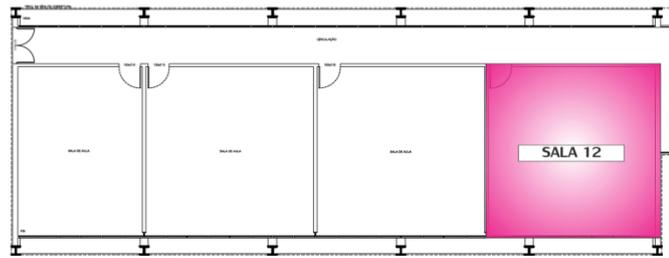


Figura 5.2 – Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS-
Bloco 14 fachada sul

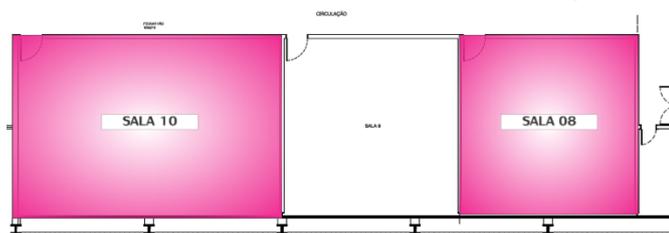


Figura 5.3 – Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS-
Bloco 11 fachada sul

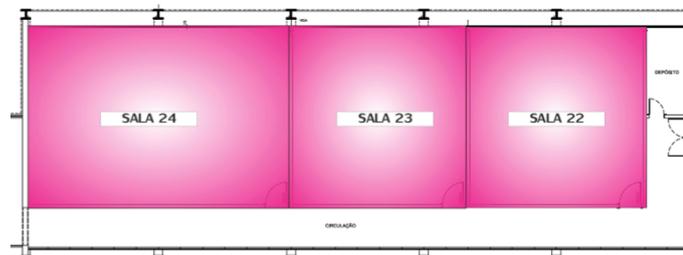


Figura 5.4 – Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS-
Bloco 13 fachada norte

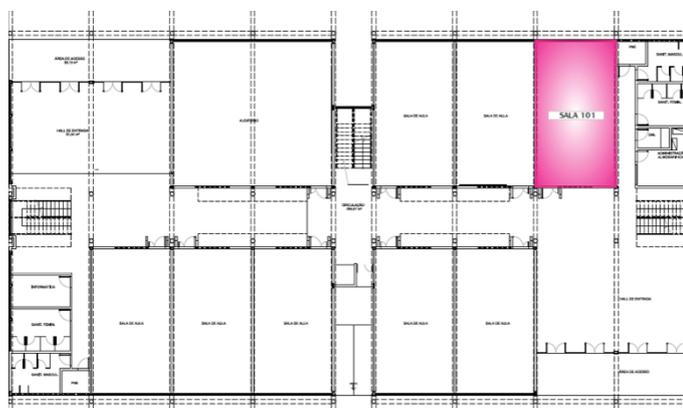


Figura 5.5 – Planta da sala pesquisada do BLOCO DE SALAS-
Planta Baixa Térreo

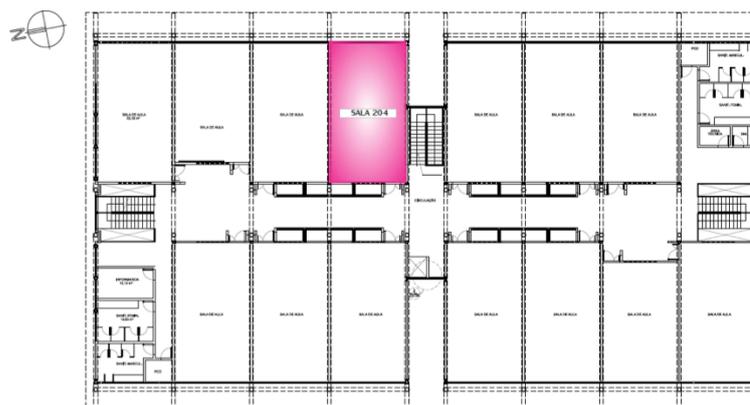


Figura 5.6 – Planta da sala pesquisada do BLOCO DE SALAS-
Planta Baixa Segundo Pavimento

5.2. Análise das variáveis ambientais

Como parte do processo de tratamento e análise dos dados levantados nos edifícios da UFOP, processou-se os dados obtidos das medições das variáveis ambientais. Os dados obtidos da temperatura externa nos dias em que foram realizadas as medições são apresentados no Anexo B.

A análise descritiva dos dados levantados *in loco* das variáveis ambientais é mostrada na Tabela 5.2. Nela são especificados o prédio, a sala, o dia e o período do dia em que ocorreu a medição. São mostradas também os valores médios da temperatura do ambiente (T_{ar}), da umidade, da temperatura de globo (T_G), e das variáveis calculadas, que foram a temperatura radiante média ($\overline{T_r}$) e a temperatura operativa (T_o).

Tabela 5.2 – Variáveis ambientais

Prédios	Dia	Sala	Tar (°C) médias	Umidade (%) médias	V (m/s) médias	TG (°C) médias	Tr (°C) resultado	To (°C) resultado
ICEB III	19/09/2011	19 manhã	16,25	62,75	0,074	16,45	16,50	16,4
		19 tarde	21,85	44,15	-0,03	22,13	22,21	22,07
BLOCO DE SALAS	08/06/2011	204 tarde	22,35	55,79	-	22,97	23,18	22,85
	14/06/2011	101 manhã	20,94	63,35	0,04	20,97	20,98	20,96
	29/09/2011	101 tarde	22,62	49,15	0,03	22,85	22,91	22,8
ESCOLA DE MINAS	09/06/2011	10 tarde	24,20	49,72	-	24,74	24,91	24,63
	16/06/2011	08 manhã	19,82	67,12	0,069	20	20,05	19,96
	13/07/2011	24 tarde	21,21	44,24	0,04	21,44	21,50	21,38
	20/09/2011	12 tarde	21,85	34,154	0,05	22,10	22,16	22,04
		23 tarde	22,85	44,63	0,08	23,09	23,15	23,03
	22/09/2011	12 tarde	22,96	49,31	0,04	23,34	23,45	23,26
	22/09/2011	22 manhã	23,12	50,76	0,07	23,4	23,48	23,34

5.3. Correlação entre as variáveis psico-fisiológicas

Um dos mecanismos adaptativos do qual dispõe o homem é a vestimenta. Além das atividades desenvolvidas pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo, hábitos alimentares dentre outras.

Alguns estudos apontam que a idade é diretamente proporcional ao aumento de temperatura, isso se deve ao fato do metabolismo basal cair ligeiramente com a idade. Além disso, a taxa metabólica para certas atividades que envolvem movimentos tende a ser mais alta para pessoas obesas, e por esta razão elas tendem a preferir ambientes mais frios durante essas atividades. Tem-se ainda que as mulheres preferem temperaturas ligeiramente mais altas (ARAÚJO, 2001).

A forma do corpo, ou seja, a relação entre o peso e a altura, também influi nas condições de conforto térmico. Vários experimentos têm sido realizados para investigar e classificar a obesidade por meio de um índice ponderado (peso dividido pela altura) ou através da camada de gordura medida por meio de instrumento próprio (FONTANELLA, 2009).

Após a análise dos dados ambientais e fisiológicos, a amostra foi dividida em subgrupos, para verificar a influência de fatores fisiológicos e de adaptação nas variáveis psico-fisiológicas. Foram feitas correlações entre os dados obtidos pelo questionário que foi preenchido pelos usuários dos ambientes. Além dos dados relativos ao conforto térmico e sua influência no comportamento dos usuários, também foi analisado o movimento do ar, o ruído, a iluminação e a incidência solar (ANEXO A).

Para a análise das correlações dos dados obtidos por meio do questionário aplicado, foi dividida a sensação térmica em uma escala de 7 pontos (ASHRAE 55, 2004), que representam muito frio (-3), frio (-2), ligeiramente frio (-1), neutralidade (0), ligeiramente quente (+1), quente (+2) e muito quente (+3).

Nas figuras 5.7 a 5.10 são apresentados os julgamentos dos usuários das salas de aula avaliadas da Escola de Minas (EM), do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB III) e do Bloco de Salas em relação a esta escala de preferência subjetiva de conforto.

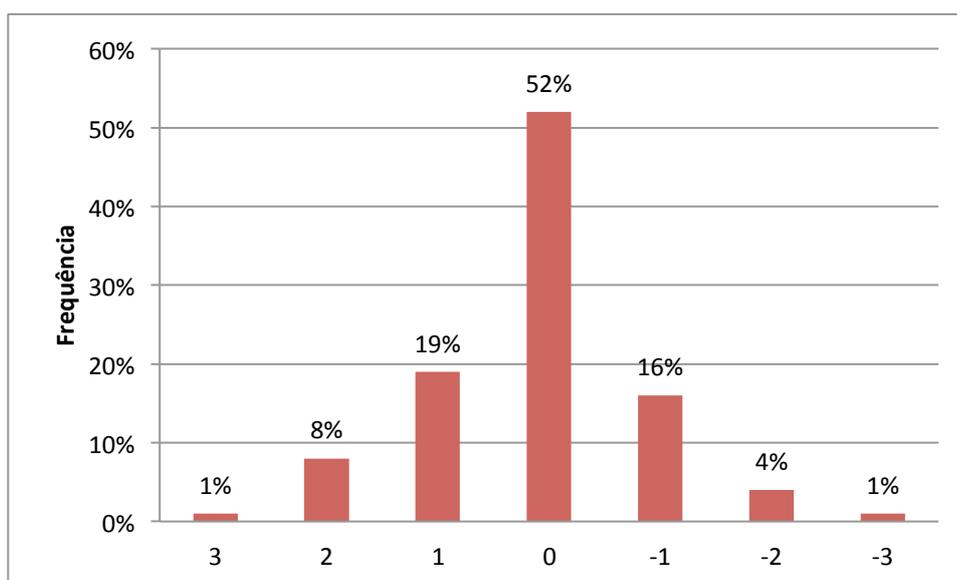


Figura 5.7 - Julgamentos subjetivos gerais sobre conforto térmico

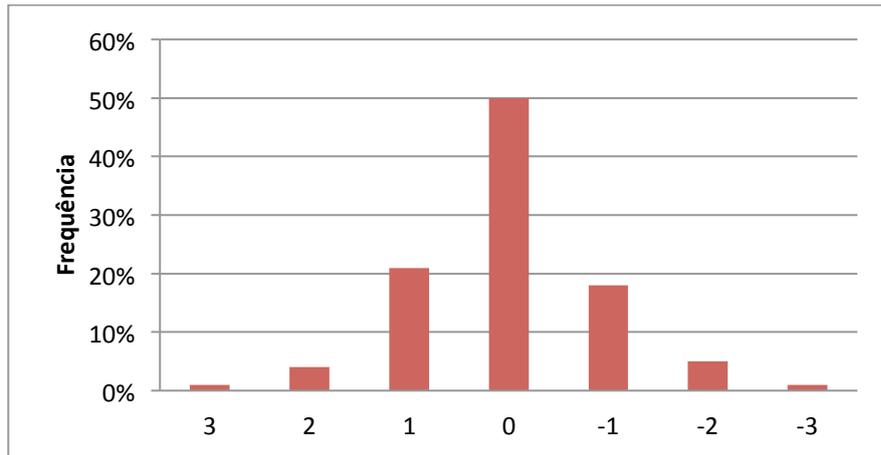


Figura 5.8 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (EM)

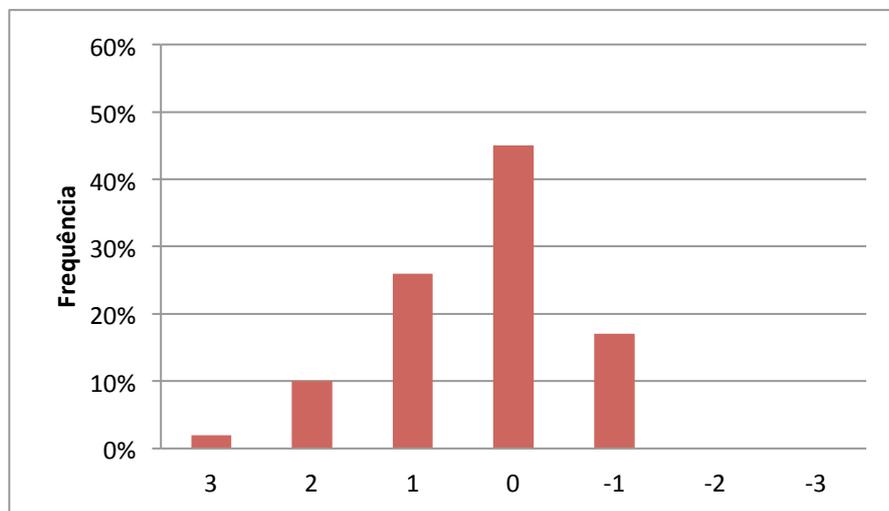


Figura 5.9 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (ICEB III)

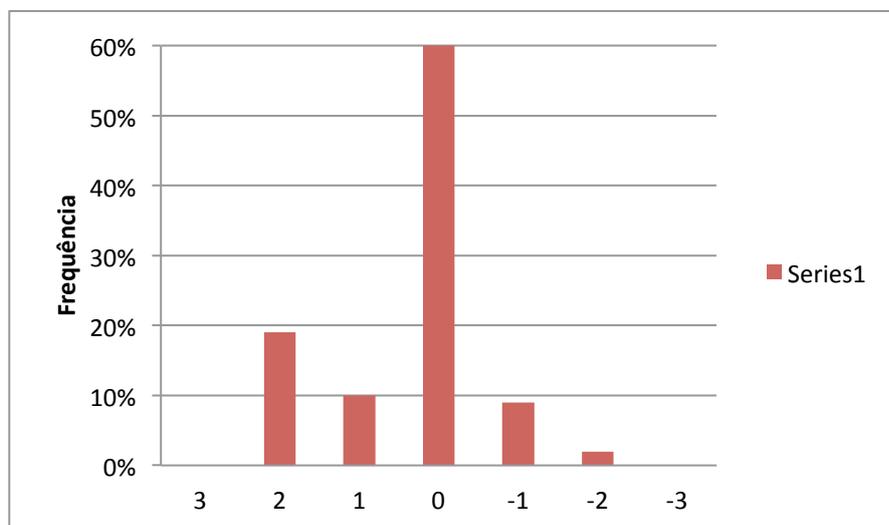


Figura 5.10 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (Bloco de Salas)

Nota-se que em relação aos ambientes analisados há neutralidade para metade dos ocupantes do ambiente. Os julgamentos, levando-se em conta cada prédio em separado (EM, ICEBIII e Bloco de salas), são também similares, com a maioria votando em neutralidade (0), depois em ligeiramente frio e ligeiramente quente (-1 e +1) e a minoria em frio ou quente (-2 e +2) e poucos em muito frio ou muito quente (-3 e +3).

Prosseguindo com os julgamentos subjetivos sobre conforto térmico, são apresentadas nas Figuras 5.11 a 5.19, ainda em relação à escala de 7 pontos, a aceitabilidade dos usuários quanto aos ambientes que frequentam, o sexo e o tipo de vestimenta que estão vestindo no momento do preenchimento do questionário.

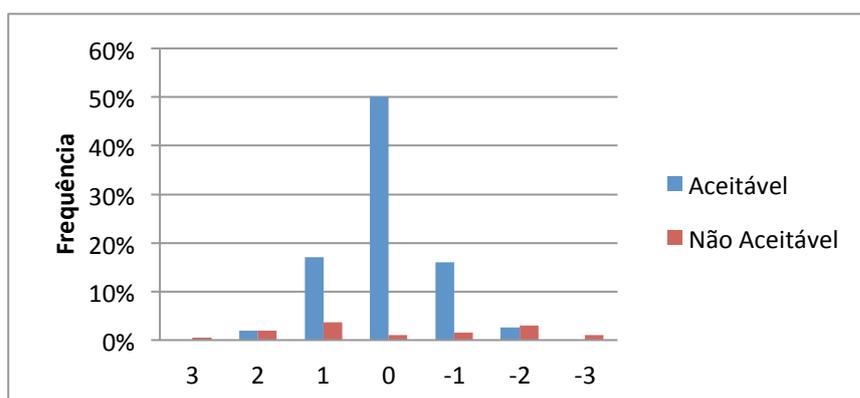


Figura 5.11- Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (EM)

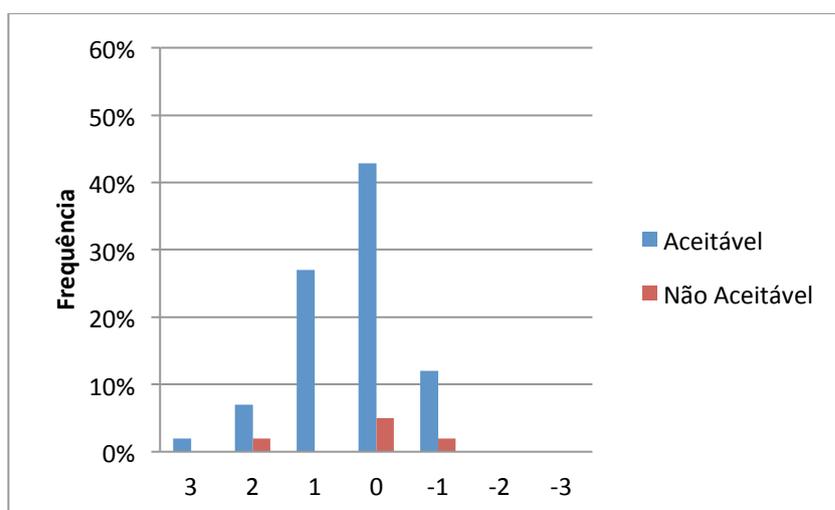


Figura 5.12 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (ICEB III)

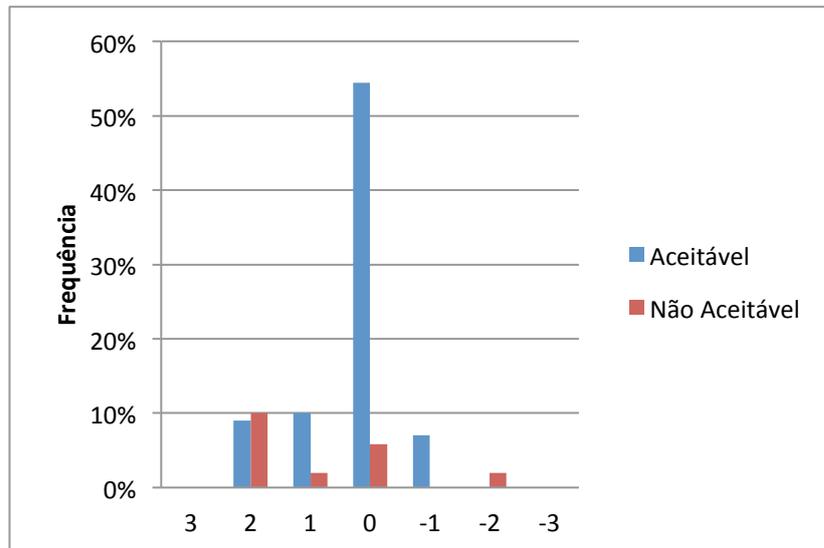


Figura 5.13 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (Bloco de salas)

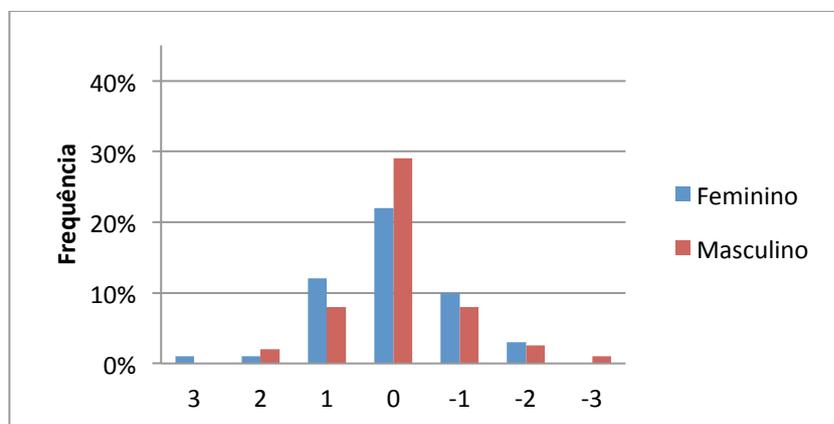


Figura 5.14 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (Escola de Minas)

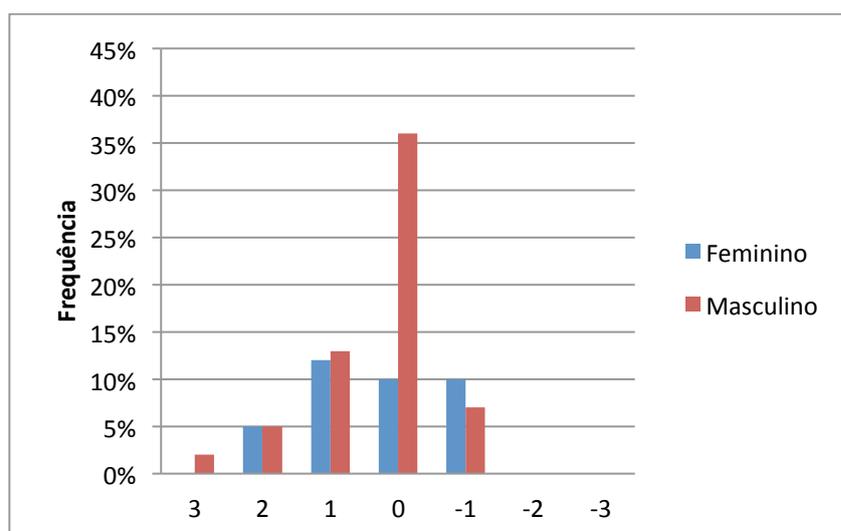


Figura 5.15 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (ICEB III)

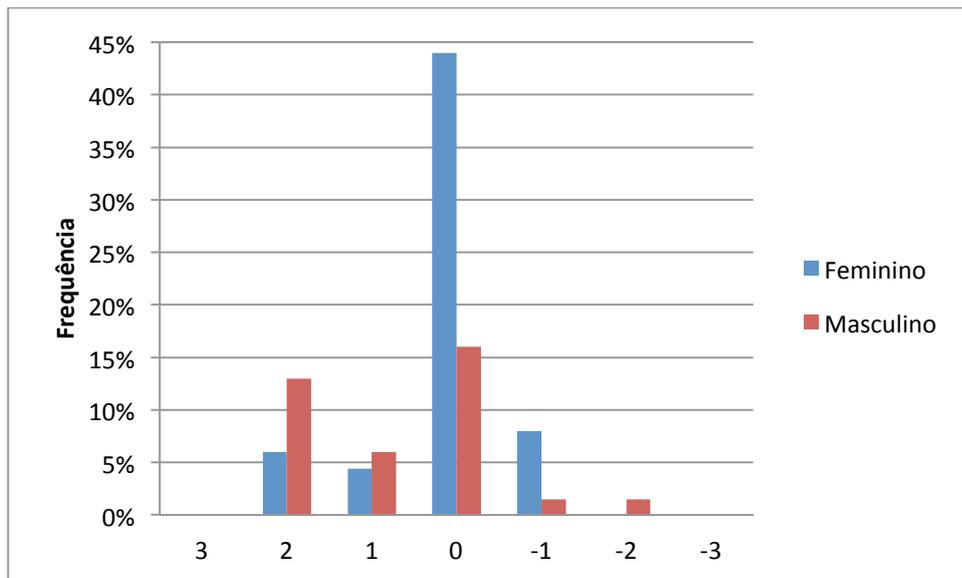


Figura 5.16 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (Bloco de Salas)

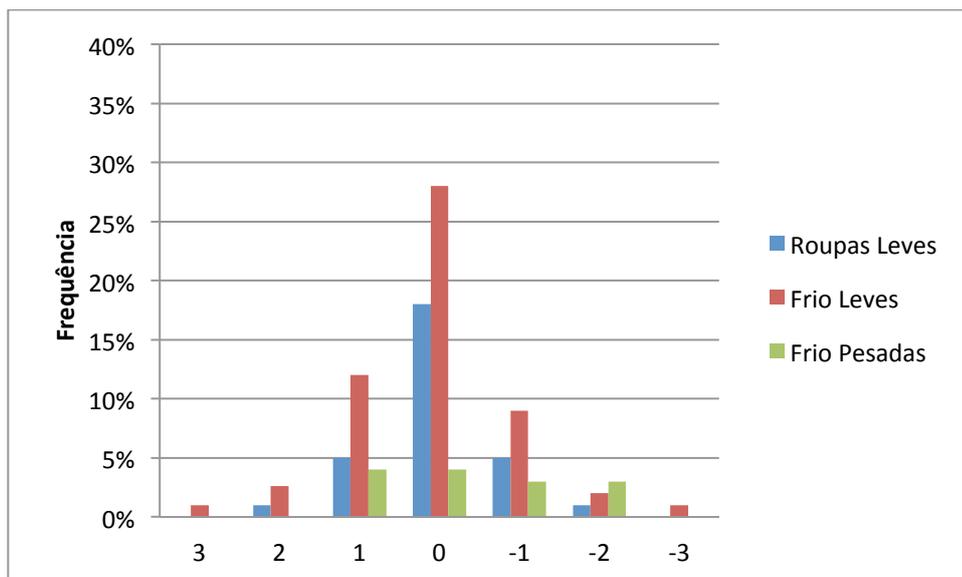


Figura 5.17 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com a vestimenta (EM)

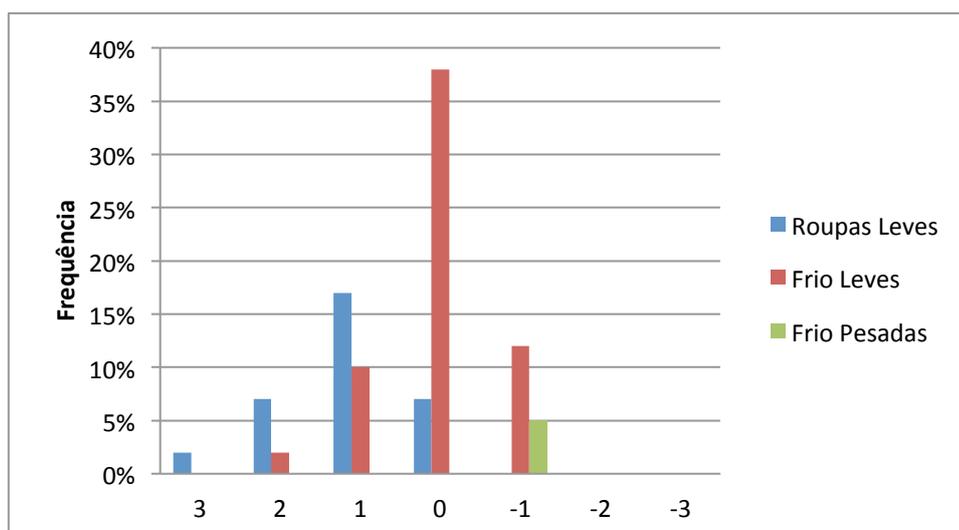


Figura 5.18 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo coma vestimenta (ICEB III)

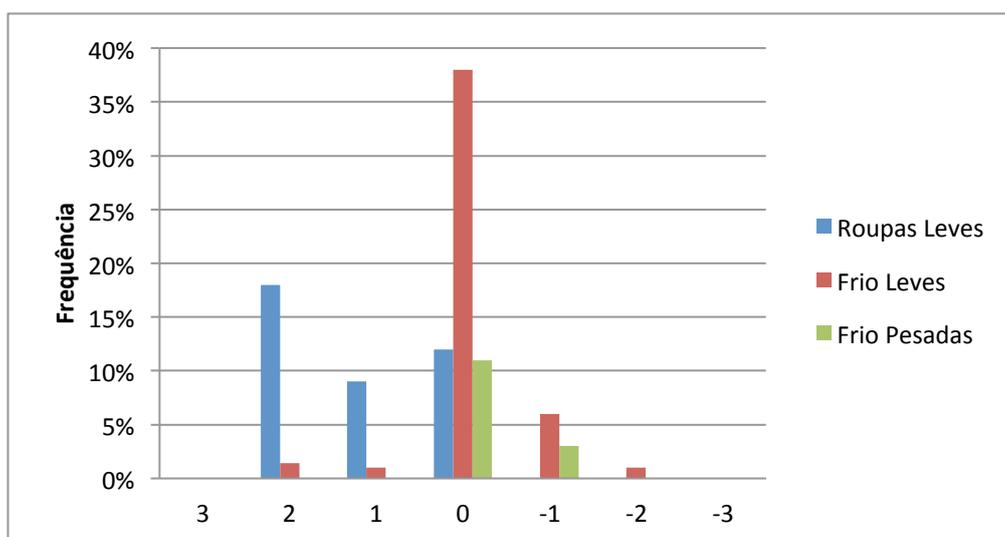


Figura 5.19 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo coma vestimenta (Bloco de Salas)

Observando-se os dados mostrados nas figuras de 5.10 a 5.18, tem-se que os usuários das salas de aula são em sua maioria homens nos dois prédios analisados (EM e ICEB III), e maioria mulheres no edifício do Bloco de salas. Os ambientes são considerados confortáveis termicamente e aceitáveis para se estar todos os dias naquele período. Em relação à vestimenta, a opção para a maioria dos usuários foi a do tipo frio leve que se constitui de calça comprida, camisa de manga comprida ou camisa de manga curta com uma jaqueta leve. De

acordo com estas sensações de conforto térmico, foi questionado também aos alunos, as sensações percebidas no momento da medição (Figuras 5.19 a 5.21).

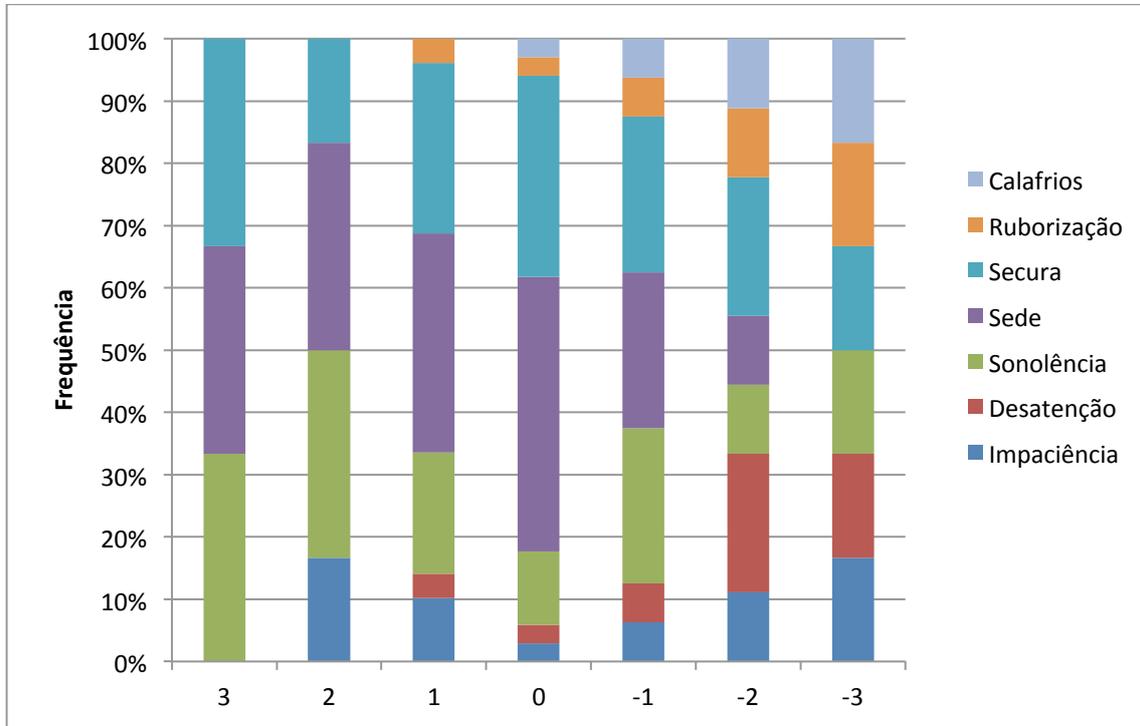


Figura 5.20 - Sensações percebidas de acordo os julgamentos subjetivos (EM)

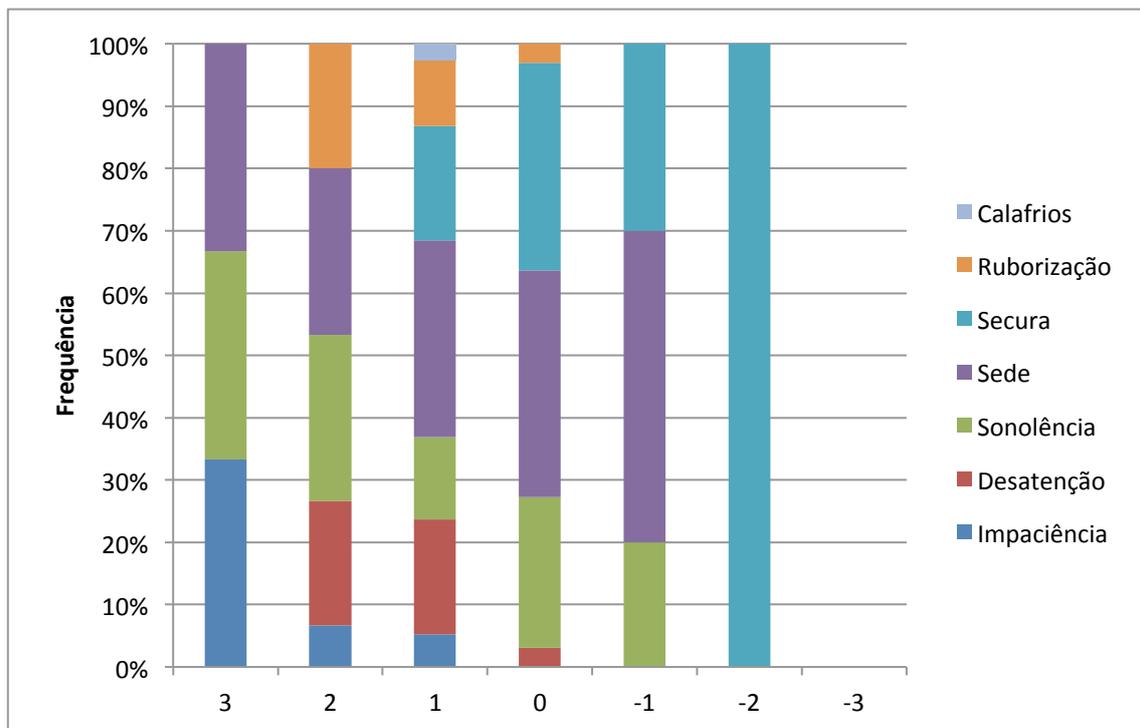


Figura 5.21 - Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (ICEB III)

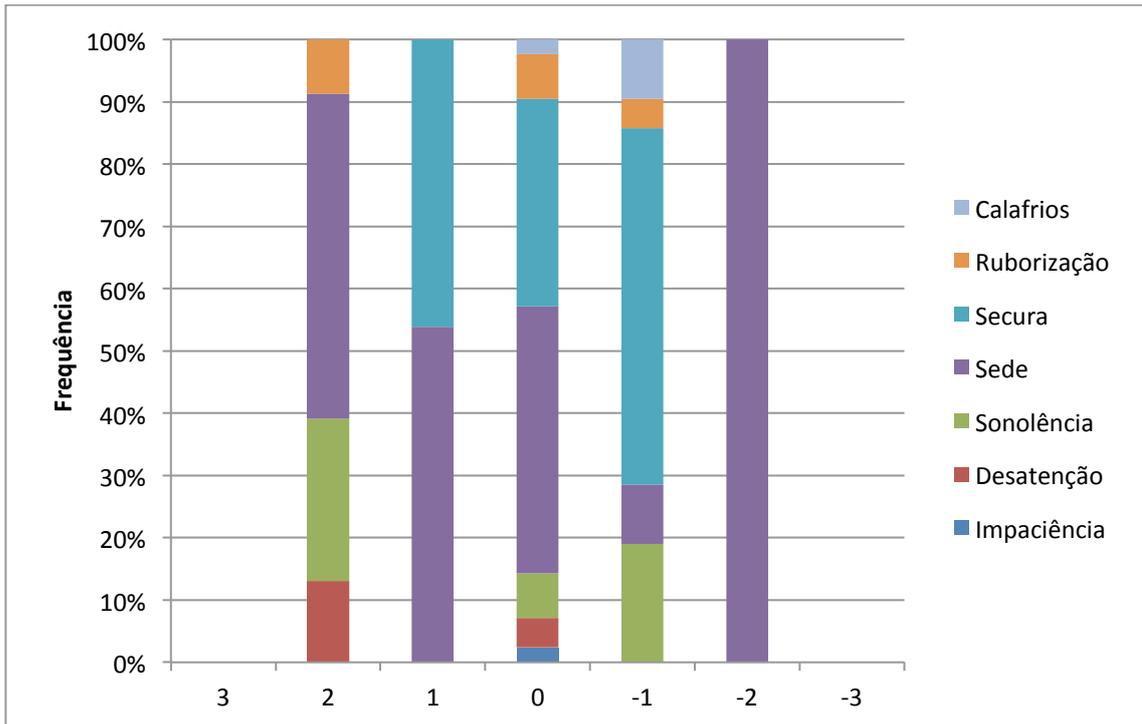


Figura 5.22 - Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (Bloco de salas)

As principais sensações percebidas pelos usuários no momento das medições foram sede, sonolência e secura. Quando o ambiente é considerado mais frio, há o aumento da presença de calafrios, e quanto o ambiente fica mais quente, aumenta-se a desatenção e a impaciência.

Seguindo a análise, foi questionado sobre a circulação de ar nas salas de aula dos prédios avaliados (Figuras 5.23 a. 5.25), ainda em função da escala subjetiva de 7 pontos que avalia o conforto ambiental.

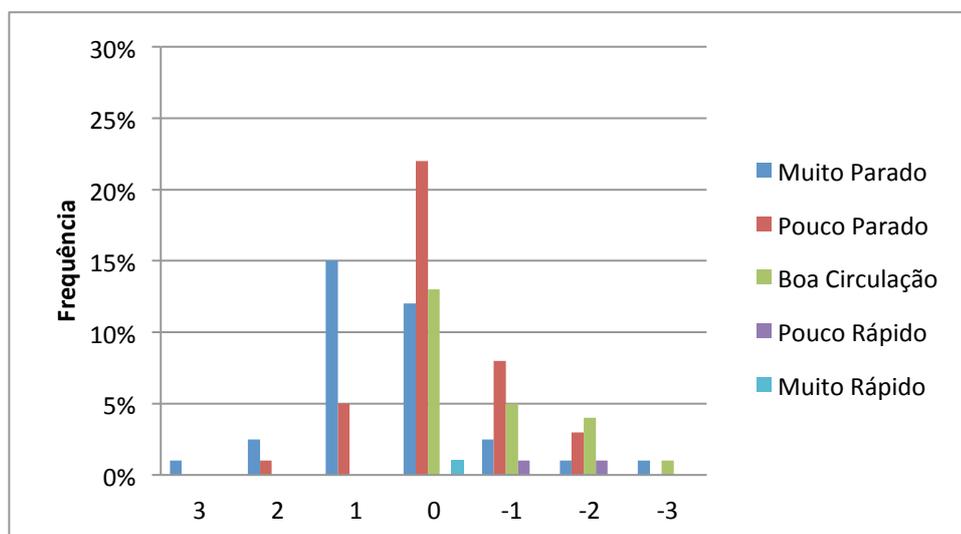


Figura 5.23 – Sensações térmicas subjetivas em relação ao movimento do ar (EM)

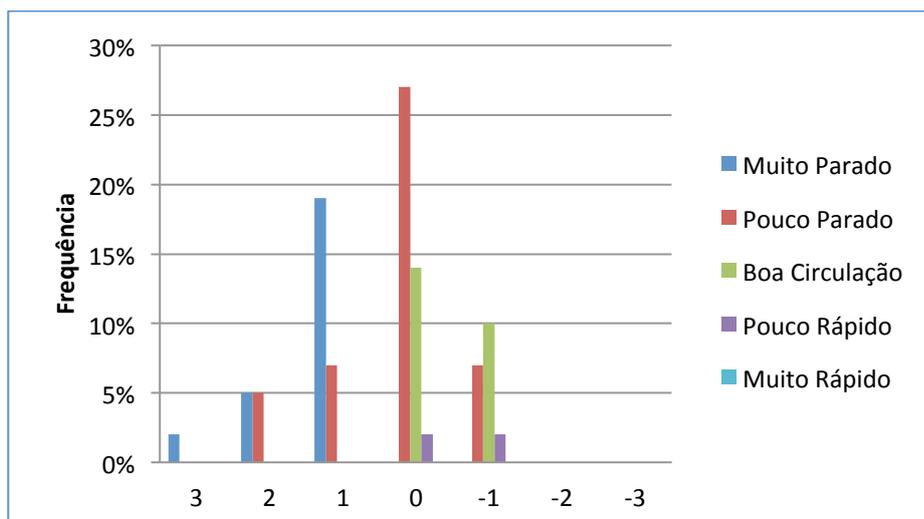


Figura 5.24 – Sensações térmicas subjetivas em relação ao movimento do ar (ICEBIII)

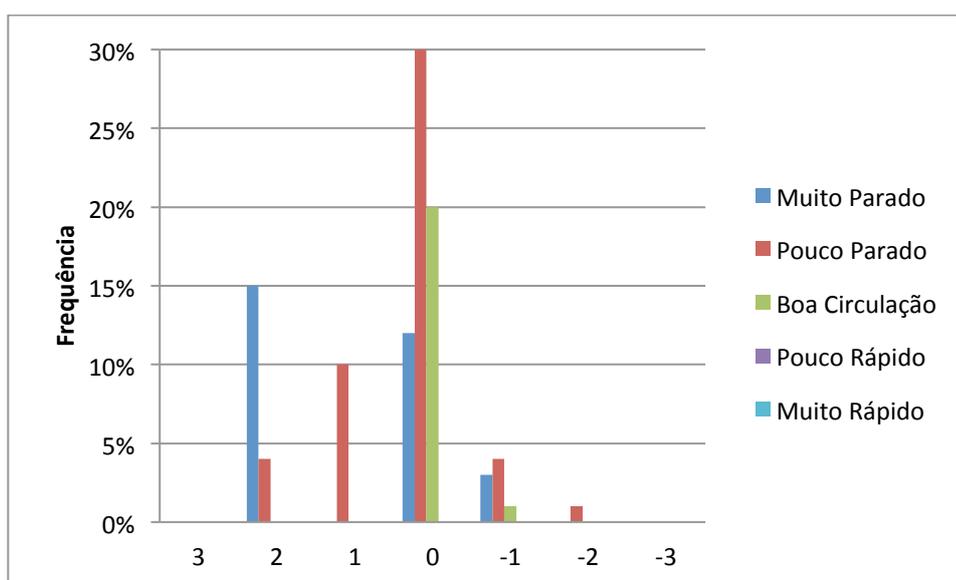


Figura 5.25 – Sensações térmicas subjetivas em relação ao movimento do ar (Bloco de salas)

Quanto ao movimento do ar, observa-se que, de forma geral, ele é considerado um pouco parado, o que caracteriza um ambiente com pouca ventilação.

Avalia-se ainda a interferência do ruído e da iluminação no conforto das salas de aula. Sabe-se que o ruído é um dos fatores importantes na avaliação de um ambiente e que pode de alguma forma interferir na avaliação térmica do ambiente (Figuras 5.25 a 5.27).

A diferença dos locais de medição é importante na análise dos dados. O ruído na Escola de Minas, seja externo e interno, não perturba a maioria dos alunos no desenvolvimento de suas atividades, e a minoria acha que incomoda um pouco. Já no ICEB III, a maioria dos votos considera que os ruídos incomodam as aulas, seguido de “não perturba” e “incomoda muito” com pouca diferença entre eles. No Bloco de salas o ruído interno incomoda os usuários e o externo não incomoda.

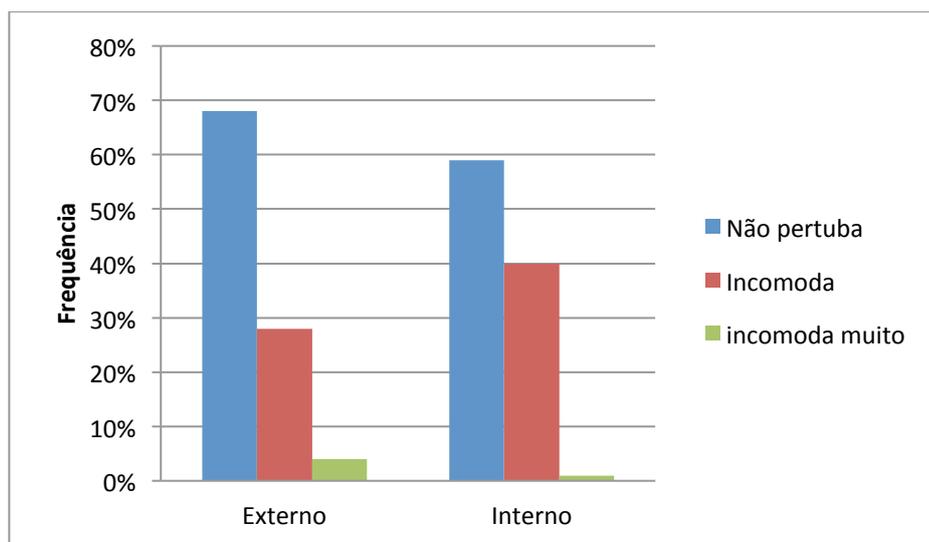


Figura 5.26 - Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (EM)

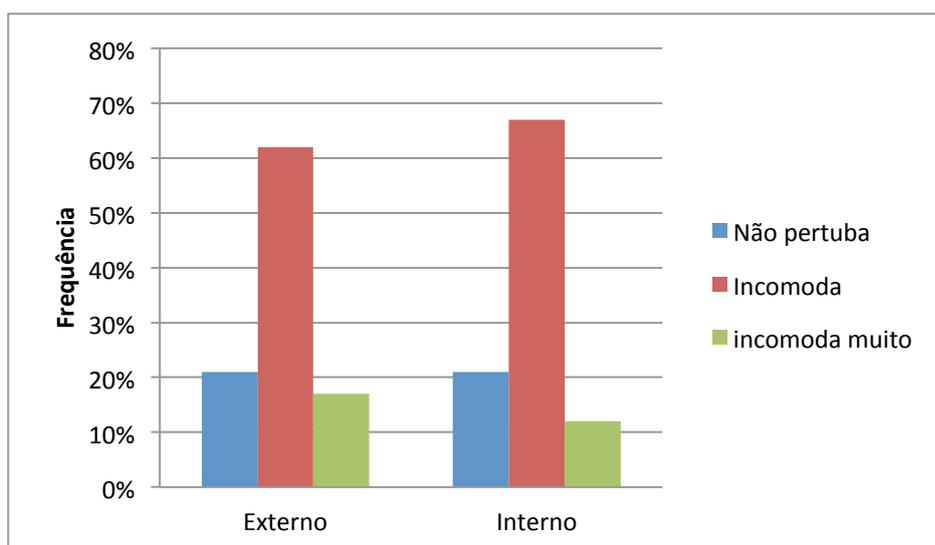


Figura 5.27 - Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (ICEB III)

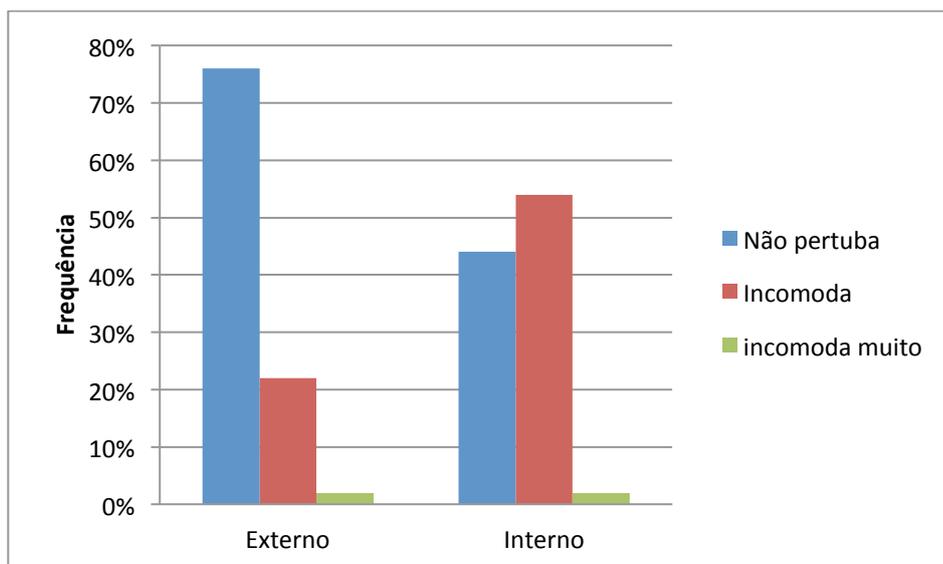


Figura 5.28 - Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (Bloco de salas)

Foi questionado também o tipo de iluminação que é utilizado no ambiente (artificial ou natural) e como os usuários a consideram, como ótima, razoável ou péssima (Figuras 5.29 a 5.31).

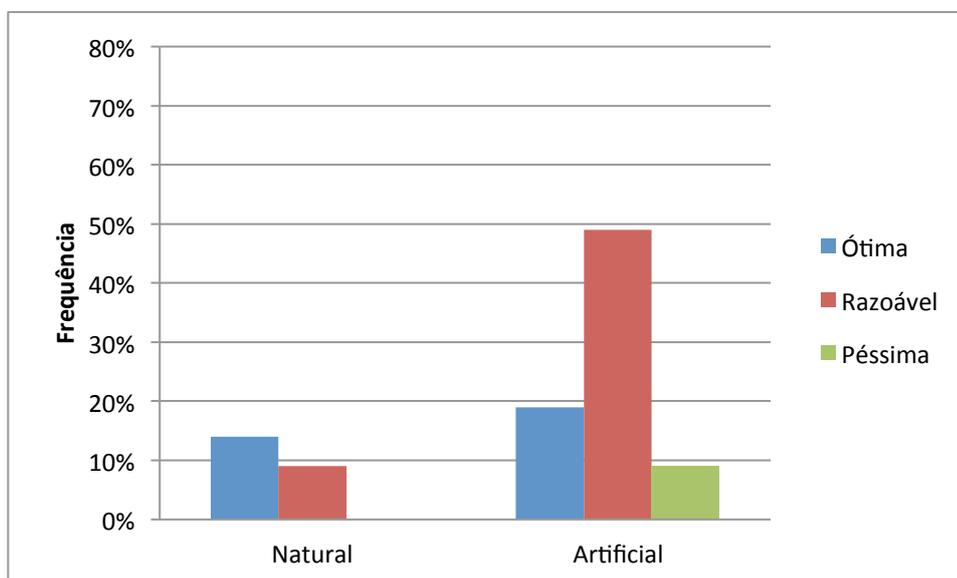


Figura 5.29 - Percepção da iluminação sala de aula (EM)

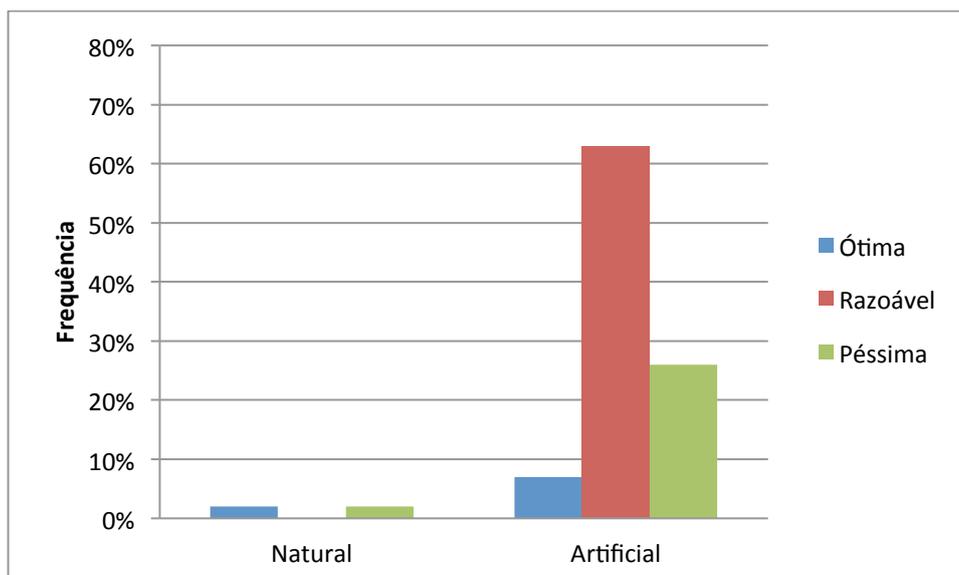


Figura 5.30 - Percepção da iluminação sala de aula (ICEBIII)

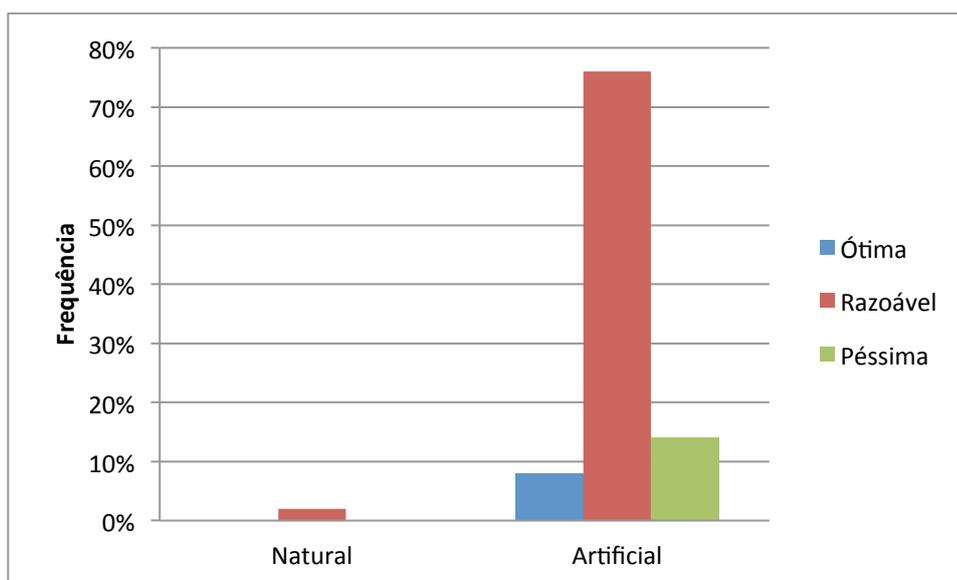


Figura 5.31 - Percepção da iluminação sala de aula (Bloco de salas)

Quanto à avaliação da iluminação dos ambientes, observa-se que nos três prédios analisados, na maior parte do tempo, utiliza-se luz artificial, e esta é considerada razoável por grande parte dos seus usuários.

Também foi avaliado se há ou não a incidência de luz solar no ambiente e se há o controle desta incidência para o conforto luminoso da sala de aula (Figuras 5.32 a 5.34).

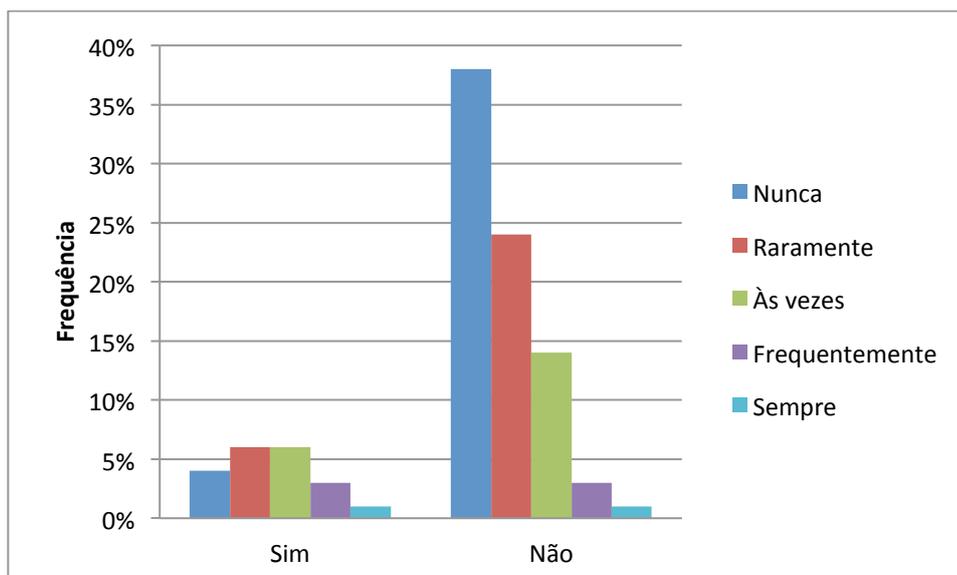


Figura 5.32 - Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persianas (EM)

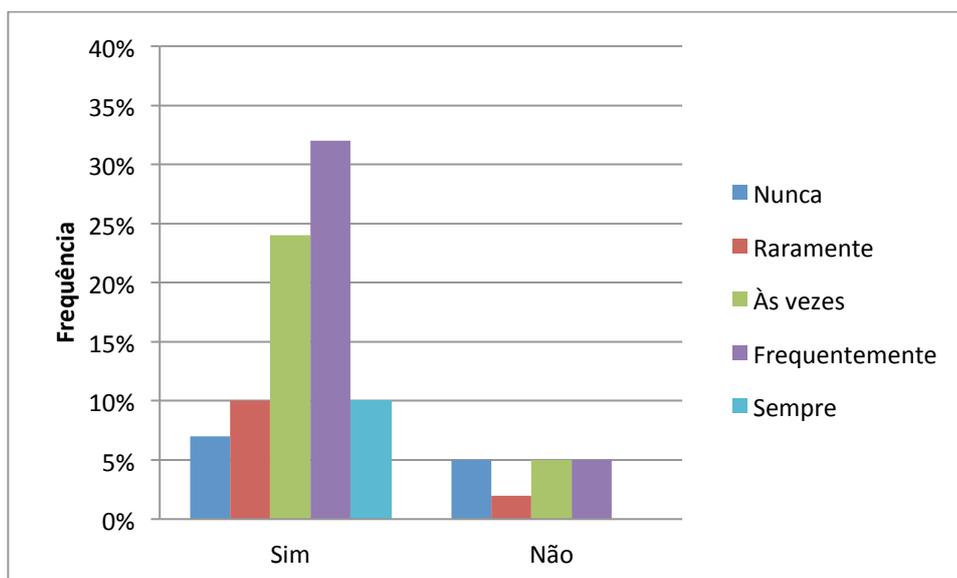


Figura 5.33 - Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persiana (ICEB III)

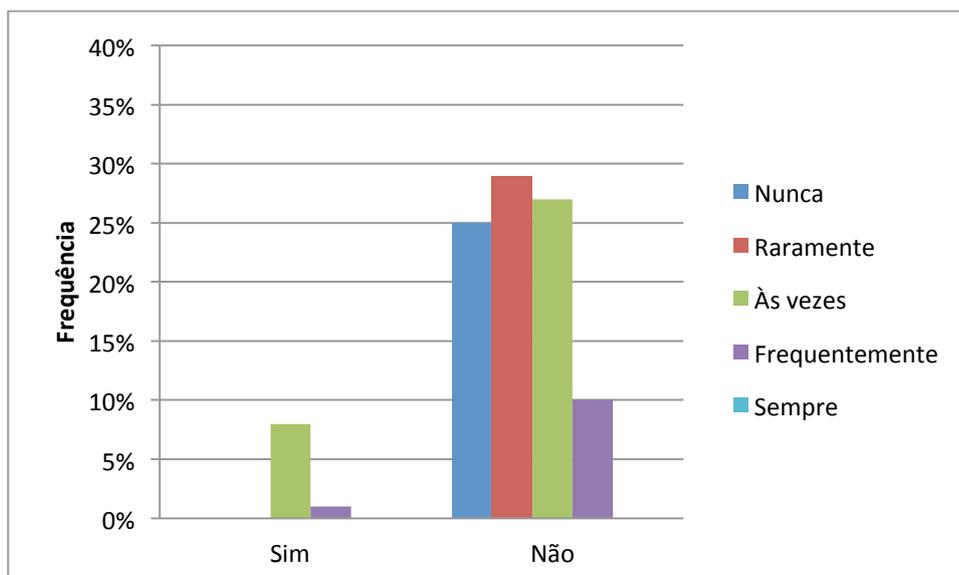


Figura 5.34 - Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persiana (Bloco de Salas)

Nas salas do Prédio da Escola de Minas, a maioria dos usuários afirmou que não há a incidência solar e que nunca tem necessidade de controle da mesma. Nas salas onde existia este problema já foi adotado o uso de brises como forma de proteção solar, porém, a iluminação é sempre artificial, pois os brises bloqueiam a entrada de luz natural. Nas salas do ICEB III foi constatada a necessidade do uso de proteção solar frequentemente. No Bloco de salas também não foi constatado necessidade. No caso do Bloco de salas foram avaliadas apenas salas com orientação solar leste. Nas salas com orientação solar oeste, por meio das cartas solares, foi detectado a necessidade de proteção solar.

Para finalizar a análise foi questionada a aceitabilidade do ambiente por parte dos usuários e se as atividades de estudo realizadas naquele ambiente térmico eram desenvolvidas normalmente ou ficavam prejudicadas (Figuras 5.35 a 5.40).

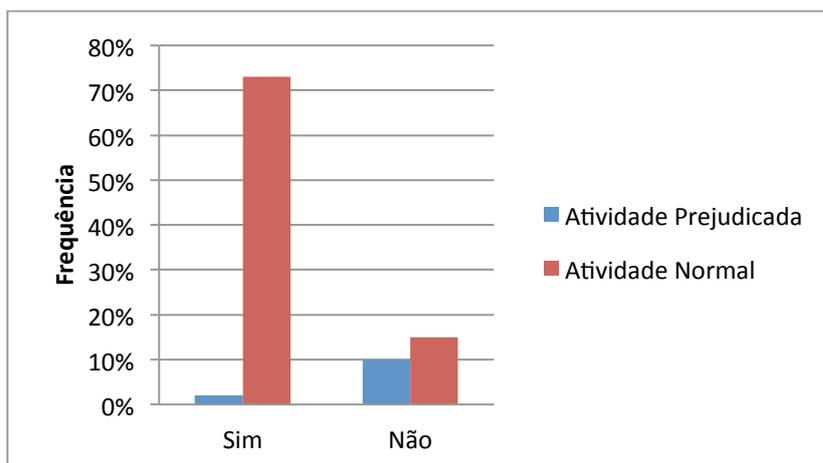


Figura 5.35 - Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (EM)

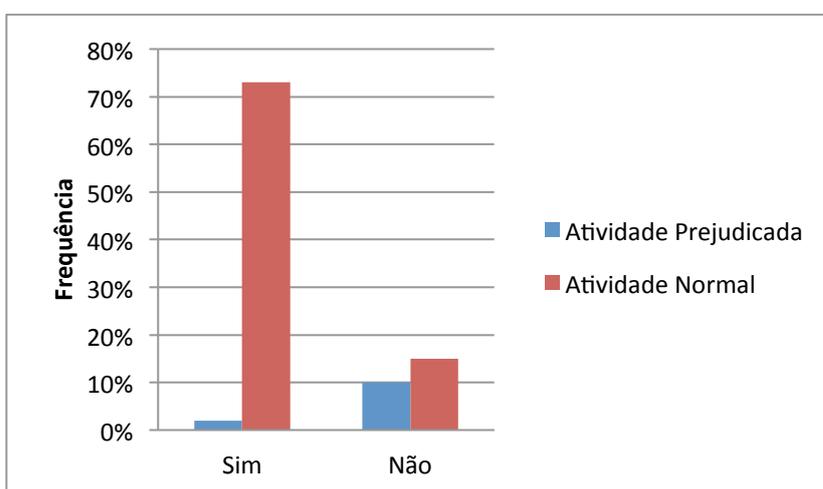


Figura 5.36 - Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (ICEB III)

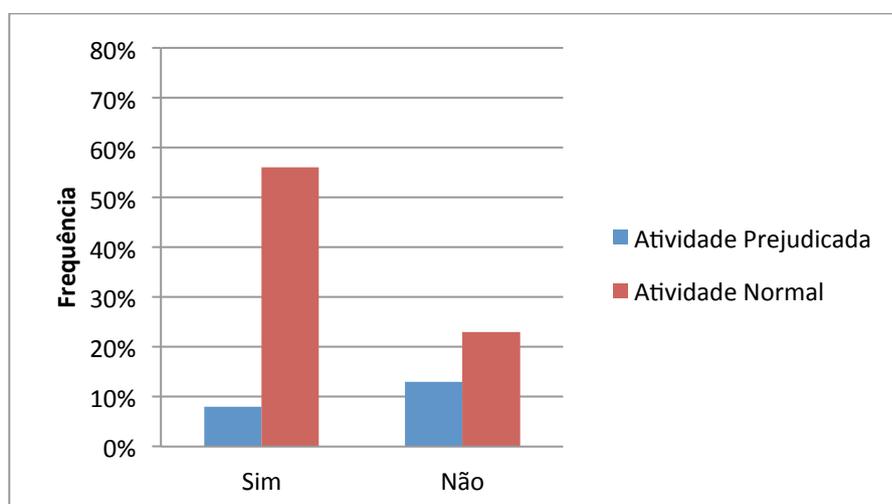


Figura 5.37 - Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (Bloco de salas)

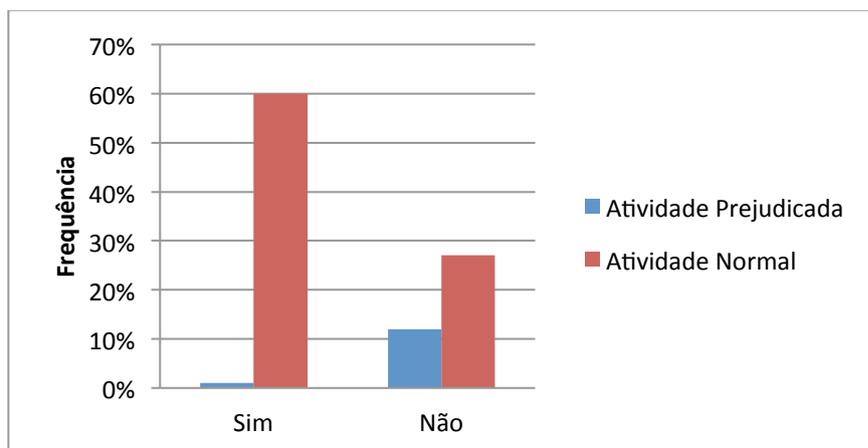


Figura 5.38 - Aceitabilidade do ambiente para estar todos os dias e capacidade de estudo (EM)

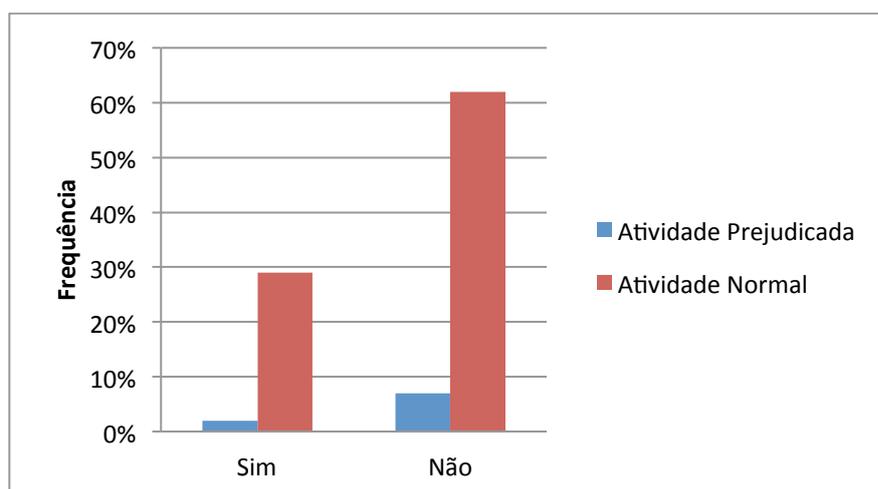


Figura 5.39 - Aceitabilidade do ambiente para estar todos os dias e capacidade de estudo (ICEB III)

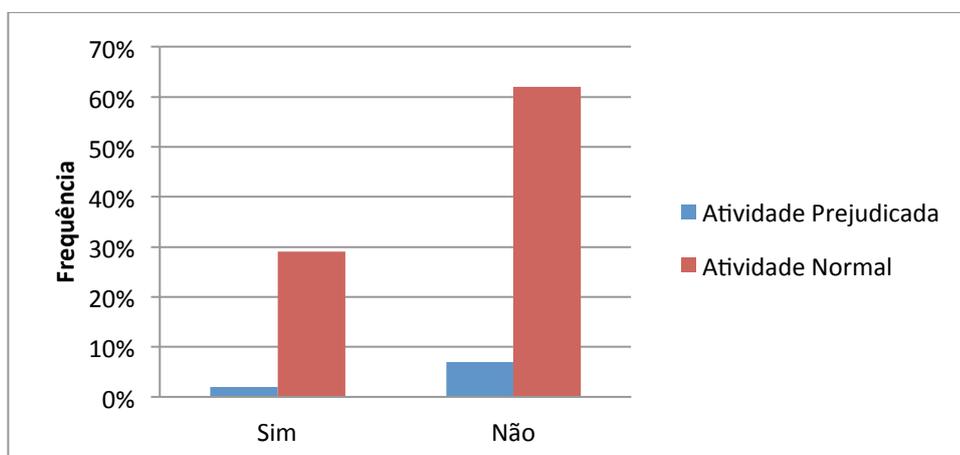


Figura 5.40 - Aceitabilidade do ambiente para estudar todos os dias e capacidade de estudo (Bloco de salas)

Pelos dados apresentados, há grande aceitabilidade do ambiente, e a sua atividade de estudo é realizada normalmente para a maioria dos usuários. De acordo com todos os resultados apresentados, o ambiente mostra-se confortável, com aceitabilidade do ambiente pela maioria dos usuários (aproximadamente 65%) no qual executam suas atividades de aprendizagem normalmente.

5.4. Cruzamento das variáveis ambientais e as psico-fisiológicas

Continuando-se a análise das variáveis ambientais e psico-fisiológicas, faz-se a correlação entre elas e apresenta-se as frequências relativas às sensações de conforto térmico obtidas por meio dos questionários aplicados aos alunos nas salas de aula (Tabelas 5.3).

Tabela 5.3 – Sensação Térmica- Frequência absoluta da resposta para o grau de satisfação

T_o (°C)	ϕ (%)	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
16,4	62,8	0	1	7	15	1	0	0	24
20,0	67,1	3	9	13	2	0	0	0	27
21,0	63,4	0	1	3	9	0	0	0	13
21,4	44,2	2	1	2	11	8	0	0	24
22,0	34,2	0	0	7	24	4	1	0	36
22,1	44,2	0	0	0	4	10	4	1	19
22,8	49,2	0	0	0	9	7	13	0	29
22,9	55,8	0	0	3	24	0	0	0	27
23,0	44,6	0	0	7	10	15	3	1	36
23,3	49,3	0	0	1	6	0	0	0	7
23,4	50,8	0	0	1	19	13	2	0	35
24,6	49,7	0	0	2	22	4	3	4	35
Total		5	12	46	155	62	26	6	312

Nas figuras 5.41 a 5.44 mostram-se o cruzamento entre as variáveis medidas e as variáveis psico-fisiológicas, sendo elas: MF- muito frio, F- frio, LF ligeiramente frio, C- confortável, LQ- ligeiramente quente, Q- quente MQ- muito quente. Estas variáveis foram medidas em escalas subjetivas, segundo os campos 4, 5, 15 e 16 do questionário do Formulário 1 (ANEXO A) e foram analisadas considerando-se a sensação térmica, satisfação e adaptação ao ambiente.

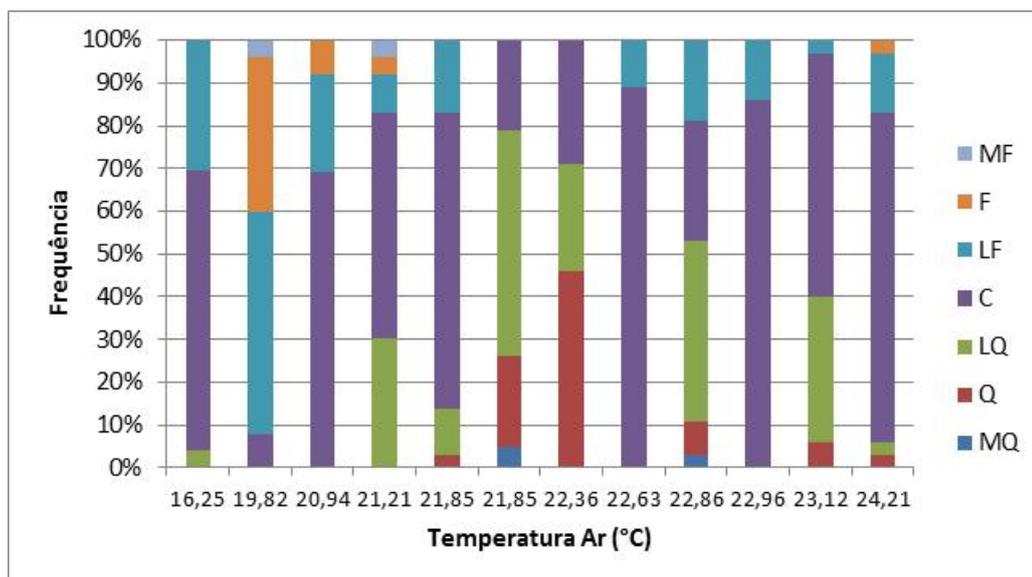


Figura 5.41 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura do ar.

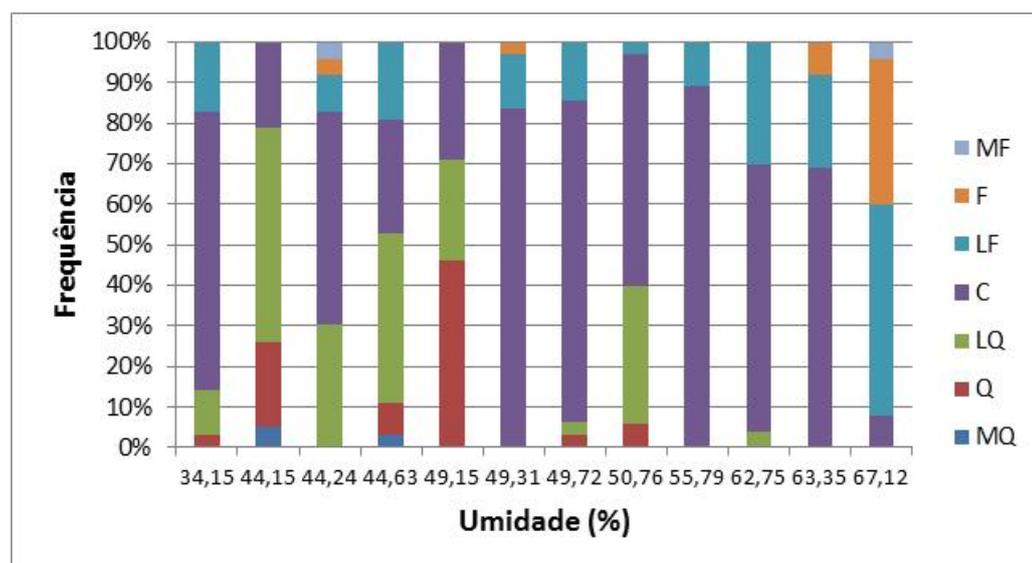


Figura 5.42 – Sensação térmica do ambiente com relação à umidade relativa do ar.

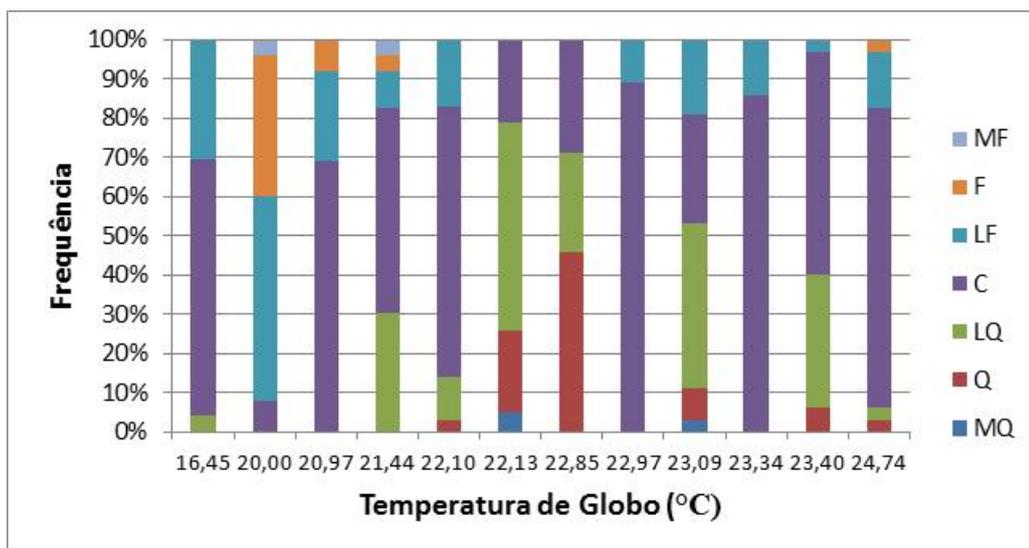


Figura 5.43 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura de globo.

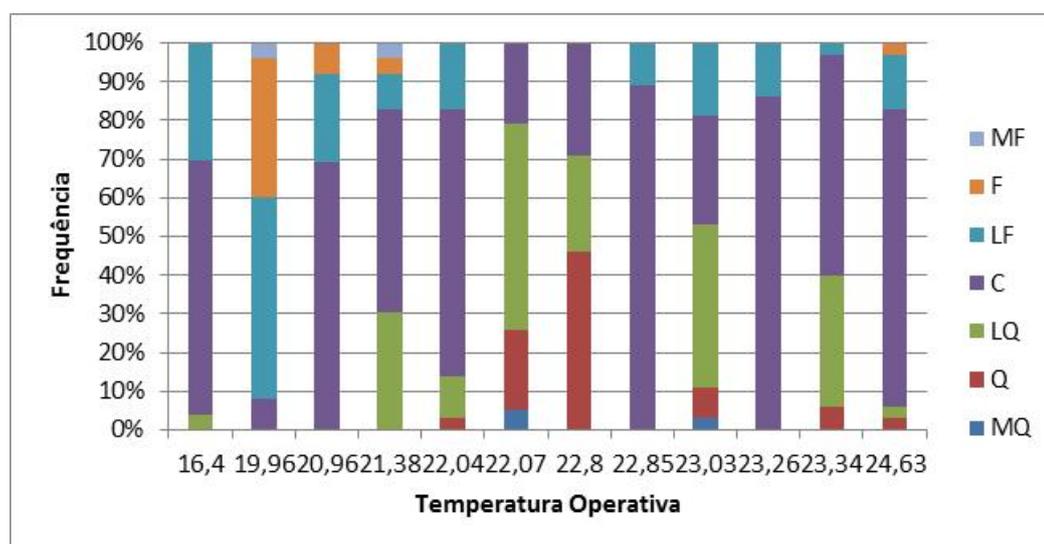


Figura 5.44 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura operativa.

Pelo fato de que a obtenção de todas as variáveis analisadas depende do valor de T_{ar} , nota-se uma correlação positiva muito forte entre a temperatura do ar (T_{ar}), temperatura de globo (T_G), temperatura radiante média (\bar{T}_r) e temperatura operativa (T_o).

A partir da análise gráfica tem-se que o percentual de votos na categoria C da escala de sensação térmica apresentou uma correlação positiva com todas as variáveis ambientais, exceto com a umidade, que foi moderada positiva. Os graus MQ, Q e LQ mostraram uma correlação negativa moderada com as variáveis T_{ar} (temperatura do ar), T_G (temperatura de globo), \bar{T}_r (temperatura radiante média) e T_o (temperatura operativa). Os graus LF, F e MF apresentaram uma correlação de fraca a moderada e negativa com estas variáveis.

Os graus LF e F apresentaram correlações positivas, moderada e fraca, respectivamente, com a variável umidade, enquanto os graus MQ, Q e LQ, apresentaram uma correlação moderada negativa.

A análise gráfica dos resultados do cruzamento das variáveis ambientais com a sensação térmica demonstrou que, à medida que a temperatura do ar e a temperatura de globo vão aumentando, o grau de conforto (C) também aumentou, há uma tendência dos percentuais dos graus de sensação térmica levemente quente (LQ), quente (Q) e muito quente (MQ) diminuir e os percentuais dos graus levemente frio (LF), frio (F) e muito frio (MF) também diminuir. As mesmas tendências foram observadas em relação à temperatura operativa.

Com relação à umidade, ela estava com valores mais baixos quando o ambiente estava considerado quente e mais alta em ambientes mais frios. Pode-se levar em consideração também o clima da região, que em dias frios é comum névoa e chuva.

5.4.1 Satisfação com o ambiente

Nas figuras 5.45 a 5.47 apresentam-se o cruzamento da variável satisfação com o ambiente com a temperatura e umidade relativa do ar e temperatura operativa.

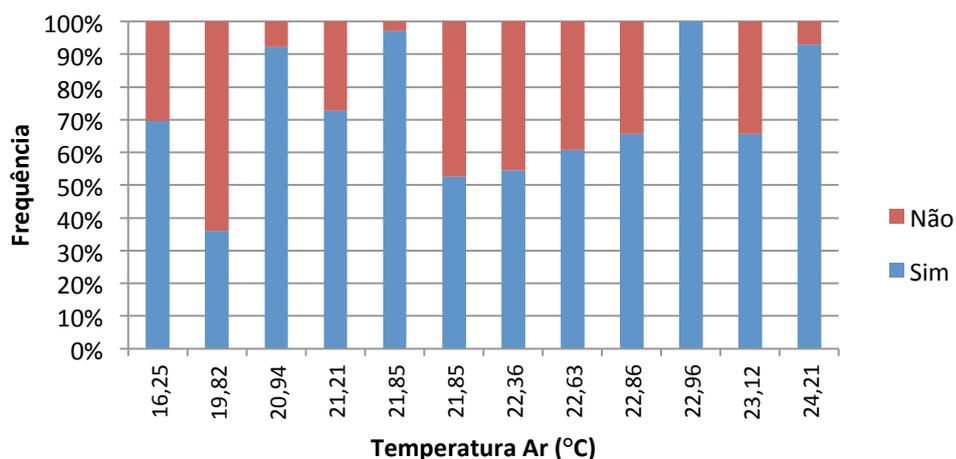


Figura 5.45– Cruzamento da temperatura do ar com a variável de satisfação com o ambiente.

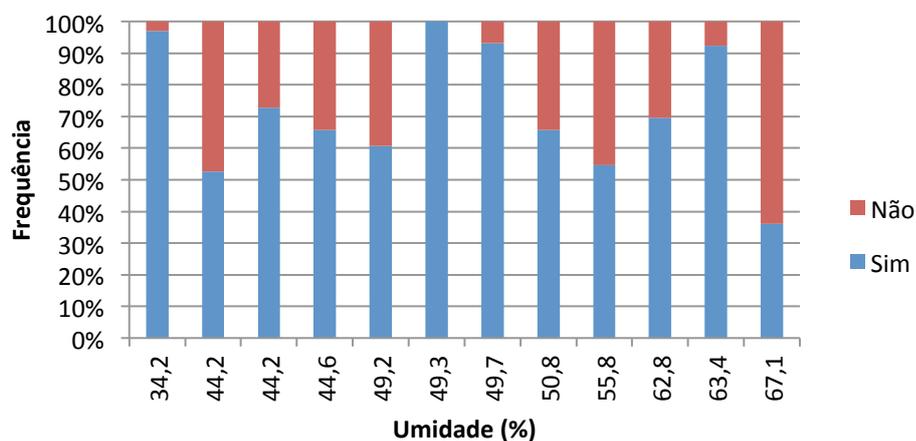


Figura 5.46 – Cruzamento da umidade com a variável de satisfação com o ambiente.

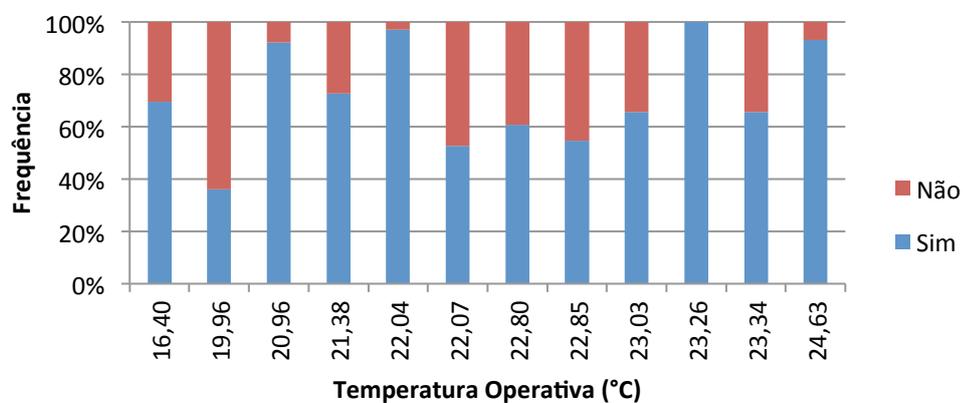


Figura 5.47– Cruzamento da temperatura operativa com a variável de satisfação com o ambiente.

De forma geral, o nível de satisfação permanece bom, com pequenas oscilações, durante quase toda a faixa de temperatura observada, caindo consideravelmente na temperatura em torno de 20,0 °C tanto para T_{ar} quanto para T_o . Quanto ao grau de satisfação em relação à umidade do ambiente houve grande oscilação. Nota-se que umidade baixa gera insatisfação, e umidade mais alta, satisfação.

5.4.2. Capacidade de adaptação ao ambiente

Nas figuras 5.48 a 5.50, apresentam-se o cruzamento dos julgamentos da capacidade de estudar no ambiente (considerada pelos alunos em normal ou prejudicada) com a temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura operativa.

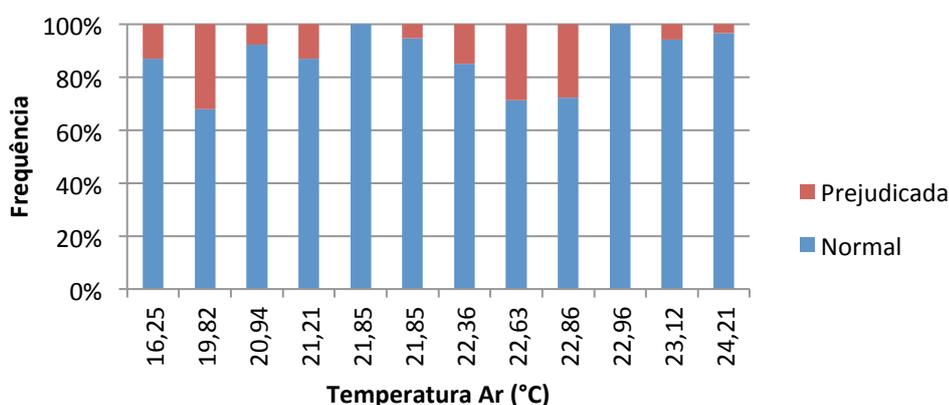


Figura 5.48– Cruzamento da temperatura do ar com a capacidade de estudar no ambiente.

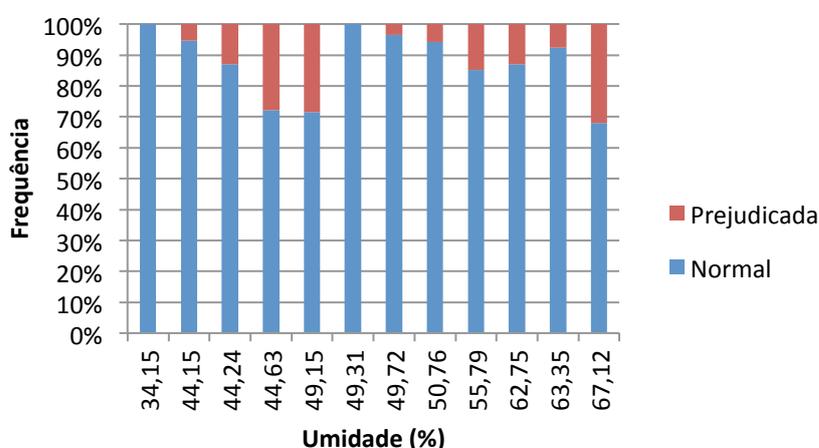


Figura 5.49 – Cruzamento da umidade com a capacidade de estudar no ambiente.

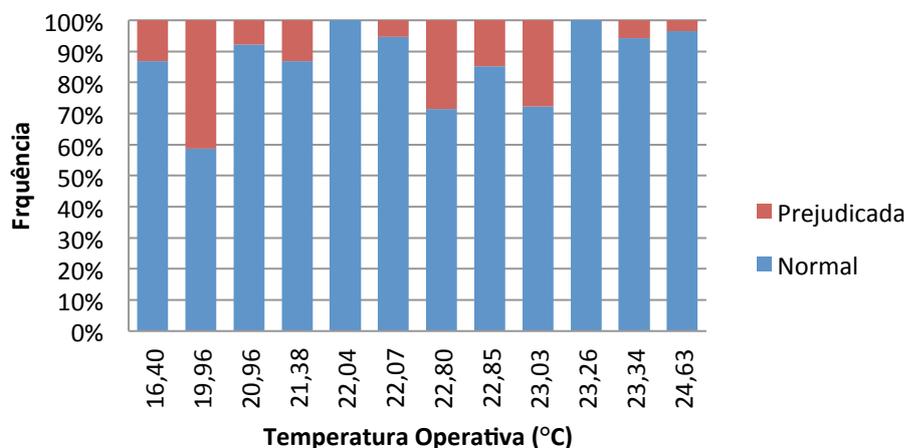


Figura 5.50 – Cruzamento da temperatura operativa com a capacidade de estudar no ambiente.

A adaptação ao ambiente foi pesquisada por meio de duas escalas subjetivas: aceitação do ambiente e capacidade de estudar nele, correspondendo aos campos 5 e 16 do Formulário 1 (ANEXO A).

Pode-se observar de maneira geral que o nível de aceitação do ambiente, oscila bastante. Nota-se que ele cai tanto a partir de temperaturas mais altas, como também em temperaturas mais baixas. Entre estes extremos, há uma oscilação, mas o ambiente continua sendo aceitável para a maioria dos usuários.

Esses resultados mostram o que foi discutido sobre os índices biofísicos de conforto: o nível de satisfação não é em função exclusiva das condições ambientais. As oscilações podem ter ocorrido em função do uso de mecanismos adaptativos (neste caso, por exemplo, o tipo de vestimenta) por parte dos usuários, resultando em níveis de satisfação diferenciados, como também questões relacionadas à radiação solar.

5.5. Definição dos limites de conforto térmico

Após a formatação dos dados levantados em campo, procedeu-se a determinação dos limites de conforto térmico para a população em estudo, a partir das proporções de votos levantados para cada grau de sensação térmica.

A análise estatística utilizada para determinar os resultados relacionados à zona de conforto, a partir dos dados coletados da sensação térmica dos usuários, levou em conta o cálculo das médias da temperatura operativa e da umidade relativa e partir destas o desvio padrão (δ) para a determinação dos intervalos de confiança de temperatura e umidade.

Teoricamente, estima-se que, para dados distribuídos normalmente², a faixa de $\pm 1\delta$ inclui 68% das respostas e $\pm 2\delta$ inclui 95% das respostas. Portanto foi usado para obter as preferências para a faixa de temperatura operativa e de umidade relativa o intervalo entre $\pm 2\delta$, conforme o intervalo de confiança que se pretende adotar.

Os passos para a obtenção de um intervalo de conforto em relação a temperatura operativa e a umidade relativa são os seguintes:

i) Obtém-se a temperatura operativa (T_o) por meio da Eq. (4.2) (ASHRAE 55, 2004):

$$T_o = \frac{h_c T_{ar} + h_r \bar{T}_r}{h_c + h_r} \quad (4.2)$$

onde T_{ar} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), \bar{T}_r é a temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$), h_c é o coeficiente convectivo ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) e h_r é o coeficiente radiativo ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$). A temperatura radiante média, para condição de ventilação natural é obtida por meio da Eq. (4.1):

$$\bar{T}_r = \left[(T_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 (T_g - T_{ar})^{1/4} (T_g - T_{ar}) \right]^{1/4} - 273 \quad (4.1)$$

onde T_g é a temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$).

ii) Para a obtenção da faixa de temperatura operativa e umidade relativa (intervalos), pelo método estatístico utilizando o cálculo do desvio padrão a partir das médias, seguiu as seguintes etapas:

² A distribuição adotada como referência foi a distribuição normal.

a) Todas as respostas de sensação térmica, conforme mostradas na Tabela 5.4, são classificadas com os respectivos valores de temperatura e umidade relativa do ar, Tabela 5.3.

Tabela 5.4 - Escala de sensação térmica

-3	muito frio
-2	Frio
-1	leve sensação de frio
0	neutralidade térmica
+1	leve sensação de calor
+2	Quente
+3	muito quente

Fonte: ASHRAE 55, 2004.

b) Determina-se a média de cada grupo de sensação térmica em função do valor da temperatura operativa e umidade relativa.

c) Calcula-se o desvio padrão, $\pm 1\delta$ e $\pm 2\delta$, para cada grupo de sensação térmica em função da temperatura operativa e umidade relativa.

d) Toma-se como valor de referência, tanto para a temperatura operativa como para a umidade relativa, o valor de $\pm 2\delta$ (referente a 95% de probabilidade de ocorrência). Estes valores de temperatura operativa e umidade relativa são obtidos da interseção da reta, para -2δ e $+2\delta$, com a linha de sensação térmica de neutralidade térmica (0), lendo-se este valor no eixo “x”.

Os resultados são apresentados na seguinte ordem: (1) relação entre a sensação térmica e a temperatura operativa e a umidade relativa (Tabela 5.3); (2) gráficos de obtenção das faixas preferidas para a temperatura operativa e umidade relativa, $\pm 2\delta$; e (3) zona de conforto com os intervalos obtidos de temperatura operativa e umidade relativa.

Na correlação entre a sensação térmica percebida pelas pessoas e a temperatura operativa observa-se que na faixa de temperatura operativa e umidade relativa, estudadas, uma maior concentração da condição de neutralidade e uma leve sensação de calor das pessoas para uma temperatura operativa acima de 22 °C e umidade relativa em torno de 50% (Figuras 5.51 e 5.52).

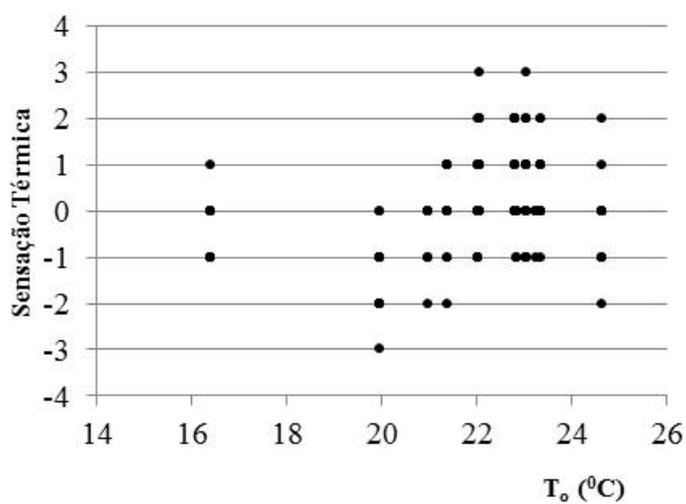


Figura 5.51 – Relação entre as respostas de sensação térmica e a temperatura operativa.

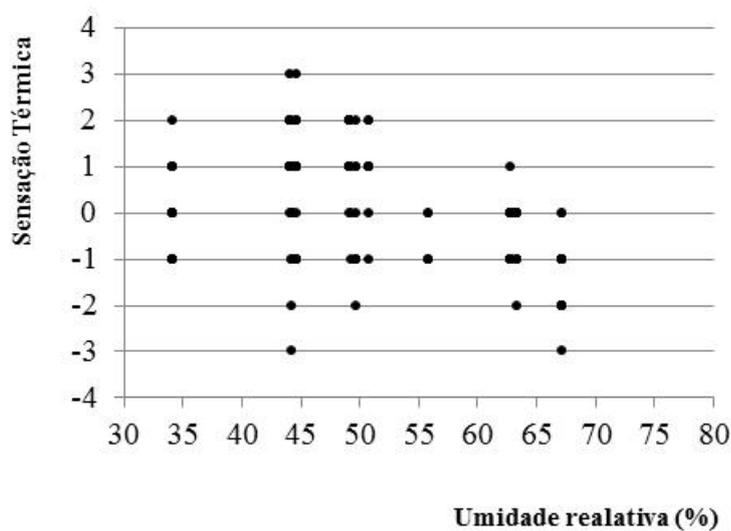


Figura 5.52 – Relação entre as respostas de sensação térmica e a umidade relativa.

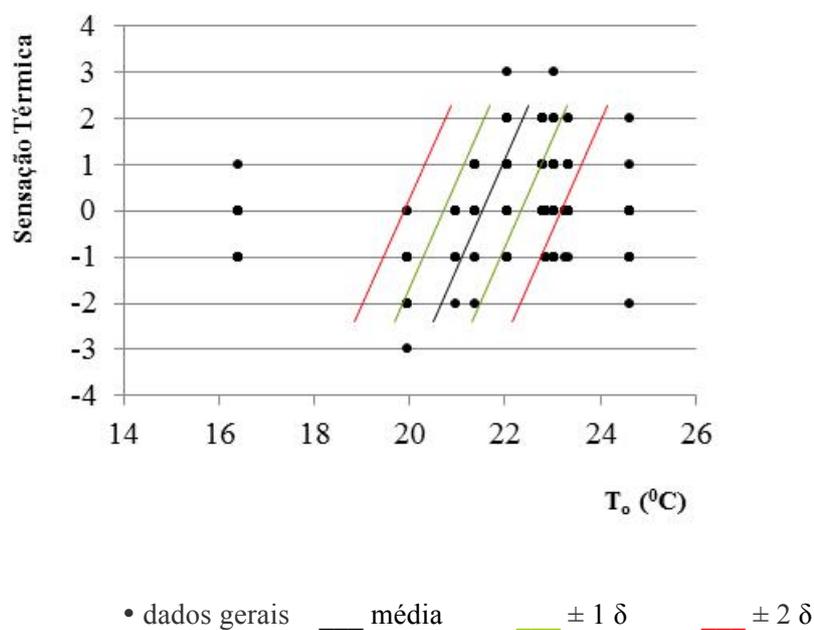


Figura 5.53 – Classificação dos dados da sensação térmica em função da temperatura operativa.

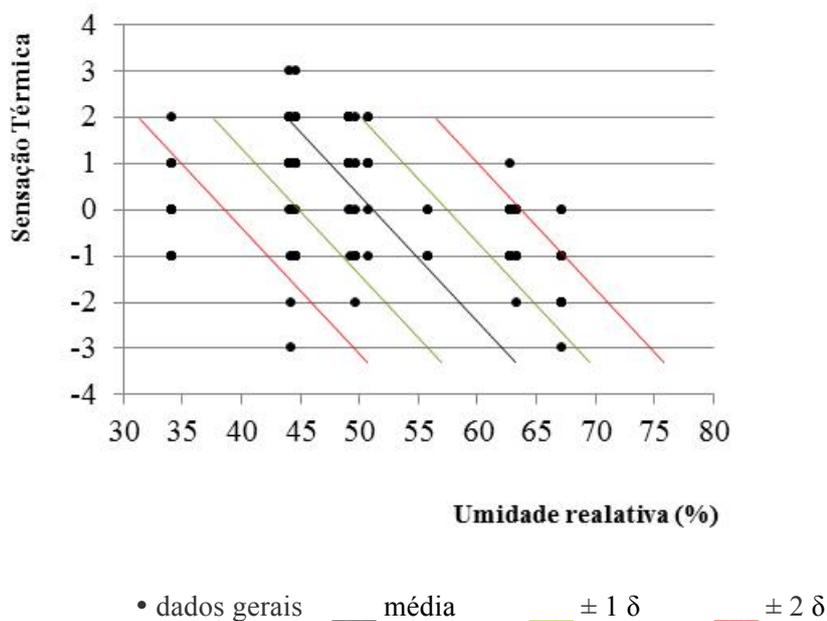


Figura 5.54 – Classificação dos dados da sensação térmica em função da umidade relativa.

Nas figuras 5.53 a 5.54 a linha central representa a média das respostas em relação à sensação térmica dos usuários em função da temperatura operativa e da umidade relativa, respectivamente. A primeira faixa a partir da linha central (média), em ambos os lados, representa o desvio padrão, $\pm 1 \delta$, para cada grupo de sensação térmica em função da temperatura operativa e umidade relativa, respectivamente. A segunda faixa a partir da linha

central (média), em ambos os lados, representa o desvio padrão, 2δ , para cada grupo de sensação térmica em função da temperatura operativa e umidade relativa, respectivamente.

A zona de conforto foi definida com base nos intervalos de $\pm 2\delta$ obtido para a totalidade do período de estudo (representando 95% de probabilidade de ocorrência). Na Tabela 5.6 apresenta-se as faixas encontradas para a temperatura operativa e para a umidade relativa, ou seja, os valores de temperatura operativa e umidade relativa obtidos da interseção da reta, para -2δ e $+2\delta$, com a linha de sensação térmica de neutralidade térmica (0), lendo-se este valor no eixo X. Estes valores foram plotados no gráfico mostrado na Figura 5.49 utilizando o eixo "x" da temperatura operativa e no eixo "y" de umidade relativa.

Tabela 5.5-Faixas de temperatura operativa e de umidade relativa

	Faixa de temperatura operativa	
	$\pm 1\delta$	$\pm 2\delta$
Análise de todo o período de estudo	de 20,7 a 22,3	de 19,9 a 23,2
	Faixa de umidade relativa	
	$\pm 1\delta$	$\pm 2\delta$
Análise de todo o período de estudo	de 45,5 a 58,2	de 38,7 a 63,8

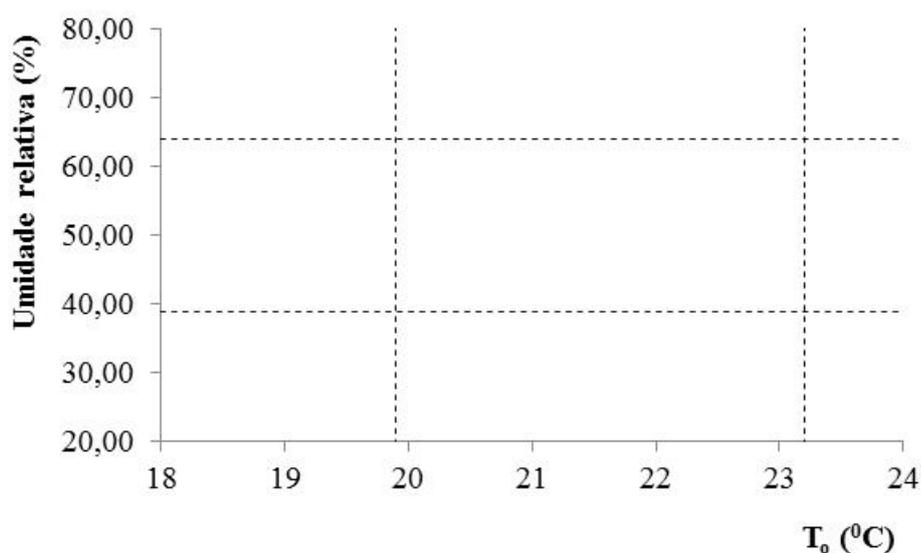


Figura 5.55 – Zona de conforto em função da temperatura operativa e umidade relativa.

Para melhor visualização e utilização prática dos parâmetros de conforto térmico eles são indicados num diagrama psicrométrico apresentado na Figura 5.56, plotado em cima da carta psicrométrica de Ouro Preto (Tabela 5.5).

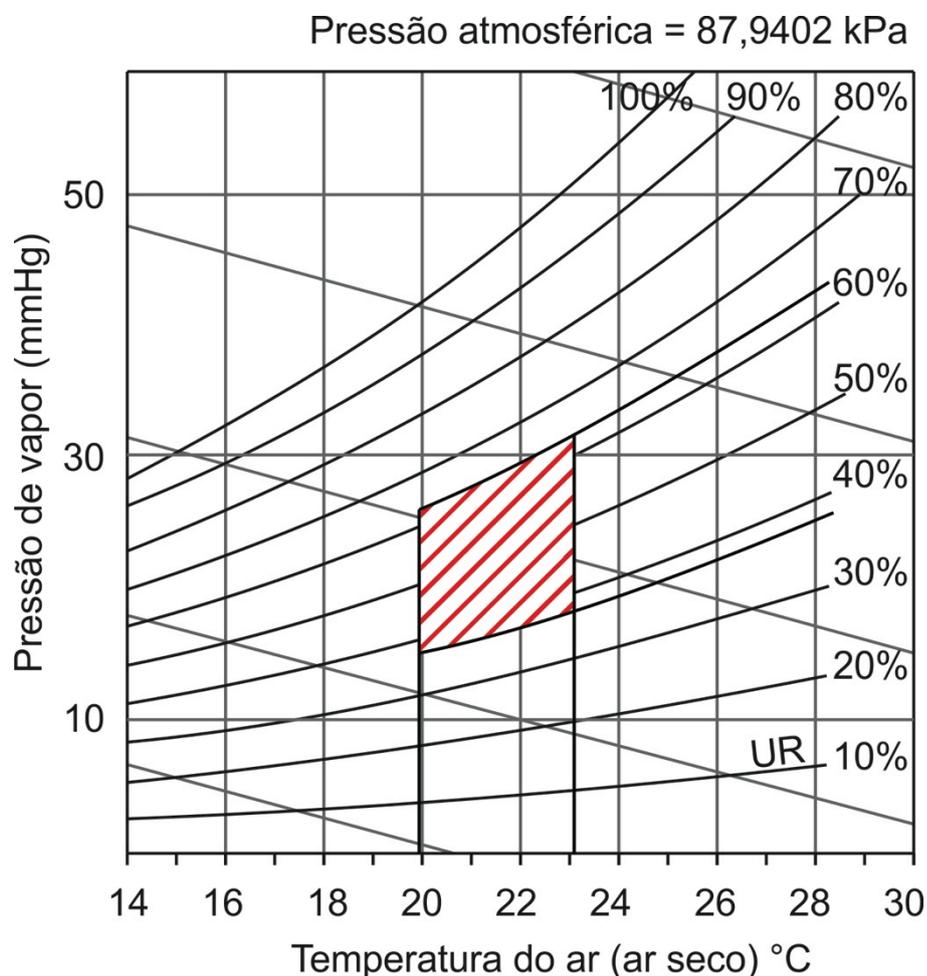


Figura 5.56 – Diagrama psicrométrico com os parâmetros de conforto térmico determinados.

5.6. Análise da necessidade de sombreamento

O conforto térmico e a radiação solar são atributos necessários para um ambiente construído e importantes variáveis que influenciam todo o processo do projeto arquitetônico. Os conceitos estéticos e técnicos são incorporados posicionando um edifício corretamente em relação aos ventos dominantes e ao sol, fazendo toda diferença na utilização de técnicas usuais para monitorar a temperatura do ar em ambientes internos (MORAES, 2011).

O Sol, incidindo sobre um edifício, vai representar, em maior ou menor escala, um ganho de calor. Esse ganho de calor será função da intensidade da radiação solar incidente e das características térmicas dos materiais usados na envoltória do edifício. A radiação solar, como variável climática, deve ser medida. Porém, há dificuldades para a obtenção de dados medidos devido à complexidade ocasionada pelo movimento do Sol e também pela conversão dos dados, já que os instrumentos existentes registram dados referentes à incidência sobre o plano normal aos raios e são necessários dados relativos à radiação incidente sobre as fachadas e coberturas dos edifícios (FROTA, 2007).

Faz-se um estudo de intervenções para melhorar o conforto das edificações principalmente em condições de calor extremo, como o uso de brises nas janelas para minimizar a incidência solar direta.

Neste estudo foi feita análise da incidência solar nas fachadas dos prédios estudados, por meio das cartas solares. A informação mais imediata que se pode extrair das cartas solares é aquela relativa ao horário de insolação sobre superfícies horizontais e verticais, segundo a orientação determinada. Desta maneira, ao determinar o horário de insolação sobre uma superfície, pode-se concluir que, em certas épocas do ano, ele é excessivo. Para impedir que a radiação solar direta atinja em demasia principalmente as superfícies transparentes ou translúcidas e as aberturas, pode-se utilizar dispositivos de proteção solar.

A determinação do tipo e da dimensão de um dispositivo de proteção solar é feita em função da eficácia desejada. Um dispositivo de proteção solar é eficaz quando for capaz de barrar a radiação solar direta sobre uma dada superfície ou abertura no período que se julgar conveniente (FROTA, 2007).

A vegetação é um dos elementos que pode ser utilizado para bloquear incidência solar nas fachadas das edificações e contribuir para o equilíbrio do balanço da energia, tanto nas construções como também nos espaços abertos. Segundo Mascaró (1996) “A planta poderá obstruir ou filtrar a radiação incidente e refletida. A obstrução se caracteriza pelo bloqueio da radiação, sendo proporcional à sua absorção. A filtragem se caracteriza pela intercepção parcial da radiação. A interseção desses efeitos relacionados às características de cada espécie determina a influência da vegetação nas características climáticas do ambiente construído”.

5.6.1. Cartas solares- Escola de Minas (EM)

Por meio do relatório de insolação (Anexo E) gerado pelo software brise. BR da Fauusp (ALUCCI, 2006) pode-se perceber pouca insolação na fachada Sul (Figura 5.56), sendo permitida entrada de luz solar apenas às 6h da manhã nos meses janeiro e novembro.

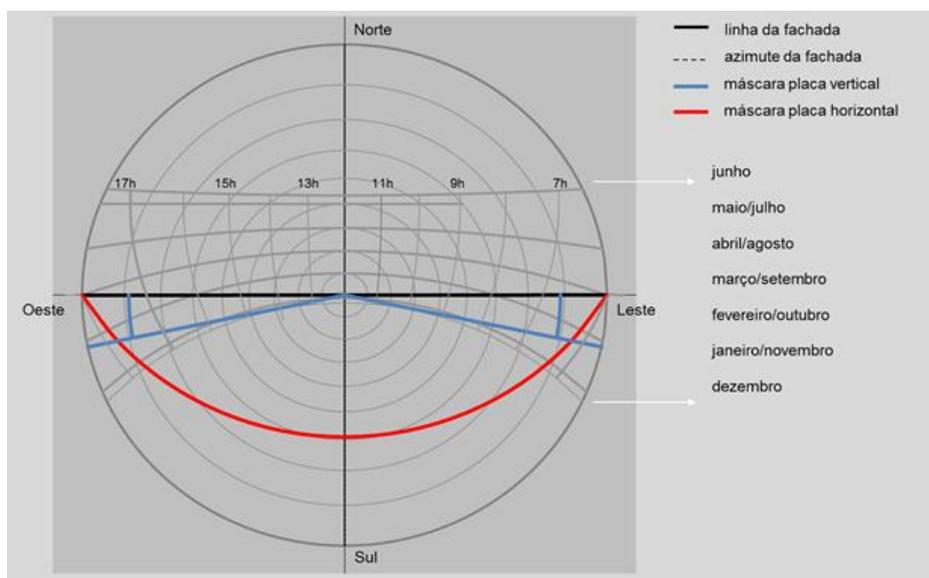


Figura 5.57-Carta solar com proteção horizontal e vertical da fachada Sul (EM)

Para a fachada Norte (Figura 5.57), observa-se insolação direta nas salas de aula desde 7h da manhã até as 17h. Portanto é imprescindível a utilização dos brises como proteção solar nesta fachada, conforme relatório apresentado no Anexo E. Nesta fachada já foram instalados brises conforme mostrado na figura 5.58.

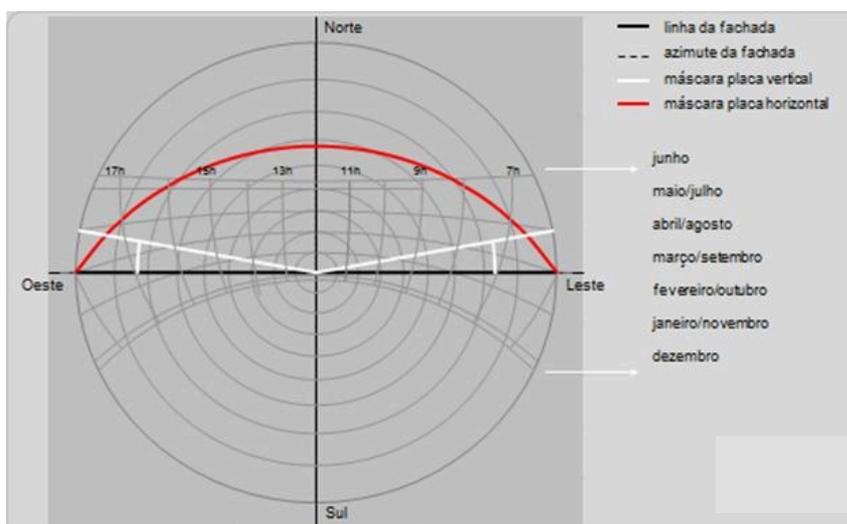


Figura 5.58- Carta solar fachada Norte (EM).



Figura 5.59- Brise fixo na fachada oeste da Escola de Minas

5.6.2. Cartas solares- ICEB III

Para a edificação ICEB III percebe-se insolação direta de 12h às 18h nos meses de janeiro a dezembro na fachada Oeste (Figura 5.60) sendo portanto necessária a proteção nesta fachada até as 16h nos meses de inverno e até as 17h nos meses de verão (Anexo E). Neste prédio também já foram instalados brises horizontais em cores claras conforme mostrado na figura 5.61

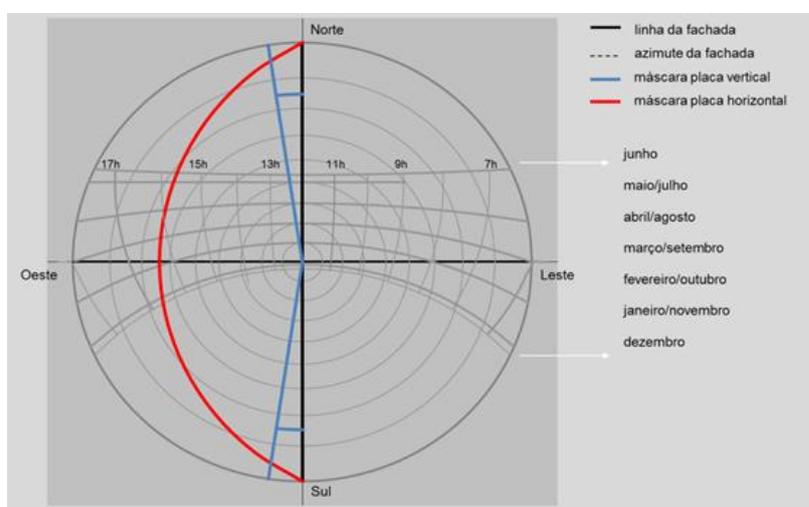


Figura 5.60- Carta solar fachada Oeste (ICEB III)



Figura 5.61- Brise soleil horizontal fachada oeste ICEB III.

Para a fachada leste foi constatado um período de insolação que compreende de 6h da manhã às 12h (Figura 5.62). Da mesma forma que se analisa para o bloco de salas, para que não atrapalhe as aulas foi estudada uma proteção solar que permite entrada de sol até às 8h da manhã (Anexo E).

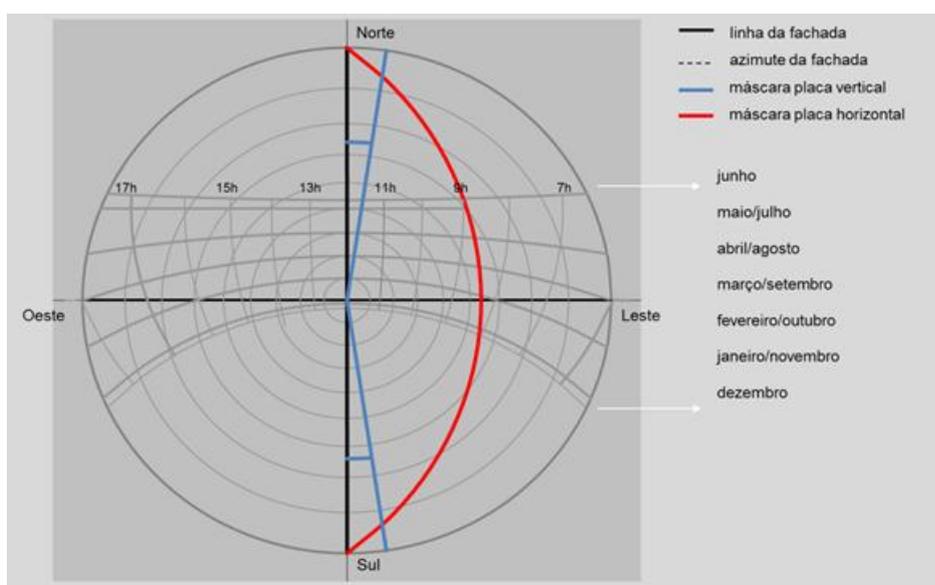


Figura 5.62- Carta solar fachada Leste (ICEB III)

5.6.3. Cartas solares - Bloco de Salas

Na fachada oeste do bloco (Figura 5.62) de salas foi constatada insolação no período de 12h às 17h, conforme relatório apresentado no Anexo E. Sendo assim, é necessário o dimensionamento de proteção solar. Este edifício não possui obstrução nenhuma para a radiação direta sendo estudado um *retrofit* possível, para adequação futura. Conforme mostrado na figura 5.63, foi proposto um brise móvel, misto vertical e horizontal, e claro para não precisar de iluminação artificial.

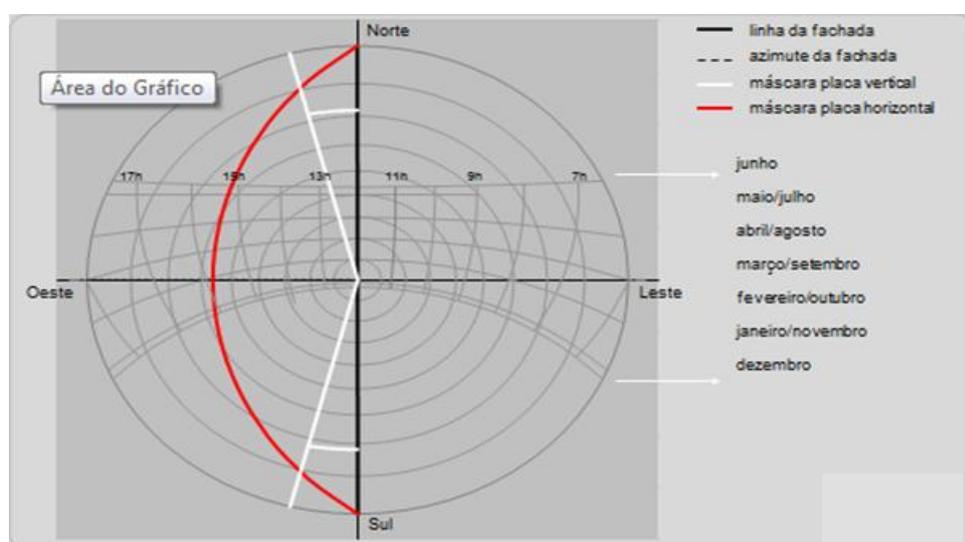


Figura 5.63- Carta solar fachada Oeste (Bloco de Salas)



Figura 5.64- Proposta de Retrofit para fachada oeste Bloco de Salas

Para a fachada leste (Figura 5.64) foi constatado um período de insolação que compreende de 6h da manhã às 12h. Desta forma para que não atrapalhe as aulas foi estudada uma proteção

solar (Figura 5.65) que permite entrada de sol até às 8h da manhã, conforme relatório mostrado no Anexo E.

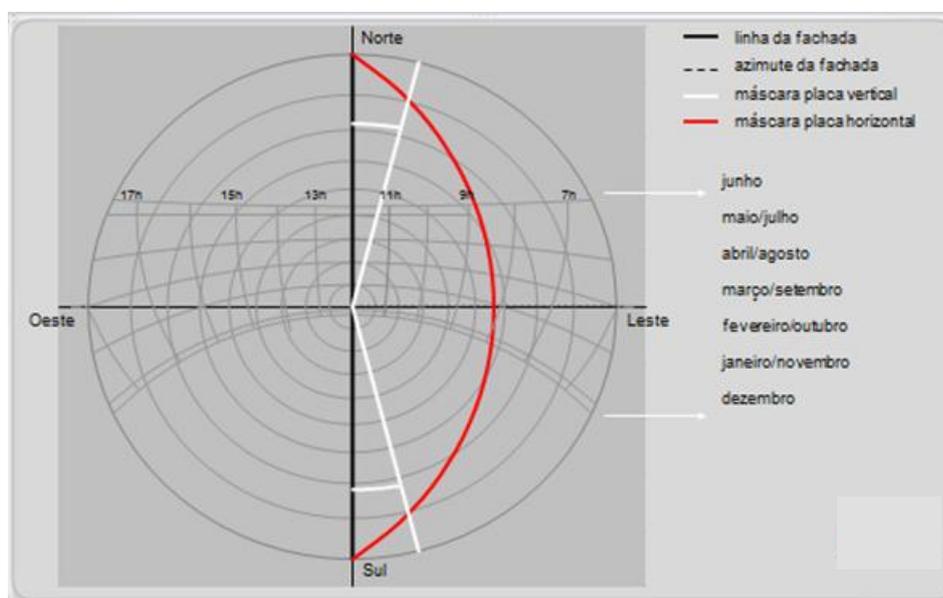


Figura 5.65- Carta solar fachada Leste (Bloco de Salas)

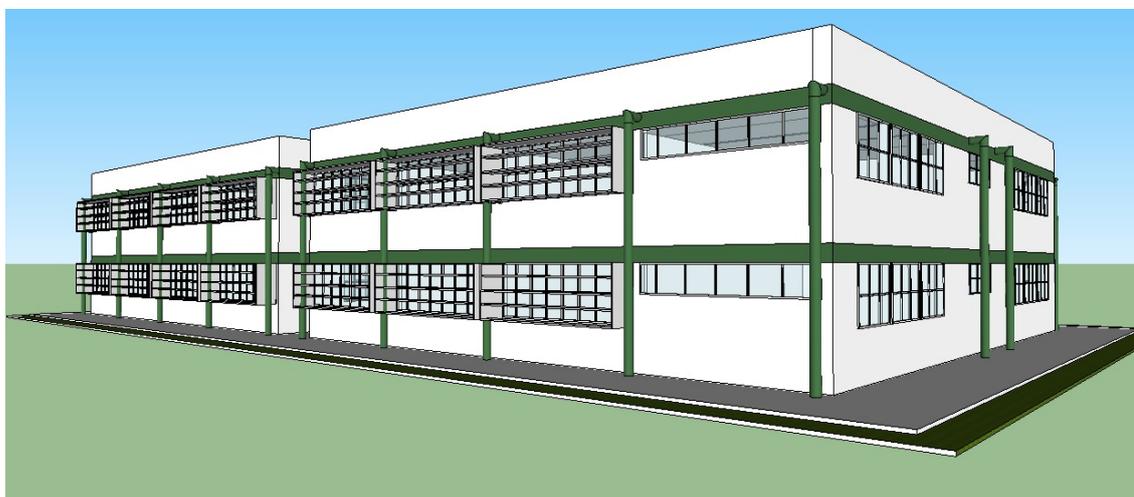


Figura 5.66- Proposta de Retrofit para fachada leste do bloco de salas

6. CONCLUSÕES

No referencial teórico do presente trabalho foram introduzidos os conceitos principais da relação temperatura com o ambiente construído. Há uma concentração maior no tema conforto térmico, principalmente nas edificações escolares, tendo então a revisão bibliográfica como um estudo mais aprofundado para esta conceituação.

A revisão resultou em um estudo aprofundado das variáveis do conforto térmico. Estudou-se ainda os índices de conforto térmico, convencionalmente usados em estudos bioclimáticos e os principais métodos, procurando discutir as vantagens e desvantagens de cada índice, bem como suas aplicações propostas e restrições decorrentes de seu uso. Alguns trabalhos já realizados sobre o tema foram estudados, para se ter um melhor embasamento para a pesquisa.

A busca pela manutenção e/ou melhoria na qualidade de vida, levou o mundo contemporâneo a passar por diversas mudanças, principalmente em função da velocidade da transformação da questão ambiental, onde a quebra dos paradigmas tornou-se primordial nas ações e orientações baseadas nos conceitos do desenvolvimento sustentável.

A metodologia utilizada foi elaborada com base em uma extensa pesquisa de trabalhos similares precedentes, resultando da combinação e aperfeiçoamento de metodologias diversas. A metodologia proposta comprovou a sua validade operacional e científica, e que os procedimentos aqui descritos podem ser aplicados para outras regiões do Brasil.

Os resultados foram apresentados graficamente, de modo a permitir sua análise visual a partir dos dados coletados e estudados, que foram tratados estatisticamente conforme a necessidade. Foram também analisados os resultados obtidos pelas contagens do grau de satisfação e sensações subjetivas, e suas correlações.

Tendo em vista que o trabalho foi realizado em ambientes reais, onde as variáveis ambientais e pessoais, bem como a interpretação da escala de sensações por parte dos indivíduos questionados são fatores de difícil controle, podem ser encontradas divergências nos resultados.

Em geral se considera que em torno de 75% dos usuários se sentem confortáveis quando a temperatura está entre 20^o C e 23,20^o C, e a umidade relativa do ar entre 40 e 64%. Porém em alguns horários de intensa insolação e dependendo da época do ano, o prédio sem intervenção ainda gera algum desconforto.

Considerando que a grande maioria dos estudantes universitários da UFOP é oriunda de outras regiões de Minas Gerais e também de outros Estados do País, com condições climáticas diferentes da cidade de Ouro Preto, poder-se-ia ter alguma influência e/ou problema de aclimatação às condições climáticas locais. No entanto, esta causa pode ser descartada uma vez que os alunos participantes já têm mais de três semestres e desse modo já aclimatados.

Dos três edifícios estudados, todos apresentavam problemas em relação ao ambiente térmico. Durante o estudo dois destes prédios solucionaram parte de seus problemas com a instalação de brises, películas insulfim nas vidraças e cortinas, restando um, o bloco de salas no qual apenas foi colocado insulfim. No entanto esta alternativa não solucionou o problema e desta forma foi desenvolvida uma proposta de retrofit para o este prédio neste trabalho.

Para este Retrofit aplica-se os conceitos apresentados no capítulo três e ANEXO C da seguinte maneira:

Proposição 1: Uso de brise soleil móvel, com medidas de acordo com o relatório obtido na análise da carta solar feita para o prédio em questão disponível no ANEXO E;

Proposição 2: Uso de telhado verde proporcionando maior conforto térmico interno e proporcionando também a captação de água pluvial;

Proposição 3: Reutilização da água captada nos sanitários do próprio prédio.

Proposição 4: Aumento da vegetação de médio porte do entorno imediato, evitando insolação direta na fachada envidraçada;

Proposição 5: Placas fotovoltaicas para captação de energia solar e utilização da mesma na edificação, orientadas para o Norte.

Atualmente todas estas proposições são muito difundidas no mercado da construção, o que torna viável a execução deste retrofit. A intenção é tornar a edificação auto suficiente energeticamente, coletando água e energia para uso próprio, reduzindo custo de manutenção e condicionamento térmico.

Como resultado final, são esquematizadas nas figuras 6.1 e 6.2, as proposições descritas anteriormente.

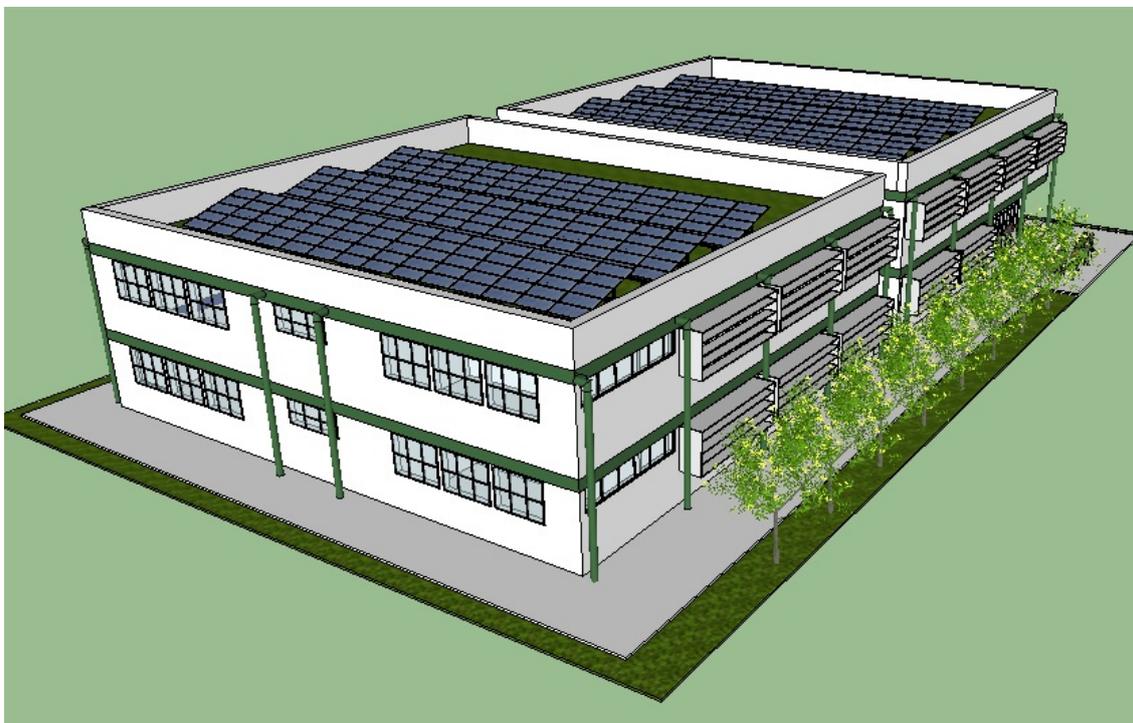


Figura 6.1- Imagem do novo prédio bloco de salas com vegetação, brise soleil e placas fotovoltaicas

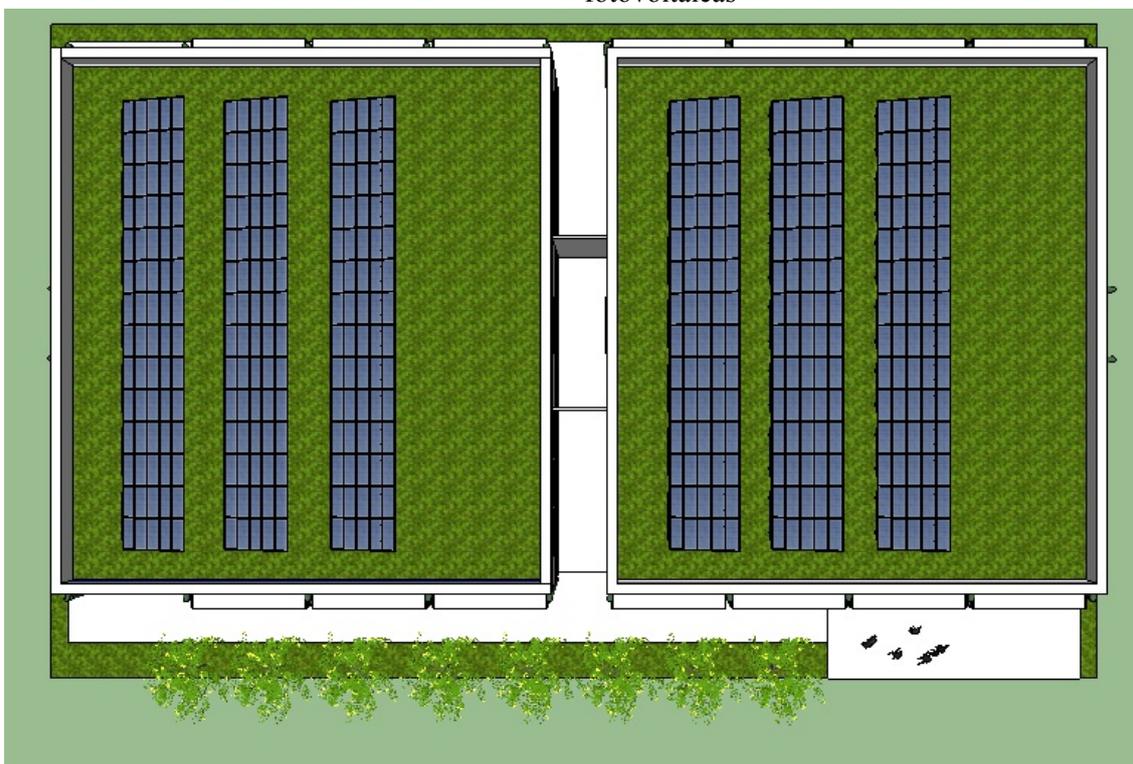


Figura 6.2- Imagem da nova planta de cobertura, com telhado verde e placas fotovoltaicas

6.1 Considerações finais

O espaço interno é uma parte que na verdade, representa o todo. O espaço interno deve ser um organismo integrado e funcional dentro de uma edificação maior, porém igualmente integrada e funcional tanto incorporando quanto definindo o conceito de projeto holístico de edificações. A eficiência energética não gira em torno apenas da utilização racional da energia, mas também, do ponto de vista arquitetônico, de edifícios que sejam projetados de forma a aproveitar/reaproveitar melhor os recursos naturais, como a iluminação e a ventilação natural, reaproveitamento da água das chuvas, aquecimento solar, entre outras alternativas que deixam o edifício eficiente e diminuem a necessidade de utilização de energia elétrica.

Neste contexto esta pesquisa mostra que se algumas estratégias arquitetônicas e/ou bioclimáticas são levadas em conta no processo de projeto pode-se obter um ambiente construído com desempenho adequado para a função que ele se propõe e com menor consumo de energia. Na proposição de projeto arquitetônico as variáveis a serem levadas em conta são tanto àquelas referentes ao clima local (temperatura e umidade do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento, nível de iluminação e ruído) como também àquelas referentes ao projeto (entorno, forma e orientação, divisão e volume dos ambientes internos, alternativas de fechamento).

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Estudo de materiais de fechamento e soluções mais eficazes para aumentar a qualidade interna de edificações em climas tropicais;
- Uma possível simulação numérica do Retrofit proposto e comparação de materiais adequados ao melhor desempenho possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2004.

_____. **Climate and architecture**. London, Elsevier, 1969.

_____. **Climate and architecture**. Londres: Elsevier, 1976.

_____. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo: E. Blucher, ; 2005. 465p.

_____. **Thermal environments instruments and methods for measuring physical quantities**. ISO 7726:1996. Genebre, 1996.

_____. **Handbook of Fundamentals**. ASHRAE. New York, 2003.

AHLBORN. **Manual for all ALMENO measuring instruments**. 2003, version 5, 4th revised edition. Publisher: Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Germany, 2003.

AKIRA, C. **Sustentabilidade na prática: ideias e ações para um mundo melhor**. Conheça Songdo, a cidade mais inteligente e sustentável do planeta. Disponível em: <<http://www.coletivoverde.com.br/songdo-cidade-inteligente/>>. Acesso em: 12 set. 2012

AKUTSU, M. **Métodos para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998, 170p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1998.

ARAUJO, V. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares**. Natal: Edufrn, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15 220**. Desempenho térmico de edificações. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR17**. Ergonomia. 2007.

ATAÍDE, E. **Avaliação de desempenho térmico de Edifício institucional estruturado em aço. O caso da sede da prefeitura municipal de Mariana, MG**. 2008. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola de minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

BARBOSA, M. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997, 277 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1997.

BECHTEL, R; CHURCHMAN, A. **Handboool of environmental Psychology**. Danvers: John Wiley & Sons, Inc, 2001.

CUNHA, M. **Vãos envidraçados: geometria de insolação – otimização do dimensionamento de Elementos de proteção solar**. 2005, 19p. Dissertação (Mestrado em construção de edifícios) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2005.

ECO CASA. Disponível em: <<http://www.ecocasa.com.br/piso-de-bambu.asp>>. Acesso em: 14 set. 2012.

ECO TELHADO. Disponível em: <<http://ecotelhado.blog.br/index.php/reuso-de-agua-da-chuva/>>. Acesso em: 13 set. 2012.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1972.

FLORIM, L. **Contribuição para a construção sustentável: características de um projeto habitacional ecoeficiente**. 2004, 208p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

FONTANELLA, M. **Percepção do ambiente térmico: preferências subjetivas e conforto térmico**. 2009, 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Ouro Preto, 2009.

FORTE, Fernando; FERRAZ, Rodrigo Marcondes. **ENERGIA Solar: Como funciona o sistema de energia solar com placas fotovoltaicas?** Disponível em: <<http://casaeimoveis.uol.com.br/tire-suas-duvidas/arquitetura/como-funciona-o-sistema-de-energia-solar-com-placas-fotovoltaicas.jhtm>>. Acesso em: 21 set. 2012.

FROTA, A. B. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo:Studio Nobel, 2007.

GIVONI, B. **Confort climate analysis and building design guidelines**. Energy and Buildings. V. 18, p. 11-23. 1992.

GONÇALVES, P. **Ventilação natural**. Disponível em: <<http://coletivourbane.blogspot.com.br/2012/04/ventilacao-natural.html>>. Acesso em 11 nov. 2012.

GONÇALVES, W. **Estudo e índices de conforto térmico, avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte**. 2000, 241p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

GRAÇA, V.A.Z.; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **Metodologia de avaliação de conforto ambiental com o conceito de otimização multicritério para projetos escolares**. In: ENCAC – VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Curitiba, 5 a 7 de novembro, 2003. Segunda Coletânea de Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Curitiba, 2003.

GRAÇA, V; KOWALTOWSKI, D; PETRECHE, J. Na evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimization for aspects of environmental comfort for the school system of the state of São Paulo in Brazil. **Building and Environment**, v. 42, p. 984-999, 2006.

GRILLO, J. C. S. **Reabilitação ambiental de edifício moderno: o caso do palácio Itamaraty**. 2005. 162 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

HUMPHREYS, M.A; NICOL, J.F. **Understanding the Adaptative Approach to Thermal Comfort**. ASHRAE Transactions,1998, v.104, pt1, cód, SF –98-7-1.

IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. **Fórum da construção**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=22>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo: Ed. Edgar Blücher Ltda, 1990.

INMENTRO. Portaria no. 53. Rio de Janeiro: 2009.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento De Ciências Atmosféricas Universidade De São Paulo. CONFORTO Térmico. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/conforto/oqueeh.php>>. Acesso em: 20 jul. 2012

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. - **ISO 7730:2006** Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Germany, 2006.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social.** São Paulo: IPT, 1998.

IZARD, J.; GUYOT, A. **Arquitetura Bioclimática.** Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

JESUS, C.. **Análise de custos para reabilitação de edifícios para habitação.** 2008. 194p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis.** Rio Grande do Sul: Bookman, 2010.

LABEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Analysis Sol-Ar.** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil Caixa Postal 476 - CEP 88040-970. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em 20 set. 2012.

MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana.** Porto Alegre. Sagra: DC Luzzatto, 1996.

MEDVEDOVSKI, N. S. **A Avaliação Pós-Ocupação e o desenvolvimento de indicadores para a qualidade do ambiente construído.** in XII Encontro Nacional do Ambiente Construído. 9/2008. Fortaleza. Anais eletrônicos... Fortaleza, 2008. 1 CD.

MORAES, F. **Uma contribuição ao estudo de projeto de empreendimentos em construção metálica** – uma visão segundo a nova filosofia de produção. 2000. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

MORAES, V. **Propostas de diretrizes para projeto de retrofit:** o caso de uma Edificação para atividade de ensino. 2011, 199p. Dissertação (Mestrado profissional de sistemas de gestão)- Universidade Federal Fluminense Centro tecnológico, Niterói, 2011.

OLGYAY, V. **Design with climate.** New Jersey: Princeton University, 1963.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil.** 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do espaço habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

ORNSTEIN, S.; ONO, R. **Avaliação pós-ocupação (APO) do conforto ambiental de escolas: comparação entre ferramentas qualitativas e quantitativas.** In: VIII Encontro Nacional e IV Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió. Anais... Maceió, 2005, p. 1387-1396.

PIZARRO, P. **Estudo das variáveis do conforto térmico e luminoso em Ambientes Escolares.** 2005, 179p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Desenho Industrial)-

Universidade Estadual Paulista Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação Campus de Bauru, Bauru, 2005.

RENCKLY, R. T. **Air university sampling and surveying handbook – Guide lines for planning, organizing and conducting surveys.** Air University, Maxwell Force Base, Alabama, 1996.

RIBAS, R. A. J. **Avaliação das condições físico-construtivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço. Estudo de caso: prédio da EM da UFOP.** 2006, 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

SANTOS, M. B. **Estratégias de implantação de sustentabilidade no uso e manutenção de edificações residenciais existentes.** 2009. 69f. Monografia (Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SCHIMID, A. L. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído.** Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SCHUCH, L. M. S.; LAMBERTS, R.; DUTRA, M. ANALYSIS 1.5. Florianópolis: UFSC, 1996. Disponível em < <http://www.npc.ufsc.br>>. Acesso em: 7 abr. 2008.

SILVA, M. F., SOUZA, B. P., SOUZA, H. A. **Avaliação do desempenho térmico de dois edifícios de salas da Universidade Federal de Ouro Preto** In: Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2011, Juiz de Fora. **Anais do IV CBEE.** Juiz de Fora - MG: Danilo Pereira Pinto; Francisco José Gomes; Henrique A. C. Braga, 2011. v.1. p. 1- 6

SOLSTÍCIOS e Equinócios. Disponível em: <http://www.astrologie.com.br/Equi_Sols.htm>. Acesso em: 10 out. 2012.

SOUZA, V. **A influência da ocupação do solo no comportamento da ventilação natural e na eficiência energética das edificações. Estudo de caso em Goiânia – Clima tropical de altitude.** . 2006. 260 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SUSTENTABILIDADE na engenharia. Disponível em: <<http://arquiteturapaisagismo.blogspot.com.br/2011/02/cobertura-verde.html>>. Acesso em 13 out. 2012.

WONG, N. H.; KHOO, S. S. **Thermal comfort in classrooms in the tropics.** Energy and Buildings, v. 35, p. 337-351, 2002.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis.** 1999, 198p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ANEXOS

ANEXO A QUESTIONÁRIOS

Pesquisa - Percepção do ambiente térmico: preferências subjetivas e conforto térmico

A.1 . Formulário – Usuário

1. Identificação da sala pesquisada

Local: _____ Pav: _____ Sala: _____ Localização na sala: _____

2. Dados do usuário:

Sexo: () Fem. () Masc. Idade: _____ Peso: _____ Altura: _____

3. Tipos de roupa que esta usando no momento:

- Roupas leves
- Roupas de frio, porém leves
- Roupas de frio, pesadas

4. Qual é a sua sensação térmica em relação ao ambiente da sala neste momento:

- Muito quente
- Quente
- Ligeiramente quente
- Confortável
- Ligeiramente frio
- Frio
- Muito frio

5. Num ambiente térmico como este, você:

- Consegue desenvolver sua atividade de estudo normalmente.
- Sua atividade de estudo fica prejudicada.

6. Qual a sensação em relação ao movimento do ar no lugar em que você está:

- Muito parado
- Um pouco parado
- Boa circulação
- Um pouco rápido
- Muito rápido

7. Você vê a necessidade de ventiladores, no momento, para melhorar seu conforto térmico:

- Sim () Não

8. Marque abaixo se alguma das sensações listadas ocorreu na última hora:

- Impaciência devida ao desconforto térmico
- Dificuldade de prestar atenção devida ao desconforto térmico
- Sonolência devida ao desconforto térmico
- Sede
- Secura nas mucosas da boca, nariz ou garganta
- Ruborização da pele
- Calafrios e/ou contrações musculares

9. Há incidência solar direta na sala durante o período de aula:

- Sim Não

10. Ao assistir aulas nesta sala, com que frequência você tenta (ou pede para que alguém o faça) controlar a incidência do sol, através de porta, janelas, cortinas ou persianas:

- Nunca Raramente As vezes Frequentemente Sempre

11. Como você considera a iluminação da sala de aula:

- Ótima Razoável Péssima

12. Na maioria das vezes, utiliza-se iluminação:

- Natural Artificial

13. Em relação ao ruído proveniente de fora do edifício, durante as aulas:

- Não perturba Incomoda Incomoda muito

14. Em relação ao ruído proveniente de dentro do edifício, durante as aulas:

- Não perturba Incomoda Incomoda muito

15. Você está satisfeito com o ambiente térmico neste momento:

- Sim Não

16. Você acha que esse seria um ambiente térmico aceitável para estar todos os dias:

- Sim Não

ANEXO B
ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DE OURO PRETO - MG

B.1 . Temperaturas do ar externo

PRÉDIO	DIA	SALA	Tar (°C) MÉDIA	UMIDADE MÉDIA (%)
ICEB III	19/09/2011	19 manhã (10:10 a 11:10)	14,062	62,126
	19/09/2011	19 tarde (13:40 a 14:40)	17,228	49,05
BLOCO DE SALAS	08/06/2011	204 tarde (14:10 a 15:10)	22,212	49,45
	14/06/2011	101 manhã (10:30 a 11:30)	16,336	57,398
	29/09/2011	101 tarde (14:35 a 15:35)	22,99	50,388
ESCOLA DE MINAS	09/06/2011	10 tarde (14:00 a 15:00)	23,198	45,186
	16/06/2011	08 manhã (9:50 a 10:50)	13,702	76,288
	13/07/2011	24 tarde (13:50 a 14:50)	18,102	51,255
	20/09/2011	12 tarde (13:40 a 14:40)	20,65	35,848
	20/09/2011	23 tarde (15:30 a 16:30)	20,95	32,914
	22/09/2011	12 tarde (17:25 a 18:25)	21,862	43,123
	22/09/2011	22 manhã (9:40 a 10:40)	20,302	46,138

ANEXO C

CARTAS SOLARES

As cartas solares representam graficamente as trajetórias aparentes do sol, projetadas no plano do horizonte do observador, para cada latitude.

- O primeiro uso da carta solar é uma leitura direta do azimute e da altura do sol em determinado dia e hora para uma determinada latitude;
- O segundo uso da carta solar se refere a determinação geométrica dos tempos de insolação de fachada, observando pelo menos o que ocorre no verão e no inverno;
- O terceiro uso da carta solar é o traçado de máscaras, a determinação de sombras projetadas por uma edificação sobre o seu entorno e mesmo sobre outras edificações;
- O quarto uso da carta solar é o traçado de sombras;
- O quinto uso da carta solar é o dimensionamento de brise-soleil/ quebra-sol;
- O sexto uso da carta solar está associado ao cálculo real da carga térmica solar incidente sobre as edificações ou sobre espaços exteriores.

Deve-se verificar se a localidade está realmente no fuso correspondente à hora e obter informações a cerca dos horários do nascer e do por sol, determinar a hora da passagem meridiana do sol, ou até mesmo obter informações nos serviços de meteorologia. A partir daí, devem ser feitos os ajustes para, por exemplo, estudar a adequada proteção solar.

Ao nascer, a altura do sol é igual a zero, aumentando esse valor até atingir o máximo ao meio dia. Após esse horário, a altura solar passará a decrescer de valor até igualar-se a zero, no pôr-do-sol.

O sol incide sobre a Terra ao meio-dia do dia 22 de junho ficando a pino sobre o trópico de câncer, quando é verão no Hemisfério Norte e inverno no Hemisfério Sul. Solstício de Junho – incidência do sol ao meio-dia. O sol incide sobre a Terra ao meio-dia dos dias 21 de março e 24 de setembro, ficando a pino sobre o Equador, quando são os equinócios. Neste dias, o sol percorre a linha do horizonte no Pólo Norte e no Pólo Sul também, sendo cada metade vista por e por outro pólo. Equinócios de março e de setembro. O sol incide sobre a Terra ao meio-dia do dia 22 de dezembro, ficando a pino sobre o Trópico de Capricórnio, quando é verão no Hemisfério Sul e Inverno no Hemisfério Norte (FROTA, 2004).

Solstícios são, então, dois:

- Quando o sol chega ao Trópico de Câncer, $23^{\circ} 30'$ de latitude Norte, e fica mais próximo possível do Pólo Norte e o mais longe possível do Pólo Sul, quando acontece verão no Hemisfério Norte e inverno no Hemisfério Sul;
- Quando o sol chega ao Trópico de Capricórnio, $23^{\circ} 30'$ de latitude Sul, e fica mais próximo possível do Pólo Sul e o mais longe possível do Pólo Norte quando acontece verão no Hemisfério Sul e inverno no Hemisfério Norte;

Os equinócios também são dois:

- Quando o sol passa pelo Equador deslocando-se do Hemisfério Norte para o Sul, ocorre o equinócio de outono no Hemisfério Norte e o de primavera no Hemisfério Sul;
- Quando o sol passa pelo Equador deslocando-se do Hemisfério Sul para o Norte, ocorre o equinócio de primavera no Hemisfério Norte e o de outono no Hemisfério Sul;

As cartas solares são instrumentos para resolução de problemas de geometria da insolação a partir de plantas e cortes e coordenadas horizontais da posição do sol acima da linha do horizonte. Esta, aplicada sobre a planta, orientada conforme a direção norte verdadeiro, oferece uma visão mais clara das posições ocupadas pelo sol nas diversas datas e, dados como os de azimute já se apresentam na posição correta, dispensando até mesmo que determinados os seus valores, posto que já estão desenhados em verdadeira grandeza.

Nelas, são normalmente desenhadas as projeções das trajetórias do sol em datas particulares, por exemplo, solstícios e equinócios, e em algumas datas intermediárias. Conhecendo a orientação do edifício, a carta solar da latitude permite que seja conhecida a insolação da fachada, quando livre de qualquer obstrução de céu, ao longo do ano.

Juntando o gráfico auxiliar para o traçado de máscaras, é possível determinar os “mascaramentos” de paredes de céu ocasionados por outros prédios, árvores, elevações topográficas próximas e também por elementos incorporados à própria construção, como beirais, marquises, dispositivos quebra-sol.

O arquiteto tem por obrigação tratar de questões tão importantes que podem interferir tanto na saúde como no rendimento do trabalho dos usuários dos edifícios projetados ou construídos por ele.

A carta solar (Figura C1) é a projeção sobre um plano dos pontos cardeais e das trajetórias aparentes do Sol acima do horizonte do lugar, assinalando-se em cada trajetória projetada, as posições do sol em instantes anteriores e posteriores ao meio-dia solar verdadeiro.

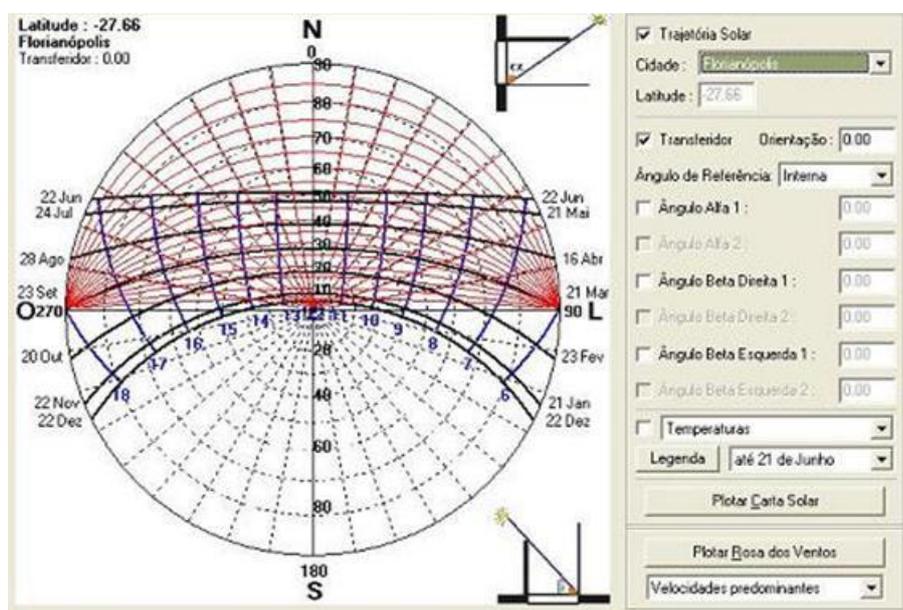


Figura C.1- Exemplo de carta solar

Fonte: LABEE, 2012

O método de projeção mais utilizado é o estereográfico, que toma o Nadir como centro de projeção. Tem a vantagem de as seções planas da esfera celeste se projetarem como retas, circunferências ou arcos de circunferência, cujos centro e raio são facilmente definidos por via analítica ou por métodos gráficos.

Uma carta solar pode ser utilizada para uma faixa de 2 a 2,5^o acima ou abaixo da latitude para a qual foi construída, sem resultar em erro de maior significado.

ANEXO D

TELHADO VERDE E ENERGIAS RENOVÁVEIS

As coberturas verdes também agem como coberturas frias. Elas oferecem vantagens adicionais, como a retenção de águas pluviais e a criação de um habitat alternativo para pássaros e animais pequenos. Essas áreas verdes podem servir também para detenção do escoamento superficial, minimizando as enchentes urbanas. Os telhados verdes são caracterizados como toda cobertura ou telhado, que agrega em sua composição, uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação. São constituídas por um sistema de engenharia que permite a plantação e crescimento de plantas e flores sobre uma laje convencional. Este é um sistema integrado por seis camadas sobrepostas ao telhado do edifício, para assegurar um correto isolamento, quer para a integridade dos materiais de construção, quer para a vida do reino botânico que acolhe. A vegetação adequada para as coberturas verdes é escolhida em função das condições climáticas próprias de cada cidade e das características físicas do edifício (KEELER; BURKE, 2010).

As vantagens do telhado verde são (KEELER; BURKE, 2010):

- combate o efeito ilha de calor urbano, fenômeno responsável pelo incremento de temperatura dentro do perímetro de uma cidade devido ao aquecimento;
- melhoria da qualidade do ar na cidade devido à capacidade das plantas e árvores para absorver as emissões de CO₂.
- reduz a incidência de ventos.
- filtra o ar absorvendo partículas de pó até 85%.
- provoca uma redução das águas pluviais até 70%, e conseqüente redução da pressão nos esgotos da cidade.
- proporcionam espaços agradáveis à vista, com possibilidade de uso para lazer, a nível público (jardim ou parque urbano), ou para os vizinhos de um imóvel, ou para os trabalhadores de uma empresa.
- aumenta os espaços de habitat para pássaros e borboletas.

As vantagens para o edifício (KEELER; BURKE, 2010):

- maior longevidade do telhado (estimativa de 40 anos contra os 10/15 das coberturas planas tradicionais);
- isolamento térmico: No verão, a transmissão de calor pelo telhado pode ser reduzida em mais de 90% se for um teto verde. O mesmo ocorre no inverno, onde é possível observar uma diferença na temperatura de mais de 10°C entre o interior e o exterior;
- isolamento acústico: Apesar da vegetação de um teto-grama absorver ruídos sonoros, por sua vez, uma camada de terra úmida de 12cm de espessura reduz a transferência de som, atuando como barreira acústica;
- valorização do imóvel e da paisagem.

Vários estudos mostram que as coberturas verdes absorvem 75% de precipitações. Por meio da retirada pelas raízes e da absorção do solo, muitos poluentes presentes na água da chuva são filtrados. Os benefícios oferecidos pelas coberturas verdes aumentam à medida que a vegetação cresce com o passar do tempo (Figuras D.1, D.2 e D.3).

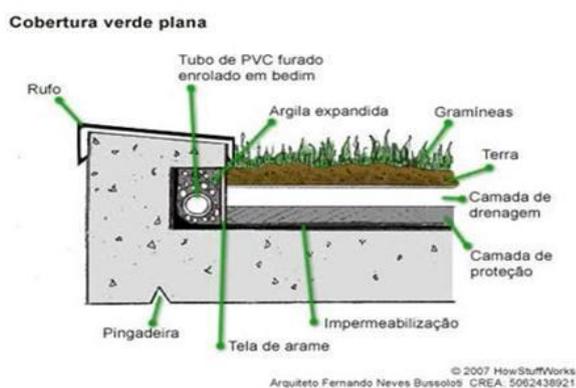


Figura D.1- Detalhamento das camadas do telhado verde plano
Fonte: SUSTENTABILIDADE..., 2012



Figura D.2- Detalhamento das camadas e exemplos do telhado verde plano.
Fonte: ECO CASA ..., 2012.



Figura D.3- Exemplos de telhado verde planos e curvos.
Fonte: ECO Casa ..., 2012.

D.1 Energias Renováveis

Estimativas indicam que, entre os anos de 2000 e 2030, 27% das edificações preexistentes serão substituídas e 50% do estoque total de edificações será construído. Conseqüentemente, é essencial focar-se na conservação de materiais de construção e da energia integrando as práticas de ciclo de vida às práticas e políticas padronizadas de edificações. – LifeCycle Building Challenge, Agência de Proteção ao Meio Ambiente do Estados Unidos e Instituto de Arquitetos Dos Estados Unidos, 17 de dezembro 2008 (KEELER; BURKE, 2010).

Estratégias como boa orientação do terreno, estanqueidade, janelas de alto desempenho, altos níveis de isolamento térmico e eletrodomésticos eficientes, entre outras são maneiras para a redução do consumo de energia. As edificações não habitacionais têm um número maior de usuários do que as edificações habitacionais. As pessoas geram calor, aumentando a carga de refrigeração variável dos ambientes. Para entender isso, basta lembrar como uma sala lotada superaquece rápido. As pessoas também suam, liberando umidade para o ar, elevando níveis de umidade e aumentando o calor latente do ar interno. O calor gerado internamente pelo grande número de usuários, equipamentos e lâmpadas elétricas resulta no fato de que, mesmo quando as temperaturas externas estão baixas, é necessário refrigerar grande parte ou toda a edificação em vez de aquecê-la (FROTA, 2004).

Para reduzir o consumo de energia operacional das grandes edificações, os arquitetos devem limitar os ganhos térmicos externos, usar estratégias de refrigeração com baixo consumo de energia e equipamentos que compensem a carga remanescente, além de utilizar energias renováveis integradas à edificação para atender ao máximo da carga remanescente. Especificar os materiais de construção para projetar edificações sustentáveis (KEELER; BURKE, 2010):

- a embalagem;
- a energia incorporada;
- o conteúdo reciclado;
- a possibilidade de reciclagem, de reuso e de recuperação;
- a produção de lixo;
- o processo de fabricação em circuito fechado;
- a durabilidade e a vida útil ;
- a proporção de recursos renováveis e não renováveis em cada produto.

(KEELER; BURKE, 2010)

Outro exemplo de energia renovável é a captação de luz solar. Diferente dos aquecedores solares, que apenas geram água quente para chuveiros, torneiras ou piscinas, as placas fotovoltaicas têm a capacidade de gerar energia elétrica a partir dos raios do sol (Figura 3.5). Essa energia pode ser utilizada para diversos fins, como acender uma lâmpada ou ligar uma televisão. Os painéis fotovoltaicos são compostos por estruturas chamadas células fotovoltaicas, que têm a propriedade de criar uma diferença de potencial elétrico por ação da luz. As placas fotovoltaicas ou células são módulos à base de cristais nos quais a incidência de raios solares causa uma reação de elétrons, que gera corrente elétrica. O efeito fotovoltaico faz com que essas células absorvam a energia do sol e façam a corrente elétrica fluir entre duas camadas com cargas opostas.



Figura D.4- Placas fotovoltaicas
Fonte: ENERGIA..., 2012.

Esta é uma forma totalmente limpa de geração de energia e a tendência é que seu uso se intensifique. O custo de produção ainda é bastante elevado e os investimentos até o momento dependem de incentivos governamentais.

D.2 Aproveitamento da água da chuva

Uma vez alterados, os sistemas de águas naturais, assim como seus habitats e ecossistemas específicos, não podem ser recuperados por completo. Porém, é possível reverter parte desses efeitos adversos por meio de estratégias que provam o uso de sistemas ecológicos e naturais para administrar a qualidade e o volume das águas pluviais.

Os arquitetos e engenheiros podem colaborar com a restauração das funções hidrológicas naturais em bacias de drenagens urbanas desde que cada lote contribua com pequenas mudanças. Trata-se de um esforço gigantesco e de longo prazo, mas, embora a gestão do escoamento de um único pareça irrelevante, conseguiremos proteger a qualidade da água e preservar os ecossistemas naturais em nossas áreas urbanizadas se mudarmos a maneira de ocupar os lotes.

Economizando água diariamente, haverá uma quantidade de água muito menor para limpar e tratar antes da sua reinsertão em nossos sistemas naturais. Uma das maneiras mais efetivas de economizar água para fins não potáveis consiste no uso de uma cisterna ou grupo de cisternas. Sistema aprovado pelo Departamento de Saúde de Nova Gales do Sul (Austrália). Este

sistema é usado para tratar águas servidas, água do banho, água dos lavatórios e água da máquina de lavar roupa, até se atingir os padrões estabelecidos pelo Departamento de Saúde para a reciclagem e o reuso na descarga de bacias sanitárias, na lavagem de automóveis, na irrigação de jardins e até em máquinas de lavar roupa (KEELER; BURKE, 2010):

- a coleta e a armazenagem das águas pluviais;
- o tratamento das águas fecais (*in loco* e integrado às edificações);
- a utilização das águas servidas municipais;
- as tecnologias futuras, como a dessalinização e a reciclagem da água para torná-la potável.

O ciclo hidrológico vem sendo prejudicado devido ao desenvolvimento urbano desordenado, que resultam no aumento do escoamento superficial de águas pluviais, impactos ao meio ambiente e na população em geral, principalmente nas áreas mais carentes por não possuírem infraestrutura suficiente de planejamento de suas residências, bem como de seus acessos e conseqüentemente as linhas naturais de drenagem. No início até as áreas que possuíam planejamento apresentavam resultados de equívocos, acreditando que se fosse aumentada a capacidade hidráulica do sistema de drenagem seria conseguida solução técnica suficiente.

No entanto, o aumento da capacidade apenas agravou o problema, levando a inundações e rompimento de algumas galerias de águas pluviais. Para o desenvolvimento de novos modelos é preciso a busca de novas soluções sustentáveis, como o reaproveitamento de água (Figuras D.5 e D.6).

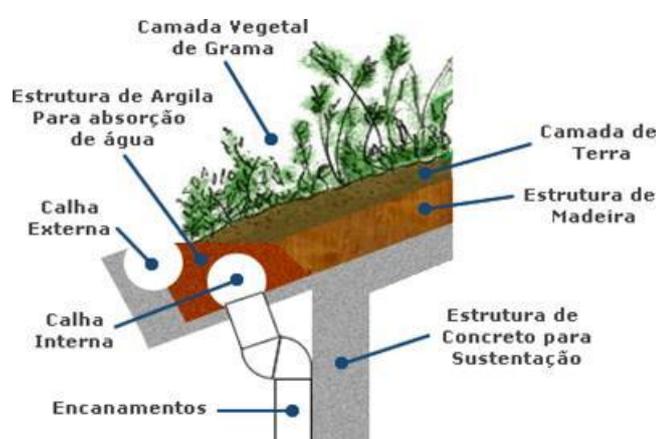


Figura D5- Detalhamento das camadas do telhado verde inclinado com captação de água
Fonte: ECO CASA ..., 2012

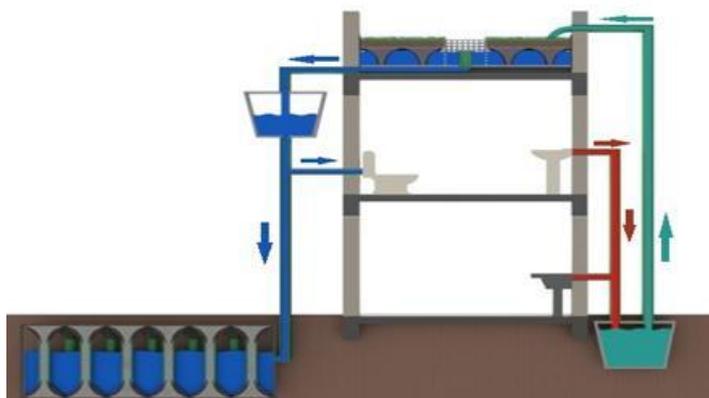


Figura D6- Detalhamento do sistema de captação e reaproveitamento de água
Fonte: ECO TELHADO..., 2012.

O princípio é captar água de chuva antes que chegue ao solo ou em locais com trânsito de pessoas, animais e veículos, para evitar sua contaminação e o uso de equipamentos mais complexos. A água dos chuveiros e das pias é filtrada num reservatório e então bombeada até o telhado para a rega da grama, responsável por uma nova filtragem. Então, escoar para o Sistema Eco telhado Laminar, que a redireciona para as descargas.

D.3 Exemplos sustentáveis

Uma construção sustentável utiliza materiais e tecnologias biocompatíveis, que não agredem o meio ambiente, seja durante o processo de obtenção, fabricação, aplicação e durante a sua vida útil. Para tanto, é necessário utilizar produtos à base de água ou 100% sólidos, pois estes materiais não emitem gases nem odores quando em contato com o oxigênio.

O piso de Bambu é uma alternativa sustentável, durável, fácil de instalar e requer menos manutenção que o piso de madeira. Conheça todas as vantagens de usar o piso de bambu em seu projeto (Figura D.7).



Figura D7 - piso de bambu-fonte site eco casa
Fonte: ECO CASA..., 2012.

A madeira plástica é uma opção sustentável para quem precisa trabalhar com madeira, preferivelmente em áreas externas. Resistente à corrosão de intempéries, imune à pragas, cupins, insetos e roedores (Figura D.8).



Figura D8-madeira plástica- fonte site eco casa
Fonte: ECO CASA..., 2012.

Cidade Sustentável, O que a cidade mais inteligente e sustentável do mundo está localizada na Coreia do Sul e a cidade de Songdo que fica 56km a oeste da capital Seul e está sendo construída sobre uma ilha artificial. Ela promete ser o maior investimento privado do setor imobiliário da história com custo estimado em US\$ 35 bilhões (Figura D.9).

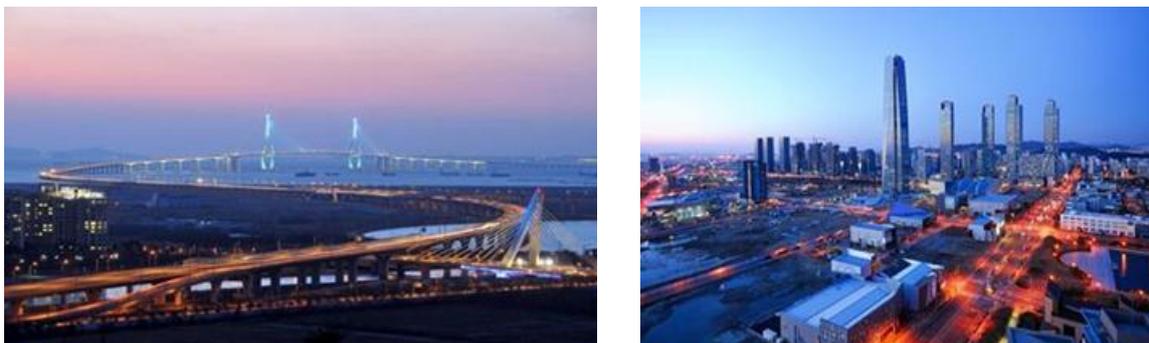


Figura D9- Cidade Songdo, Coreia do Sul
Fonte: SONGDO..., 2012.

Grande parte do dinheiro será investido em comunicação de forma geral para interligar as pessoas e seus bens como casas e carros. Serão instalados sensores no asfalto, nas ruas e nos edifícios pela empresa de telecomunicações Cisco. Com eles, uma central de controle pode monitorar informações sobre os prédios, demanda por energia, temperatura externa, condições do asfalto e do trânsito.

Um centro de controle será capaz de comandar todas as ações e verificar as necessidades da cidade. Câmeras de trânsito vão monitorar até o número de pedestres que andam pela calçada. Com isso, Desta forma, ruas vazias poderão ter luzes diminuídas para reduzir custos, enquanto que as movimentadas terão a iluminação reforçada, por exemplo.

Diversos projetos para melhorar a vida na cidade e torná-la mais sustentável serão adotados. Um outro exemplo será o controle de ajuste para o intervalo dos semáforos, a criação de desvios e fornecimento de alertas antes que o problema ocorra. Com a alta tecnologia, as com lâmpadas incandescentes comuns dos semáforos serão substituídos pelas de LED. Até um sistema de tele presença será instalado em casas, escritórios e ruas para que as pessoas façam vídeo-chamadas de onde estiverem.

E por fim, para trazer um pouco da natureza para a cidade e para economizar seus recursos naturais, um sistema de retenção de água da chuva e o tratamento de água “suja” de pias e máquinas de lavar pratos e roupas, vão permitir ao sistema de irrigação de Songdo usar apenas um décimo da quantidade de água limpa que seria esperada para uma cidade desse porte (Figura D.10).



Figura D10- Cidade Songdo, Coréia do Sul
Fonte: SONGDO..., 2012.

Relatório E3: ICEB III Fachada Leste

Cidade escolhida= Belo Horizonte			Períodos de sol sem brise na fachada											
hora	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6	sol	sol	sol	-	-	-	-	-	sol	sol	sol	sol		
7	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
8	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
9	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
10	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
11	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
12	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Placa horizontal (PH)			Períodos de sombreamento da janela com brise											
hora	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6	sol	sol	sol	-	-	-	-	-	sol	sol	sol	sol		
7	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
8	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol	sol		
9	somb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	sombra		
10	somb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	sombra		
11	somb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	sombra		
12	somb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	omb	sombra		
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Dados da abertura

Azimute da abertura= 90 graus
 Altura da abertura= 1,40 metros
 Largura da abertura= 7 metros

Placa horizontal (PH)

Largura= 2,00 metros
 Comprimento= 7,00 metros

Solução adotada (PH)

Placas horizontais de 1 metros
 Distancia entre placas= - metros
 Número de placas= 1

Placa vertical direita

Largura= 1,00 metros
 Altura= 3,40 metros

Solução adotada (PV direita)

Placas verticais de 2 metros
 Distancia entre placas= - metros
 número de placas= 0

Placa vertical esquerda (PV)

Largura= 1,00 metros
 Altura= 3,40 metros

Solução adotada (PV esquerda)

Placas verticais de 2 metros
 Distancia entre placas= - metros
 número de placas= 0

