

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

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA ESCOLA DE CIÊNCIAS  
BIOLÓGICAS DO UNILESTEMG**

Ouro Preto, junho de 2013

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

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA ESCOLA DE CIÊNCIAS  
BIOLÓGICAS DO UNILESTEMG**

**AUTORA: IVONICE GONÇALVES DUTRA PIMENTA**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.**

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 Engenharia Civil, área de concentração: Estruturas Metálicas.

Ouro Preto, junho de 2013

P644a Pimenta, Ivonice Gonçalves Dutra.  
Avaliação de desempenho na Escola de Ciências Biológicas do UnilesteMG [manuscrito] / Ivonice Gonçalves Dutra Pimenta - 2013.

xv, 107f.: 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.

Catálogo: [sisbin@sisbin.ufop.br](mailto:sisbin@sisbin.ufop.br)

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESCOLA DE CIÊNCIAS  
BIOLÓGICAS DO UNILESTEMG**

**AUTORA: IVONICE GONÇALVES DUTRA PIMENTA**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 26 de junho de 2013, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



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



Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo (UFOP)



Prof. Dr. Adriano Pinto Gomes (IFMG)

*“A mente que se abre a uma nova idéia  
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

*Albert Einstein*

*À Deus e Nossa Senhora Aparecida*, por sempre me conceder sabedoria nas escolhas dos melhores caminhos, coragem para acreditar, força para não desistir e proteção para me amparar.

*Aos meus pais (saudades eternas)*, pelo amor que me mostrou a direção correta e me ensinou a ter fé na vida.

*Aos meus filhos*: pelo amor, apoio, confiança e motivação incondicional. Que sempre me impulsiona em direção às vitórias dos meus desafios.

*Ao Washington*: pelo amor, companheirismo e confiança. Que sempre me ajudou a transformar os meus sonhos em nossos.

*Ao Professor Henor* pelas orientações e paciência.

*Às amigas do NUPECON* pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

## AGRADECIMENTOS

*“Quem tem um amigo, mesmo que um só, não importa onde se encontre, jamais sofrerá de solidão; poderá morrer de saudades, mas não estará só”*

Amir Klink

*Denise,*

Por estar sempre comigo seja no choro ou no riso;

Por dizer-me não somente o que quero ouvir, mas principalmente o que preciso!

Obrigada amiga pelos ouvidos sempre disponíveis, mesmo quando só tenho besteiras pra dizer e dançar quadradinho de oito.

Obrigado pela mão amiga, pela cumplicidade e pela sua amizade tão sincera. Descobri que quem tem um amigo fiel, tem um tesouro e eu reconheço que sua amizade é esse presente e isso nunca vai mudar.

Obrigada por estar sempre disposto a me tirar das minhas confusões e por ter se tornado o primeiro nome que me vem a minha mente quando preciso de socorro! Você é mesmo, minha grande amiga!

Eu vou agradecer a Deus pra sempre por ter achado em você uma GRANDE IRMÃ!!!  
Por ter feito de você o minha MELHOR AMIGA!!!

*Flor, obrigada por existir.*

## RESUMO

Pesquisadores e profissionais da área da construção civil têm questionando o desempenho dos ambientes construídos. Com os avanços tecnológicos frequentes, o aço está sendo utilizado com mais frequência devido a sua trabalhabilidade e rapidez de execução. A partir da década de 1980 no Estado de Minas Gerais, as construções estruturadas em aço vêm ganhando amplitude e se tornando usuais frente aos empreendedores de natureza estatal e privada, principalmente em edifícios comerciais de andares múltiplos, shoppings, edifícios institucionais e também em alguns projetos habitacionais de caráter social. Com o aumento desta demanda industrializada vieram benefícios de rapidez e agilidade de execução, porém veio também a sistematização, gerando uma repetição projetual principalmente em edifícios educacionais causando repetidamente um ambiente desconfortável. Neste sentido estão sendo realizados vários estudos de avaliação pós-ocupação e desempenho térmico e acústico no Brasil, para que se possam estabelecer diretrizes de projetos e ou até mesmo chamar a atenção para as más condições dos edifícios educacionais no Brasil. Para tanto, este trabalho tem como objetivo estudar o conforto térmico, acústico e de pós-ocupação nas salas de aula, da Faculdade de Ciências Biológicas do UnilesteMG por meio de entrevistas com questionários com os usuários, medições *in loco* e simulações numéricas. Visto que a edificação está inserida em uma cidade quente, faz-se um diagnóstico da situação atual da edificação e propõe-se estratégias para melhorar o desempenho geral da edificação, tais como ventilação e sombreamento. Os resultados mostram uma condição de desconforto térmico e também problemas de ruído vindo dos ventiladores, ligados por conta da condição térmica interna. As estratégias propostas melhoram o desempenho térmico e amenizam as condições térmicas, principalmente. Estas estratégias quando combinadas, ventilação e sombreamento, promovem uma redução de até 14 % na temperatura média e 18 % na temperatura máxima no período de verão.

**Palavras-chave:** conforto térmico e acústico, avaliação pós-ocupação, desempenho térmico, edificação estruturada em aço.



## ABSTRACT

Researchers and professionals in the area of civil construction have questioning the performance of constructed environments. With the frequently technological advances, the steel is being used more often due to its workability and speed of execution. Starting from the 1980s in the state of Minas Gerais, the constructions structured in steel are gaining magnitude and becoming regular to the entrepreneurs of state and private nature, especially in commercial buildings of multiple floors, shopping malls, institutional buildings and also in some housing projects of social character. With the rise of this industrialized requirement came the benefits of speed and agility of execution, but it also came the systematization, creating a repetition of projects, mainly in educational buildings, repeatedly causing an uncomfortable environment. In this sense there are several studies of post-occupancy evaluation and its thermal and acoustic performance being conducted in Brazil, so that they can establish guidelines for projects and or even draw attention to the poor conditions of educational buildings in Brazil. Therefore, this work aims to study the thermal, acoustic comfort and post-occupancy in the classrooms, of Faculdade de Ciências Biológicas (School of Biological Sciences) of UnilesteMG by means of interviews with questionnaires with users, *in loco* measurements and numerical simulations. Since the building is placed in a hot climate city, it makes a diagnosis of the buildings current situation and offers strategies to improve the overall performance of the building, such as the ventilation and shading. The results show a condition of thermal discomfort and also noise problems coming from fans, which are on because of the thermal conditions. The strategies proposed mainly improve thermal performance and attenuates the thermal conditions. These strategies when combined, ventilation and shading, cause a reduction up to 14% in average temperature and 18% in maximum temperature during the summer.

**Key-words:** Thermal and acoustic comfort, post-occupancy evaluation, performance, thermal performance

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Edifício de Engenharia de São Carlos .....	8
Figura 1.2 - Detalhes da edificação – Bloco E1 .....	8
Figura 1.3 - Campus EESC – USP 2002 .....	9
Figura 1.4 - Planta do 1° e 3° Pavimento - Bloco E1 .....	10
Figura 1.5 - Corte esquemático da sala 06 .....	13
Figura 1.6 - Perspectiva da sala 06 .....	14
Figura 2.1 - Diagrama de azimutes e alturas solares .....	25
Figura 2.2 - Ângulos alfa interno e externo .....	26
Figura 2.3 - Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal infinito .....	27
Figura 2.4 - Mascaramento proporcionado pelo brise vertical infinito .....	28
Figura 2.5 - Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal finito .....	28
Figura 2.6 - Mascaramento proporcionado pelo brise vertical finito .....	29
Figura 2.7 – Brises mistos .....	29
Figura 2.8 - Poluição sonora urbana .....	33
Figura 3.1 - Ipatinga – MG .....	40
Figura 3.2 - Mapa de localização das principais vias de acesso a Ipatinga .....	40
Figura 3.3 - Localização das Estações Telemétricas .....	42
Figura 3.4 - Hospital Márcio Cunha – Unidade II .....	43
Figura 3.5 - Câmara Municipal de Ipatinga .....	43
Figura 3.6 - Fórum de Ipatinga .....	43
Figura 3.7 - Shopping do Vale do Aço .....	44
Figura 3.8 - Implantação da escola de Ciências Biológicas do UnilesteMG .....	45
Figura 3.9 - Planta do térreo .....	46
Figura 3.10 - Planta 1°Pavimento .....	47
Figura 3.11 - Planta 2°Pavimento .....	47
Figura 3.12 - Prédio de salas de aulas do UnilesteMG .....	47
Figura 3.13 - Blocos de salas de aulas do UnilesteMG .....	48
Figura 3.14 - Sala de aulas .....	49
Figura 3.15 -Iluminação .....	50
Figura 3.16 - Alunos entrevistados - Sexo .....	50
Figura 3.17 - Alunos entrevistados - Idade .....	50

Figura 3.18 - Suporte metálico com sensores .....	52
Figura 3.19 - Aparelho <i>Data Logger</i> 3290-8 .....	53
Figura 3.20 - Sensor usado para medir Temperatura Ar .....	54
Figura 3.21 - Termômetro de Globo .....	54
Figura 3.22 - Sensor da velocidade do ar .....	55
Figura 3.23 - Medidor ITMP-600 .....	56
Figura 3.24 - Elementos para a simulação numérica de uma edificação ventilada naturalmente .....	57
Figura 3.25 - Proposição de brises .....	61
Figura 4.1 - Infraestrutura física .....	63
Figura 4.2 - Espaço físico, mobiliário e equipamentos .....	63
Figura 4.3 - Patologias construtivas .....	64
Figura 4.4 - Conforto da sala .....	65
Figura 4.5 - Sensação térmica .....	65
Figura 4.6 - Preferência de temperatura .....	66
Figura 4.7 - Gráfico de satisfação .....	66
Figura 4.8 - Ruído externo .....	68
Figura 4.9 - Ruído interno .....	68
Figura 4.10 - Temperatura externa x Temperatura interna .....	69
Figura 4.11 - Umidade do ar .....	70
Figura 4.12 - Temperatura do ar .....	70
Figura 4.13 - Umidade relativa do ar .....	71
Figura 4.14 - Fontes produtoras de ruídos .....	72
Figura 4.15 - Fonte de ruídos do entorno do campus .....	72
Figura 4.16 - Evolução temporal de ruído .....	73
Figura 4.17 - Edifício simulado .....	74
Figura 4.18- Comparativo entre 1 e 5 renovações de ar para Zona 13 e 24 – Dia típico de verão .....	75
Figura 4.19- Comparativo entre 1 e 5 renovações de ar para Zona 13 e 24 – Dia típico de inverno .....	75
Figura 4.20- Máscara de sombras para a fachada norte e sul .....	76
Figura 4.21- Cálculo de brises para fachadas norte e sul .....	76

Figura 4.22 - Zona 13 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações	
– Dia Típico de verão .....	77
Figura 4.23 - Zona 24 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações	
– Dia Típico de verão .....	77
Figura 4.24 - Zona 13 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações	
– Dia Típico de inverno .....	78
Figura 4.25 - Zona 24 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações	
– Dia Típico de inverno .....	78

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 - Escala de sensação térmica .....	22
Tabela 3.1 – Posição de medição para as quantidades físicas de um ambiente .....	52
Tabela 3.2 – Propriedades termo-físicas de elementos opacos utilizados nas simulações .....	59
Tabela 3.3 – Propriedades das câmaras de ar não ventiladas naturalmente com largura muito maior que a espessura .....	59
Tabela 3.4 – Propriedades de elementos transparentes utilizados nas simulações .....	60

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 – Aplicações práticas do diagrama solar .....	25
Quadro 3.1 –Parâmetros de entrada para simulação .....	58

# SUMÁRIO

RESUMO .....	VI
ABSTRACT .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	XI
LISTA DE QUADROS .....	XI
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1.Breve histórico do aço .....	1
1.2.O uso do aço no Brasil .....	2
1.3.Objetivo .....	4
1.4.Motivação .....	4
1.5.Metodologia .....	6
1.6.Exemplos de Estudos de Caso .....	7
1.6.1. Estudo de caso 1 - Edifício da Escola de Engenharia de São Carlos – USP .....	7
1.6.2. Estudo de caso 2 – Salas da UNEMAT – Campus Renê Barbours .....	11
1.7.Estrutura do Trabalho .....	15
2. DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES .....	16
2.1.Avaliações x Usuários .....	16
2.2.Desempenho x Conforto Ambiental .....	18
2.3.Desempenho Térmico .....	18
2.3.1. Variáveis ambientais .....	19
2.3.1.1.Temperatura do ar .....	20
2.3.1.2.Umididade do ar .....	20
2.3.1.3.Velocidade do ar .....	20
2.3.1.4.Temperatura de globo .....	20
2.3.2. Variáveis Humanas .....	21
2.3.2.1.Metabolismo .....	21
2.3.2.2.Vestimenta .....	21
2.3.3. Condições Subjetivas de Conforto Térmico .....	22
2.4.Estratégias de Projetos x Desempenho Térmico .....	23
2.4.1. Ventilação Natural .....	23

2.4.2. Brises e sombreamento .....	23
2.4.2.1.Brise horizontal infinito .....	27
2.4.2.2.Brise vertical infinito .....	27
2.4.2.3.Brise horizontal finito .....	28
2.4.2.4.Brise vertical finito .....	28
2.4.2.5.Brises mistos .....	29
2.5.Simulação numérica x desempenho térmico .....	29
2.6.Desempenho Acústico .....	31
2.6.1. A Influência do Ruído no organismo humano .....	32
2.6.2. Parâmetros para avaliação acústica em ambientes escolares .....	35
2.6.2.1.Reverberação .....	35
2.6.2.2.Absorção .....	36
2.6.2.3.Inteligibilidade da fala .....	36
2.6.3. Poluição sonora no ambiente escolar .....	37
2.6.3.1.A Importância da acústica nas salas de aulas .....	38
2.6.3.2.Acústicas de salas de aulas .....	38
3. METODOLOGIA ADOTADA .....	39
3.1.A cidade de Ipatinga: inserção regional .....	39
3.2.A produção e o uso do aço em Ipatinga .....	42
3.3.Caracterização do objeto de estudo .....	44
3.3.1. O edifício .....	44
3.3.2. Descrição do bloco pesquisado .....	46
3.4.Amostra .....	50
3.5.Avaliação pós-ocupação .....	51
3.5.1. Percepção dos usuários via questionário .....	51
3.5.2. Caracterização dos parâmetros térmicos e acústicos .....	51
3.5.2.1.Temperatura do Ar e Umidade .....	53
3.5.2.2.Temperatura de Globo .....	54
3.5.2.3.Velocidade do ar .....	55
3.5.2.4.Nível de pressão sonora .....	55
3.6.Parâmetros da simulação numérica .....	57
3.6.1. Parâmetros do programa <i>Energyplus</i> .....	57
3.6.2. Propriedades termo-físicas dos materiais para simulação .....	59

3.6.3. Estratégias Propostas .....	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	62
4.1. Percepção dos usuários .....	62
4.1.1. Parâmetros Físicos .....	63
4.1.2. Conforto Térmico .....	65
4.1.3. Conforto Acústico .....	67
4.2. Variáveis Climáticas e Nível Sonoro - Medições <i>in loco</i> .....	68
4.2.1. Análise Térmica – Variáveis Climáticas .....	68
4.2.2. Análise Acústica – Nível de Pressão Sonora .....	71
4.3. Avaliação Térmica Via simulação Numérica e Proposições .....	73
4.3.1. Proposição com 1 renovação e 5 renovações .....	74
4.3.2. Brises fachada norte e sul .....	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	79
5.1. Sugestões para pesquisas futuras .....	80
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
ANEXOS .....	89
ANEXO 1 – Questionário aplicado .....	90



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Breve histórico do aço

Com a Revolução Industrial, além do crescimento populacional, houve grandes mudanças na arquitetura urbana, que levaram a exigência por melhores vias para transportes (pontes, canais, etc.), por edifícios industriais (maiores e mais resistentes), por empreendimentos públicos (estações de estrada de ferro, etc.), edifícios para exposições, etc. Até então ferro fundido era utilizado apenas como reforço, contraventamentos, correntes, tirantes ou anéis de ligação. O progresso industrial incentivou a produção do ferro fundido e aço em grande quantidade e estendeu sua aplicação à maioria dos edifícios (FRAMPTON, 1997).

A utilização do ferro e do aço no Brasil também ocorreu a partir das transformações sócio-econômicas e tecnológicas pelas quais passou a sociedade brasileira a partir da segunda metade do século XIX. As primeiras manifestações surgiram na mecanização da produção de materiais de construção e na presença de imigrantes europeus como trabalhadores assalariados que respondiam pelas alterações e aperfeiçoamento das técnicas construtivas. Estes fatores foram importantes para o início da modernização dos transportes e o aparecimento de linhas férreas ligando o interior ao litoral. A instalação das ferrovias permitiu o aparecimento de um fenômeno completamente novo na arquitetura: os edifícios importados, que eram fabricados em aço nos países europeus e vinham desmontados em partes nos porões dos navios. A importação era completa: das estruturas até as coberturas; escadas industrializadas montadas conforme instruções e desenhos que acompanhavam os materiais, inclusive recursos secundários de acabamentos como ornamentos de jardins, chafarizes e gradis.

Dentre as primeiras obras de aço relevantes no mundo, pode-se considerar a Ponte *Iron bridge* de 1779 na Inglaterra e os edifícios da “Escola de Chicago” em 1879. Foi a partir destas aplicações iniciais do aço como material que surgiram os edifícios mais modernos que se multiplicaram pelas grandes cidades do mundo. A arquitetura em aço sempre esteve associada à idéia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que frequentemente empregavam o aço aparente (FRAMPTON, 1997).

## 1.2. O uso do aço no Brasil

No Brasil, o aço, que até os anos de 1920 era raramente utilizado, chegou às residências nos elementos estruturais. Em vãos maiores, quando o aço era empregado nas vigas metálicas, elas eram cobertas pela alvenaria, como na arquitetura européia da mesma época. Em geral, também as colunas eram revestidas, exceto nos alpendres, onde formavam conjuntos com gradis e escadas de ferro, o aço conferia uma feição peculiar às moradias dessa época de ecletismo (BENEVOLO, 2004).

A construção civil no país ainda utiliza o concreto armado como principal material para construção de edificações. Material este que, aliado a alvenaria tradicional, é predominante no mercado nacional. No entanto, uma série de fatores mercadológicos atuais propiciou uma redescoberta da estrutura metálica, a qual já havia sido utilizada no país no final do século XIX e início do século XX. A descoberta do mercado nacional permitiu a chegada de novas tecnologias e um maior uso do aço em vários tipos de edificações (VON KRÜGER, 2000; SALES, 2001; BASTOS, 2004).

Entretanto o aço é principalmente utilizado em edificações de grande porte, comerciais e institucionais, sendo ainda pouco utilizado em edificações de pequeno porte. Tendência essa que, vem sendo modificada por empreendedores e projetistas que tentam inserir ainda mais o aço como sistema construtivo e provando sua superioridade ao sistema construtivo convencional em concreto armado.

“O aço possui alta resistência mecânica e química, que passam por um controle de qualidade rigoroso. Dando ao material uma condição de ser nomeado como ecologicamente correto, pois além de suas características construtivas de trabalhabilidade, racionalização, menor prazo de execução e precisão projetual. O aço é totalmente reciclável”(BELLEI; PINHO; PINHO, 2004).

Como as vantagens do aço em relação ao concreto armado são grandes, o mercado da construção civil no Brasil vem optando, em alguns casos, pelo uso da estrutura metálica, tendo como indicador um retorno custo-benefício no final da edificação.

A partir da década de 1980, no estado de Minas Gerais, as construções estruturadas em aço vêm ganhando espaço e se tornando usuais frente aos empreendedores de natureza

estatal ou privada. Observa-se este crescimento principalmente em edifícios comerciais de andares múltiplos, shoppings, edifícios institucionais como escolas e hospitais, bem como em algumas obras habitacionais de caráter social.

No entanto, as vantagens na utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além da linguagem estética de expressão marcante e da redução do tempo de construção. Outras vantagens expressivas consideradas fatores chave para o sucesso de qualquer empreendimento em estrutura metálica são: a racionalização no uso de materiais/mão de obra e o aumento da produtividade.

Com o uso da construção industrializada, principalmente estruturada em aço, o impacto ambiental vem sendo minimizado. No entanto essa mesma racionalização, não está sendo aplicada aos demais componentes que completam uma edificação estruturada em aço. “[...] Pois a escolha de materiais inadequados de fechamento e cobertura vem sendo frequentemente utilizados, e vários estudos no campo acadêmico ou empresarial exemplificam que o uso inadequado desses componentes está causando um maior consumo de energia elétrica, gerando maior uso de ar condicionado, principalmente nos períodos de temperaturas elevadas [...]” (ATAÍDE, 2008).

A racionalização de projeto e produção de edificações estruturadas em aço possibilita repetições de projetos. Esta repetição tem gerado edificações com graves patologias e problemas de desempenho térmico, conseqüentemente espaços desconfortáveis que afetam diretamente no bem estar e atividades dos usuários, sejam eles em ambientes industriais, comerciais ou residenciais.

O desempenho térmico e também o desempenho acústico são fatores importantes na fase de projeto e na construção de edificações. Novos elementos construtivos de fechamento estão sendo introduzidos no mercado nacional e no cotidiano das edificações sem estudo prévio de seu comportamento físico-mecânico e, assim, sua eficiência térmica e acústica vem sendo questionada por profissionais e por usuários. Os sistemas de fechamento pré-fabricados representam uma das inovações de maior peso nas edificações metálicas, já que estes sistemas, além de determinarem a configuração geral da construção, influenciam diretamente no seu desempenho global (BASTOS, 2004; RIBAS, 2006; RIBAS, 2013).

Diante a estas constatações, o estudo de desempenho térmico e acústico se torna pertinente, pois a industrialização gera novos materiais, e para que eles sejam usados de forma mais coerente, é preciso que sejam realizadas investigações em relação ao clima, tipo de ocupação, forma da edificação e implantação da edificação. Estas investigações possibilitariam a identificação de possíveis falhas em edificações existentes ou futuras, fornecendo melhorias ou projetos mais condizentes com a condição de conforto humano.

### **1.3. Objetivo**

Fazer uma avaliação pós-ocupação no edifício sede da Escola de Ciências Biológicas do UnilesteMG, analisando a dinâmica de apropriação do espaço, bem como o comportamento dos usuários frente aos parâmetros de conforto ambiental.

Para esta análise, são abordados os seguintes fatores:

- relação entre ambiente construído e o comportamento humano;
- investigação dos pontos positivos e negativos do uso da estrutura em aço;
- avaliação da satisfação do usuário em relação ao conforto térmico e acústico;
- medições *in loco* com sensores de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e do nível de pressão sonora;
- simulação computacional de desempenho térmico utilizando o programa *Energyplus*.

### **1.4. Motivação**

Hoje no Brasil, como em outras partes do mundo, o uso do aço vem a cada ano se tornando mais expressivo. Porém há de se destacar que, mesmo em países mais desenvolvidos, existe certa incoerência das escolhas dos sistemas de fechamento para formarem conjunto com o aço. A exemplo disso, alguns estudos avaliam tanto a estrutura em aço como o conforto térmico e acústico gerado por essas edificações, tais como Ribas e Souza(2011), Nascimento e Souza (2012), dentre outros.

Muito se sabe das vantagens da utilização do aço e suas características físicas. Mas ainda há um despreparo dos atuais profissionais do mercado, que sem qualificação específica não aproveitam os benefícios que este material poderia proporcionar

(CAMPOS, 2010). Existem poucos estudos de possibilidades de fechamentos, já que o aço proporciona uma maior leveza na construção. Faltam também cuidados específicos com as juntas entre estrutura e fechamento, e observância com o desempenho térmico e acústico dos sistemas de fechamento em geral.

A escolha de materiais e métodos de construção, a disposição dos espaços, a procura do funcional e do ambiente seguro, marcam a evolução das construções, refletindo o nível de conhecimento, desenvolvimento e cultura da sociedade. Além do sistema estrutural e método construtivo, a eficiência global do ambiente construído é outro fator importante no projeto. Uma edificação projetada de forma adequada para o clima no qual está inserida e observando-se o seu entorno, pode apresentar desempenho adequado, 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 componentes importantes no processo construtivo, e no desempenho ambiental global, pois estão diretamente ligados à imagem e ao conforto térmico e acústico de qualquer edificação.

A falta de estudos na melhor escolha do fechamento adequado para implantação de edificações metálicas no país, bem como a falta de projeto adequado a cada situação tem gerado edificações e ambientes desconfortáveis e inconvenientes com a realidade nacional. Para a tentativa de solução ou amenização de tais problemas, os usuários se vêem obrigados a realizarem medidas paliativas para tornar o ambiente mais próximo do ideal para o uso. Uma das soluções mais utilizadas é o aumento do uso de equipamentos climatizadores e este considerável aumento tem gerado maiores gastos energéticos, distanciando-se dos ideais de sustentabilidade. Nesse contexto e analisando-se o histórico da má qualidade dos espaços construídos no país, a avaliação de desempenho de ambientes construídos torna-se relevante e os resultados obtidos podem contribuir na implantação de novos projetos.

Neste trabalho, tem-se como foco a avaliação do desempenho de edificações estruturadas em aço destinadas ao ensino. Com a necessidade de adequação e atendimento imediato para atender a atual demanda no setor educacional, seja ele público ou privado, o setor civil tem priorizado o uso da estrutura metálica como alternativa para limpeza do pátio da obra e agilidade na entrega do empreendimento.

Considerando-se os estudos relacionados ao ambiente construído, realizados no país, especificamente aqueles voltados para edificações de uso escolar, nota-se que existe uma relação direta entre a qualidade do ambiente e o desempenho do aluno. E estudos físico-pedagógicos, como Graça, Kowaltowski e Petreche (2006), comprovam que é necessário oferecer ao aluno um ambiente que proporcione condições agradáveis para a atividade intelectual, observando principalmente os condicionantes de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica dos ambientes destinados para o estudo. Então, pode-se afirmar que as salas de aulas precisam fornecer para alunos e educadores condições adequadas e aceitáveis de conforto, garantindo um maior rendimento de suas atividades.

Kowaltowski et al.(2011), ressaltam que no Brasil as avaliações pós-ocupação indicam problemas do ambiente construído que podem ter sido originados em função de possíveis lacunas existentes no processo de projeto. E nesse contexto a necessidade de caracterização de avaliações pós-ocupação se fazem necessárias para gerar subsídios de intervenção ou aprimoramento de projeto com o intuito de se evitar futuras falhas.

Cada vez mais, tem-se buscado a relação entre o conforto ambiental e o espaço construído, já que aumentaram as exigências quanto à qualidade do ambiente construído. Além disso, as pessoas começam a se conscientizar dos prejuízos do consumo de energia, tanto econômica como ambientalmente. Estes fatores influenciam na busca de alternativas para a otimização do desempenho da edificação, objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima local.

## **1.5. Metodologia**

“Escolher o método adequado nem sempre é tarefa fácil para o pesquisador, já que este deve ter o devido cuidado na determinação da pertinência dos caminhos a percorrer de modo que os resultados possam ser cientificamente confiáveis pelo uso correto dos critérios metodológicos, mas, que, por outro lado, que estes procedimentos não se sobreponham em importância como parâmetro de validação e certificação da qualidade do estudo realizado” (BASTOS, 2004).

O desenvolvimento do trabalho engloba uma avaliação pós-ocupação do edifício da Escola de Ciências Biológicas do UNILESTEMG. Investiga-se, por meio de medições *in loco*, as variáveis ambientais e os níveis de ruído. Por meio de aplicação de questionários aos usuários avalia-se a qualidade do ambiente térmico e acústico nas salas de aula.

Após as investigações anteriores mencionadas, foram realizadas simulações computacionais a fim de verificar a eficiência de proposições de melhorias, sejam elas por materiais e ou alterações de *layout*.

## **1.6. Exemplos de Estudos de Caso**

Como exemplos de estudos de casos, foram selecionadas pesquisas realizadas em edifícios institucionais em outras regiões do país, com o objetivo de mostrar a importância desta metodologia de avaliação de desempenho como uma ferramenta para realimentar a cadeia construtiva para esses tipos de edificações. Aqui são destacados os seguintes estudos de casos: Edifício de Engenharia de São Carlos realizado pela Universidade Federal de São Paulo – USP, Vieira (2008) em São Paulo, Salas de aulas da rede UNEMAT – Campus Renê Barbours, em Mato Grosso, Abadié et. al (2009).

### **1.6.1. Estudo de caso 1 - Edifício da Escola de Engenharia de São Carlos – USP**

O objeto de estudo nesse trabalho foi o primeiro bloco de salas implantado no campus da Universidade de São Carlos, Figura 1.1.



Figura 1.1 - Edifício de Engenharia de São Carlos.

Fonte: DUARTE; MANGE, 1956 *apud* VIEIRA, 2008

Neste projeto os autores preservaram uma arquitetura racional, funcional, com espaços flexíveis, integração social e cultural, para assim tentarem garantir o bem estar do homem e sua performance, assim como a conservação energética.

Juntamente com os efeitos do modernismo, o projeto contemplou a edificação com uma preocupação muito envolvida quanto ao conforto de um modo geral. Na Figura 1.2 pode-se perceber a liberdade de olhar e caminhar, tanto dentro da edificação como em sua volta, criando logo de impacto o bem estar visual.



(a) - Pilotis, livre de acesso



(b)- Fachada em fita



(c) - Vão interno livre



(d) - Comunicação do interno e externo

Figura 1.2 – Detalhes da edificação-Bloco E1

Fonte: VIEIRA,2008

Para a avaliação de desempenho térmico, a autora realizou uma análise projetual (microclima, partido arquitetônico, implantação, materiais, técnicas construtivas e abertura). Juntamente com a análise, foi realizada uma avaliação pós-ocupação por questionários junto aos usuários e medições *in loco* por meio de equipamentos apropriados.



Foram aplicados 60 questionários sendo divididos por sexo e faixa etária. Para averiguar estágios de satisfação dos usuários foram realizados questionários relativos à sensação de conforto térmico, tendo como norteador a escala subjetiva de sete pontos da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004).

Para as medições *in loco* foram escolhidos dois ambientes do bloco E1, conforme identificado na Figura 1.3. Os ambientes analisados foram: a sala de assistência administrativa, localizada no primeiro andar e a ante-sala do anfiteatro, localizado no terceiro andar, conforme Figura 1.4. O aparelho de aferição de temperatura usado foi: o confortímetro (SENSU), que mede temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura de globo.



Figura 1.3 – Campus EESC – USP 2002

Fonte: VIEIRA, 2008

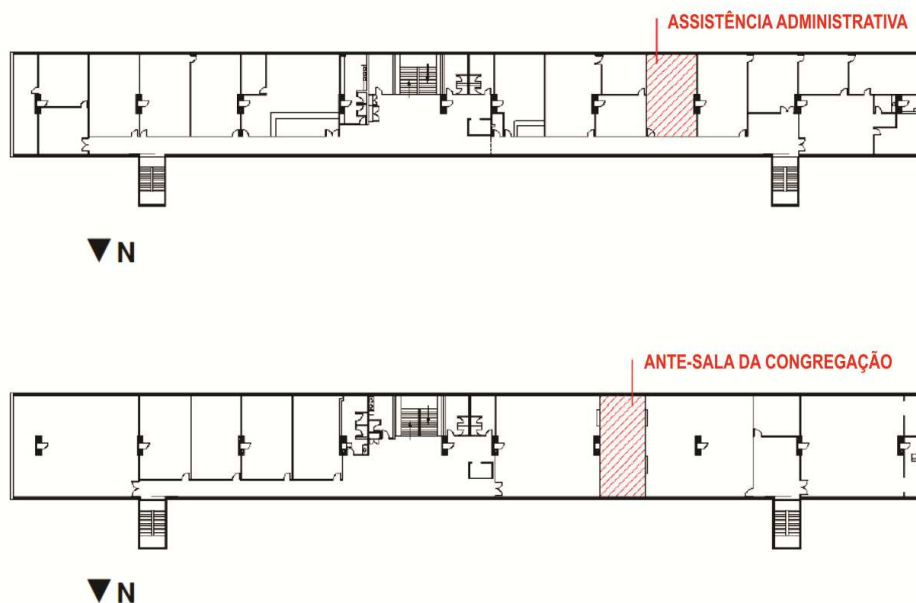


Figura 1.4 – Planta do 1º e 3º Pavimento - Bloco E1

Fonte: VIEIRA,2008

Com os dados medidos, foram feitos cálculos de índices de PMV (Voto Médio Estimado) e PPD (Percentual de Pessoas Insatisfeitas), e comparados com a norma ISO 7730 (ISO, 2006). A temperatura externa foi coletada por uma estação meteorológica existente no próprio campus. As medições foram realizadas em quatro períodos diferentes e usando um critério de maior e menor média de temperatura por período.

Realizando uma análise entre os resultados dos questionários obtidos nas perguntas relacionadas à sensação térmica no verão e no inverno, e os índices PMV e PDD gerados a partir das medições *in loco* das variáveis ambientais, pode-se notar que houve uma pequena disparidade. As sensações térmicas relatadas pelos usuários do Bloco E1 apresentaram valores para o verão, como sendo quente, apesar de opções corresponde a nem quente e nem frio e ou levemente quente e muito quente foram bastante assinaladas. Para o inverno obteve-se um resultado similar ao verão onde a opção mais escolhida foi a opção frio. Os dados obtidos a partir das medições, no período correspondente ao verão, em que a maior parte das respostas dos usuários correspondeu a quente, enquanto o PMV calculado a partir das medições, para o mesmo período, correspondeu predominantemente, a levemente quente.

Esta diferença pode estar relacionada à possibilidade de adaptação climática dos ambientes pesquisados. Esta opção de adaptação é de grande relevância para que um ambiente se torne ou não confortável, ou próximo do ideal.

Os resultados obtidos nas medições das variáveis ambientais foram satisfatórios, nos períodos mais quentes. A temperatura interna manteve-se, na maioria das vezes abaixo da externa, e nos períodos mais frios, a temperatura interna manteve-se na maior parte das vezes, acima da externa.

### **1.6.2. Estudo de caso 2 – Salas da UNEMAT – Campus Renê Barbour**

Barra do Bugres situa-se no estado de Mato Grosso, cuja capital é Cuiabá. De acordo com Carvalho (2007), a região possui clima tropical quente e semi-úmido com razoável precipitação anual, tendo setembro como o mês mais quente, com suas temperaturas variando entre de 22°C a 36°C. Durante todo ano, a região, possui dois a três meses de chuva intensa e quatro a cinco meses de seca. Neste estudo foram analisadas as salas 6 e 8 do Campus Universitário Renê Barbour da Universidade do Estado de Mato Grosso. Foi desenvolvida uma análise nas superfícies dos materiais aplicados na sala de aula e suas respectivas emissividades. Esta análise foi realizada para averiguar quais desses materiais com menor emissividade iriam sofrer grandes amplitudes térmicas, em função da sua alta condutividade térmica, como por exemplo, o vidro que alcança 44°C durante o dia e 24°C a noite. Por outro lado, os materiais com maior emissividade tendem a manter as suas temperaturas mais constantes. Foi utilizado o programa *Analysis CST 21*, desenvolvido por Lamberts e Xavier (2007), para examinar os ambientes, determinando os índices de PMV e PPD. Para tanto foi utilizado dados obtidos com medições *in loco* das variáveis físicas que envolvem temperatura radiante média, temperatura do ar e umidade relativa, bem como das variáveis pessoais onde se considerou atividade sedentária e uso de roupas leves (0,45 clo). Vale lembrar que para cada análise deve-se considerar as condições aceitáveis de conforto que segundo a ISO 7730 (ISO, 2006) que determina o PMV entre -0,5 e +0,5 e o PPD máximo de 10%. Todavia independente das situações e horários, os índices de PMV alcançaram +1,81 e PPD superiores a 75%, não estando de acordo com os limites aceitáveis, pelo ganho excessivo de calor.

Para a análise acústica avaliaram-se as variáveis que atentariam a inteligibilidade do som no ambiente como o eco e a reverberação, verificados por meio da geometria sonora e o coeficiente de absorção dos materiais, respectivamente. Para o eco, os cálculos apontaram resultados desfavoráveis apenas para a sala 06 por esta possuir um comprimento considerável, em relação a sua largura. Considerou-se como parâmetro 40 dB e tempo de reverberação de 0,7s a 0,9s para frequências de 512 Hz, em ambientes de ensino. Nesse contexto, obteve-se na sala 06, um tempo de reverberação de 1,45s, e na sala 08 de 0,96s, identificando assim problemas de reverberação do som. A coleta dos níveis de intensidade sonora mostrou pouca influência do exterior, pois a maior fonte de ruído se concentra no interior do ambiente sendo emitida pelos equipamentos (ventiladores, ar-condicionado, luminárias), com valores que alcançaram uma faixa de 65dB.

Por meio da análise da Isolux percebeu-se que a iluminação nas duas salas de aula não é adequada ao nível de iluminância necessária ao ambiente escolar (300 - 500lux) e que essa distribuição não é homogênea, pois as proteções solares utilizadas (persianas e papéis crafts) dificultam a passagem da luz externa. Com a análise das medições, no período da manhã percebeu-se que na sala 6 há formação de uma faixa menos iluminada (100 a 119 lux), já a sala 8 apresenta situação mais grave (37 a 68 lux), o que é inadequado para um ambiente de leitura. No período da tarde, a situação é semelhante, porém a iluminação é mais intensa, se comparada com o período da manhã. Quanto à iluminação artificial medida no período noturno, constatou-se que, tanto na sala 6 quanto na sala 8, a iluminação utilizada alcançou máxima de 87lux na sala 8 e 151 lux na sala 6, fato decorrente da má distribuição e qualidade das luminárias.

A partir das constatações mencionadas, e como proposição de melhorias adotou-se as diretrizes para a Zona Bioclimática7 (NBR15220, ABNT 2005). Foi adotado o uso de paredes duplas de tijolos de oito furos assentados na menor direção, acoplando assim uma nova camada de tijolos a primeira existente, no intuito de diminuir a passagem do calor para o interior do ambiente. Quanto à cobertura, foi aproveitado o telhado existente e o forro de madeira e acrescentada uma camada de lã de vidro com 0,085m. As aberturas foram trocadas, passando a corresponder a 10% da área de piso, conforme mostrado na Figura 1.5.

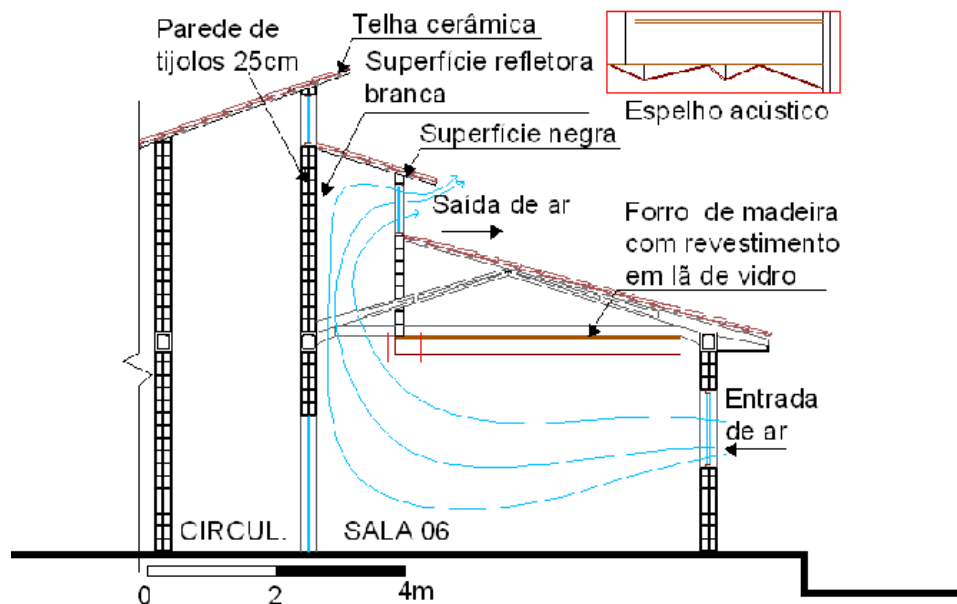


Figura 1.5- Corte esquemático da sala 06.

Fonte: ABADIÉ, 2009

Após análise, observou-se que o uso de um lanternim com abertura unilateral orientada para o Sul, contribuirá para ventilação por efeito chaminé. Tal abertura terá suas paredes internas pintadas de branco, favorecendo o aumento das reflexões e a melhor distribuição da iluminação. A cobertura do lanternim será pintada de preto para aumentar o calor absorvido pela telha cerâmica, elevando sua temperatura superficial, aquecendo o ar presente no pescoço do lanternim e criando correntes convectivas por diferença de temperatura.

Foram verificadas, com essa proposta, 19 renovações de ar por hora, com o uso do programa Chaminé 2.5 (ALUCCI, 2002), que apontou a eficiência da ventilação, já que para salas de aula são indicados de 10 a 30 ren/h.

Para uma melhor dissipação do som, optou-se pela utilização de espelhos acústicos de madeira no forro, de forma a aperfeiçoar a direção do som e aumentar sua qualidade. Nesse contexto, adotou-se um painel de compensado (4 mm de espessura a 10cm da parede, com 5 cm de lã e perfurada em 8,7%).

Nasala 06, o painel trata-se de uma faixa de 0,90 m de largura que percorre todo seu perímetro exceto na parede onde se localiza o quadro-negro. Já na sala 08, a faixa seguiu a mesma configuração, mas com uma largura de 0,50 m.

Os resultados alcançados foram favoráveis, obtendo-se para a sala 06, como mostrada na Figura 1.6, um tempo de reverberação de 0,89s e para a sala 08 de 0,76s.



Figura 1.6 – Perspectiva da sala 06.

Fonte: ABADIÉ, 2009

Mediante os problemas encontrados na iluminação das salas, faz-se indispensável a intervenção estrutural no prédio por meio de mudanças nas aberturas, luminárias e uso de superfícies internas mais claras. Dessa forma, combinou-se a iluminação lateral com a iluminação zenital (lanternim), propiciando também a renovação do ar no ambiente.

Após a pesquisa de campo juntamente com os aprofundamentos teóricos, percebeu-se que as salas 06 e 08 da UNEMAT não estão dentro das condições de conforto térmico, lumínico e acústico. Logo, o aproveitamento dos alunos poderia ser superior se o espaço construído oferecesse condições para o rendimento das atividades acadêmicas. Visando suprir tais falhas, atualmente faz-se o uso de equipamentos para climatizar e iluminar os ambientes, resultando em elevados gastos energéticos e, por conseguinte econômicos.

Nota-se, com os dois estudos de caso analisados, que é de suma importância a variação de métodos para avaliação do conforto ambiental de salas de aula para que os resultados possam nortear reformas de melhorias em edificações existentes e até mesmo servir de pesquisa e exemplo para que os mesmos erros possam ser corrigidos em futuras edificações.

## **1.7. Estrutura do Trabalho**

O trabalho está estruturado em 5 capítulos, sendo que no Capítulo I faz-se um levantamento geral de edificações em aço e suas aplicações no país. Neste capítulo encontram-se também os objetivos e justificativas da relevância do estudo de edificações destinadas ao ensino e uma rápida introdução do modo de abordagem a ser utilizada na pesquisa.

No Capítulo II tem-se uma revisão contextual do desempenho de edificações escolares no país, e parâmetros importantes a serem pesquisados para se avaliar os resultados de conforto do ambiente, sejam eles objetivos ou subjetivos.

No Capítulo III descreve-se a metodologia adotada para a coleta dos dados e os parâmetros de simulação utilizados.

No Capítulo IV faz-se uma análise crítica dos resultados obtidos via medições *in loco*, simulações numéricas e dos dados subjetivos coletados.

No capítulo V encontram-se dados do objeto de estudo.

No capítulo VI apresenta-se as considerações finais da pesquisa e sugestões para pesquisas futuras.

## **2. DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES**

### **2.1. Avaliações x Usuários**

Segundo Pinheiro e Günther (2008), em todas as áreas de conhecimento, o foco maior é no 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 entre ambiente x comportamento vem sendo discutido massivamente como princípio ideal para a harmonia física e psíquica do ser humano, dos quais podem ser citados Elali (2008), Roetzel e Tsangrassoulis (2012), Teli, Jentsch e James(2012), Nascimento e Souza (2012), dentre outros.

Um ambiente confortável é essencial para o bem estar e saúde do ser humano. Uma edificação deve proporcionar condições térmicas, acústicas e de luminosidade ideais para garantir a sensação de bem estar do usuário, de acordo com o uso.

Para verificar e estabelecer parâmetros de conforto dos ambientes construído existem várias técnicas e métodos avaliativos, dentre eles a avaliação pós-ocupação. Pode se dizer que o conceito de avaliação pós-ocupação é o estabelecimento de informações e critérios de satisfação do usuário, onde se busca aumentar a qualidade e o aumento de valor no ambiente construído, pressupondo um processo contínuo de aperfeiçoamento para a presença efetiva de benefícios aos usuários.

A falta de conhecimento de algumas tecnologias construtivas e o uso inadequado de materiais de construção pode resultar em um ambiente que não oferece condições térmicas, luminosas, acústicas, ergonômicas e funcionais ideais. O conforto do ambiente deve fazer parte da concepção do projeto e da vida de seus usuários, atuando como elemento essencial para garantir a saúde e o bem estar.

A demanda dos cidadãos por qualidade de vida, em especial, nos ambientes construídos, vem crescendo rapidamente, face à evolução cultural da população e ao incremento das múltiplas fontes de incômodo e a tensão da vida cotidiana. Neste sentido é de suma importância a participação do usuário como fonte de análise, bem como reforçar aquilo que lhe é importante para seu bem estar durante a permanência no ambiente construído.



Segundo Hermsdorff (2005) a satisfação do usuário deverá ser vista como uma possibilidade deste se posicionar criticamente frente a novas tecnologias, e na medida em que mantém o espaço por ela produzido. E que, finalmente, ao se apropriar deste espaço, possa também avaliar positiva ou negativamente como esta nova cultura construtiva afeta a relação espaço x usuário.

Nesse contexto, avaliações pós-ocupação em prédios escolares permitem constatar a existência de pontos positivos e negativos no ambiente construído, e avaliar se as escolhas dos materiais e da tipologia construtiva são pertinentes ao local de implantação. Observa-se em algumas pesquisas, Kowaltowski et al.(2011) e Graça, Kowaltowski e Petreche (2006), que existem ambientes educacionais desconfortáveis, tanto nas áreas administrativas, como nas áreas pedagógicas, devido a ausência de análise de conforto e do programa no processo do projeto, afetando o desempenho intelectual de seus usuários. O local mal planejado destinado às salas de aula, afeta criticamente um grande número de pessoas, prejudicam a função principal da escola e acarretam grandes custos para a correção, uma vez que englobam diversos ambientes e grandes áreas construídas.

Os principais problemas de implantação de salas de aula se relacionam às questões de conforto ambiental, entre eles pode-se citar: ofuscamento do plano de trabalho, nível de pressão sonora e tempo de reverberação superiores aos recomendados, desconforto térmico no período da manhã no inverno e no período da tarde no verão e insolação direta sobre os alunos, entre outros (KOWALTOWSKI et al., 2011).

Graça (2002), em sua pesquisa realizada na rede de escolas estaduais do estado de São Paulo, constatou que além das condições de desconforto que o ambiente escolar oferece por questões ambientais, os mesmos estão associados, também a uma padronização de implantação desenvolvida pela Fundação de Desenvolvimento Educacional (FDE). A FDE é a instituição fornecedora do programa arquitetônico e da documentação padronizada aos arquitetos para desenvolvem os projetos. Esta padronização gera um ambiente escolar equivocado, pois, essa repetição de projetos para as escolas públicas não leva em consideração as questões de conforto térmico e acústico, enfatizando somente as de viabilizações econômicas e políticas.

Em se tratando de desconforto de salas de aula, algumas pesquisas apontam os efeitos nocivos que a acústica inadequada e o estresse térmico podem causar na saúde dos indivíduos e no processo de aprendizagem. Filho (2005) cita alguns desses efeitos: diminuição da atenção e fadiga mental, atraso no aprendizado para leitura, decréscimo da inteligibilidade do conteúdo das lições e falta de interesse em entender o que está sendo ensinado.

## **2.2. Desempenho x Conforto Ambiental**

O conforto ambiental é amplo e subjetivo e quando se refere ao ambiente construído, está ligado à questão básica de se proporcionar aos assentamentos humanos condições necessárias de habitabilidade, utilizando-se racionalmente os recursos disponíveis. Trata-se de fazer com que o produto arquitetônico corresponda – conceitual e fisicamente - às necessidades e condicionantes do meio ambiente natural, além do social, cultural e econômico de cada sociedade.

Segundo Picada (1999), o conforto ambiental está intimamente ligado às necessidades psicossomáticas do indivíduo que, muitas vezes, têm que ser expressas para que possam ser atendidas e, em outras vezes, por tão específicas e particulares, são relegadas a solução genérica adotada.

## **2.3. Desempenho Térmico**

Existem, na literatura, vários conceitos e definições para o conforto térmico, todos buscando expressar as sensações de um indivíduo quando este está termicamente confortável em um ambiente.

Dentre eles pode-se citar Fanger (1972), onde afirma que neutralidade térmica, em um ambiente termicamente controlado, é a condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor e nem mais frio no ambiente ao seu redor. Já a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) e a norma ISO 7730 (ISO, 2006) determinam que se o balanço de todas as trocas de calor e de massa a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem está em neutralidade térmica.

A condição de conforto térmico depende de variáveis físicas e pessoais, o que torna sua definição consideravelmente subjetiva. A subjetividade está relacionada ao fato de que cada indivíduo possui características físicas (idade, sexo, peso, altura) e culturais diferentes. Desta forma, o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal ou ambiental. Do ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação do usuário em relação à temperatura do ambiente. Do ponto de vista físico, o ambiente é confortável quando as condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termorreguladores.

A condição de conforto é obtida mediante o efeito conjugado e simultâneo de um conjunto de fatores objetivos, como os elementos do clima (temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar e radiação), a vestimenta, e outros fatores de caráter subjetivo como aclimação, forma e volume do corpo, cor, metabolismo, etc. O efeito conjugado destes parâmetros, quando produz sensações térmicas agradáveis, é denominado zona de conforto e seu estudo é de suma importância para o condicionamento térmico natural das edificações (RORIZ, 1996).

Para a obtenção de um ambiente termicamente confortável para os seus usuários, as normas sobre conforto térmico podem ser consideradas ferramentas essenciais. Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem considerar os consumos energéticos necessários para atingir o conforto do ambiente. Porém, devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e a busca do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de atingi-lo com o menor consumo energético possível, contribuindo com a eficiência energética da edificação.

### **2.3.1. Variáveis ambientais**

Nas avaliações de desempenho térmico existem alguns parâmetros ambientais e humanos fundamentais que são analisados e que interferem diretamente no conforto global do ambiente e no desempenho geral dos usuários.

Dentre as variáveis climáticas, neste trabalho foram aferidas diretamente a temperatura do ar interno, a umidade e a temperatura de globo nos ambientes.

### **2.3.1.1. 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.

É um indicador simples e está fortemente ligado com a sensação térmica dos indivíduos e, nos modelos empíricos, geralmente é a variável principal.

### **2.3.1.2. Umidade do ar**

A umidade existente no ar afeta diretamente o metabolismo do corpo humano. Quando aumenta a umidade do ar, o corpo transpira menos, o suor se condensa na pele e há a sensação de maior calor, além da dificuldade de respirar. Quando a umidade do ar é baixa, o ar fica mais seco e, mesmo com a temperatura elevada, não há essa sensação de grande calor.

### **2.3.1.3. Velocidade do ar**

A velocidade do ar em ambientes internos, que costuma ser abaixo que 1m/s, ocorre sem necessariamente a ação direta do vento. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor.

### **2.3.1.4. Temperatura de globo**

A temperatura de globo é utilizada para se calcular a temperatura radiante média. A temperatura radiante média representa a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme. O seu cálculo pode ser feito por meio da determinação da temperatura de termômetro de globo e da temperatura do ar.

## **2.3.2. Variáveis Humanas**

### **2.3.2.1. Metabolismo**

Metabolismo é o processo de produção de energia interna (transformação) a partir de elementos combustíveis orgânicos. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% é transformada em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio. Isto acontece porque a temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante em 37°C (variando entre 36,1 e 37,2°C). Os limites para sobrevivência estão entre 32 e 42°C (ROAF, 2009).

Como a temperatura interna do organismo deve ser mantida constante, quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termo-regulador do homem é ativado, reduzindo ou aumentando as perdas de calor pelo organismo por meio de alguns mecanismos de controle, como reação ao frio e ao calor.

Quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

### **2.3.2.2. Vestimenta**

A vestimenta equivale a uma resistência térmica interposta entre o corpo e o meio, ou seja, ela representa uma barreira para as trocas de calor por convecção entre o corpo e o meio vizinho. A vestimenta funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre.

Em climas secos (desertos), onde se atinge elevadas temperaturas, poder-se-ia pensar que a ausência de roupas poderia garantir condições mais confortáveis para os habitantes destas regiões. No entanto, em climas secos, vestimentas adequadas podem manter a umidade advinda do organismo pela transpiração e evitar a desidratação. A vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor.

A vestimenta reduz também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra, do ajuste ao corpo.

### 2.3.3. Condições subjetivas de conforto térmico

Com o intuito de avaliar o efeito conjunto das variáveis de conforto térmico, alguns pesquisadores sugerem diferentes índices de conforto térmico. De forma geral, estes índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta do indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos.

Existem vários índices de conforto térmico, porém, para fins de aplicação às condições ambientais correntes nos edifícios e para as condições climáticas brasileiras, será utilizada a escala de sensação térmica indicada pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004), conforme mostrado na Tabela 2.1.

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 (2004)

A variável psico-fisiológica mais importante contemplada neste trabalho é a sensação térmica dos indivíduos. Esta variável é obtida por meio da aplicação de questionários, utilizando uma escala de sete pontos, denominada escala de sensação térmica (+3 muito quente, +2 -quente, +1 -ligeiramente quente, 0 -confortável, -1 -ligeiramente frio, -2 -frio e -3 -muito frio), e representa o grau de satisfação dos indivíduos no dado ambiente.

Além da sensação térmica, outros parâmetros psico-fisiológicos foram levantados neste trabalho com a aplicação de questionários, como o conforto acústico, condições físicas da edificação e grau de satisfação da estrutura geral.

## **2.4. Estratégias de Projetos x desempenho térmico**

### **2.4.1. Ventilação Natural**

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. A configuração do fluxo de ar no interior de uma construção é determinada pelo tamanho, localização e a configuração das aberturas na parede, e pela localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas (como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais adjacente a elas).

Durante a fase de projeto de uma edificação deve-se prever a localização das aberturas em função da direção dos ventos dominantes na área a ser implantada. O tipo de abertura e o tamanho devem ser desenvolvidos de forma a produzir maior ventilação para o interior da edificação. De acordo com Cândido (2006) a relação entre as aberturas de entrada e saída de ar é de grande importância nos valores de velocidade média nos espaços internos. De modo geral, as aberturas de entrada com mesma dimensão das dimensões de saída proporcionam uma melhor distribuição do fluxo de ar e valor de velocidade média mais uniformes nos ambientes.

As tipologias das aberturas também influenciam na ventilação do ambiente. A presença de marquises, beirais, protetores solares e outros elementos semelhantes podem redirecionar o fluxo de ar, mantendo a integridade com o exterior além de proteger as aberturas contra a radiação solar direta. Outro fator que pode influenciar na ventilação é a presença de vegetação e edificações no entorno que podem causar obstrução do ar, modificando sua velocidade e pressão.

A ventilação é também muito importante na dispersão de poluentes aéreos gerados pelas atividades do homem e na renovação do ar viciado de ambientes fechados. Além disso, contribui para o conforto térmico do ambiente, aumentando as trocas térmicas entre o homem e o meio, sendo um fator importante para a renovação do ar.

### **2.4.2. Brises e sombreamento**

O conhecimento da geometria solar é fundamental para engenheiros e arquitetos, pois a maior parte de nosso território tem verões quentes com grandes períodos de sol, tendo o

sombreamento como uma das estratégias bioclimáticas mais indicadas. As proteções solares são utilizadas quando a radiação direta não é desejada dentro do ambiente. O formato e desenho das proteções exigem o conhecimento do movimento do Sol e da Terra, e de seus efeitos sob a visão do observador. Este pode ser um ponto, uma reta, um plano como uma parede ou janela ou um volume, no caso de uma edificação.

Em projetos previamente estudados e articulados é possível prever e reduzir estes futuros desconfortos em quase todos os ambientes da edificação. Quando não observado o estudo da projeção do sol em relação ao terreno e a futura implantação, será necessário, posteriormente, adequar a edificação com soluções paliativas para conter ou amenizar a radiação direta indesejada.

Sabe-se que a radiação é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios. A radiação solar de onda curta que entra por uma abertura no edifício incide nos corpos, que se aquecem e emitem radiação de onda longa. O vidro, sendo praticamente opaco à radiação de onda longa, não permite que o calor encontre passagem para o exterior, superaquecendo o ambiente interno. Este fenômeno é conhecido como efeito estufa e é o maior transformador da radiação solar em calor no interior de uma edificação.

Para que se possam evitar tais danos é necessário fazer um estudo prévio dos diagramas solares. Com este estudo é possível se projetar sombreamentos ou brises eficientes e coerentes à realidade da edificação, seja ela construída ou ainda na fase de projeto.

E antes de se fazer o estudo do diagrama solar é necessário saber as seguintes definições:

- ter conhecimento na orientação norte-sul;
- o azimute, que é o ângulo que a projeção do sol faz com a direção norte;
- a altura solar, que é o ângulo que o sol faz com o plano horizontal;
- e que ambos os ângulos variam conforme a latitude do local, hora do dia e dia do ano.

Os azimutes solares são representados por linhas irradiadas do centro (observador), e as alturas solares se projetam como circunferências concêntricas. Conforme mostrado na Figura 2.1, podem-se observar estes ângulos para um raio de sol às 10 horas da manhã



no equinócio. A projeção horizontal desse raio de sol é o azimute para àquela hora e dia do ano. O ângulo vertical formado entre essa projeção e o raio de sol, é a altura solar. O azimute solar é medido no sentido horário a partir do norte geográfico (azimute zero) e a altura solar é medida a partir do plano horizontal ( $0^\circ$ ) até o zênite ( $90^\circ$ ).

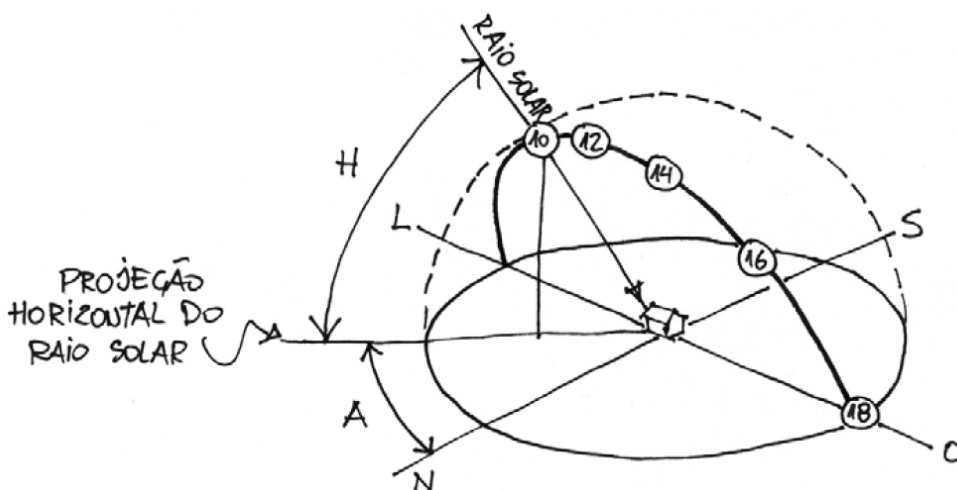


Figura 2.1 – Diagrama de azimutes e alturas solares

Fonte: LAMBERTS et al., 2007

Com a interpretação correta do diagrama solar é possível saber exatamente qual é o azimute e a altura solar em cada horário desejado ao longo de um ano inteiro para o local específico de projeto. A carta solar torna-se, assim, uma ferramenta de auxílio ao projeto, pois diz a posição exata do sol num determinado momento, informação essencial para saber, por exemplo, se o sol vai penetrar por uma abertura, se vai ser sombreado por uma edificação vizinha e se deve ou não ser sombreado por proteções solares para determinada orientação (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Aplicações práticas do diagrama solar

Aplicações	Possíveis soluções
Sombreamento do entorno	Um diagrama solar pode ser utilizado para a determinação do sombreamento que um edifício faz no seu entorno.
Horas de sol	É possível calcular o número de horas de sol durante certo dia do ano para certa localidade por meio do diagrama solar. Para isso, basta obter o horário do nascer e do pôr do sol para o dia desejado.
Penetração da luz solar	Pode-se também desenhar a penetração solar em um ambiente para dias e horários especificados. Este procedimento é útil quando se quer que o sol incida diretamente em certo ponto do ambiente ou quando se quer evitar que o sol penetre por uma abertura.

Após a interpretação do diagrama solar é necessário utilizar o transferidor de ângulos que servirá de base para orientar no dimensionamento dos elementos construtivos como obstruções, aberturas, proteções solares, edifícios, vegetação entre outros. O transferidor é útil para a análise mais rápida e fácil do sombreamento do entorno, penetração solar e proteções solares.

O transferidor consiste em um círculo de mesmas dimensões do diagrama solar. Neste círculo existem linhas radiais e linhas curvas, cada uma representando uma possível aresta do elemento a ser analisado. Cada plano de um determinado elemento sob análise pode ser convertido em uma combinação de duas ou mais destas linhas (LAMBERTS et al., 2007).

Para entender o funcionamento do transferidor de ângulos, é necessário conhecer-se os três principais tipos de ângulos existentes, o 'α' (alfa), o 'β' (beta) e o 'γ' (gama). O Ângulo α é o ângulo formado entre o zênite e a direção da incidência do raio solar visto em corte, conforme mostrado na Figura 2.2, variando de 0°, quando coincidente com o plano vertical, até 90°, quando atinge o plano horizontal. O traçado de alfa no transferidor de ângulos é uma linha curva que representa a projeção da aresta horizontal de um plano. O ângulo Alfa pode ser medido interno ou externo. O valor externo é medido a partir do plano horizontal até o zênite.

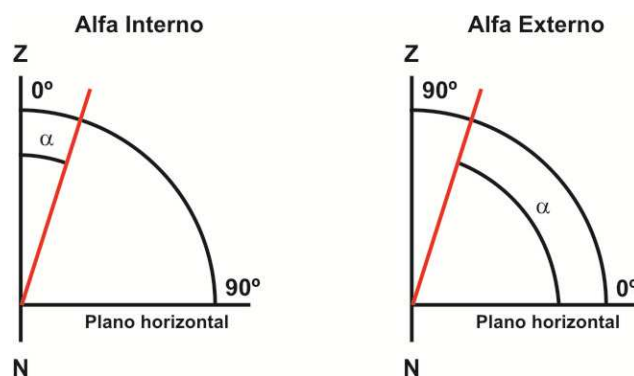


Figura 2.2 - Ângulos alfa interno e externo  
Fonte: LAMBERTS et al., 2007

O Ângulo β é o ângulo formado entre a projeção do ângulo vertical e a direção da incidência do raio solar visto em planta e seu valor pode variar de 0° a 90° em cada um dos quatro quadrantes da circunferência. O ângulo β auxilia no traçado de arestas verticais sobre a carta.

O Ângulo  $\gamma$  é traçado da mesma forma que o ângulo  $\alpha$ , porém rotacionado em  $90^\circ$  em relação a este e pode delimitar os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ .

Para que um sombreamento ou brise tenha o comportamento e eficiência desejada, é necessário ter o dimensionamento embasado no desenho do diagrama solar. Este desenho pode ser preciso a ponto de determinar a entrada ou não de raios solares no interior do ambiente durante as horas do dia e os meses do ano que se desejar. Portanto, um brise será considerado eficiente quando impedir a entrada de raios solares no período desejado.

Existem vários tipos de brises e a escolha adequada é realizada de acordo com o estudo do diagrama solar que irá determinar a largura e altura a ser sombreada. A seguir são listados alguns tipos de brises e quais suas principais funções.

#### 2.4.2.1. Brise horizontal infinito

Os brises horizontais impedem a entrada dos raios solares por meio da abertura a partir do ângulo de altitude solar. O traçado do mascaramento proporcionado por este brise é determinado em função do ângulo  $\alpha$  e é apresentado na Figura 2.3.

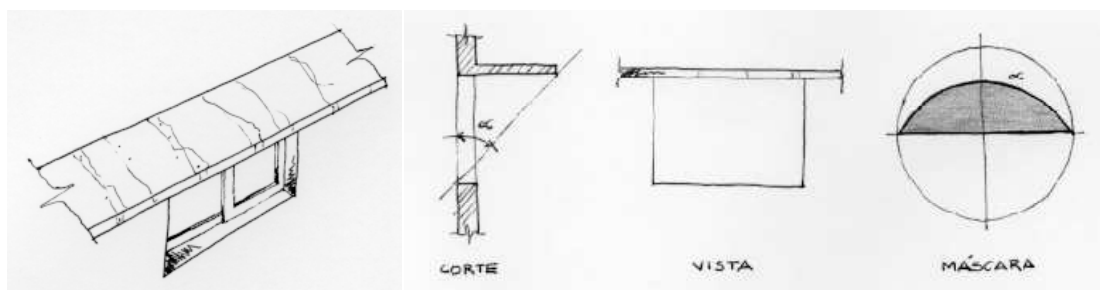


Figura 2.3 - Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal infinito.

Fonte: LAMBERTS et al., 2007

Pode-se perceber que há incidência do sol no interior do ambiente apenas quando o seu ângulo de altitude estiver entre a linha do horizonte e o ângulo  $\alpha$ .

#### 2.4.2.2. Brise vertical infinito

Os brises verticais impedem a entrada dos raios solares por meio da abertura a partir do ângulo de azimute solar. O traçado do mascaramento proporcionado por este brise é determinado em função do ângulo  $\beta$  e é apresentado na Figura 2.4.

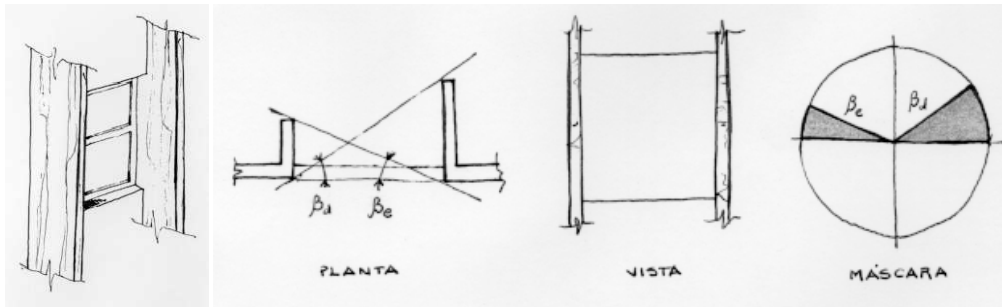


Figura 2.4 - Mascaramento proporcionado pelo brise vertical infinito.

Fonte: LAMBERTS et al.,2007

Neste caso, a incidência de raios solares no ambiente ocorre quando o ângulo de azimute solar está entre os dois ângulos  $\beta$  determinados.

Como em situações reais é difícil a existência de brises que podem ser considerados infinitos, surge a necessidade de definição de um terceiro ângulo, o  $\gamma$ . Este ângulo limita o sombreamento produzido pelos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ .

#### 2.4.2.3. Brise horizontal finito

Este tipo de brise tem a sua eficiência limitada, pois a sua projeção lateral é limitada pelos ângulos  $\gamma$ , como mostrado na Figura 2.5.

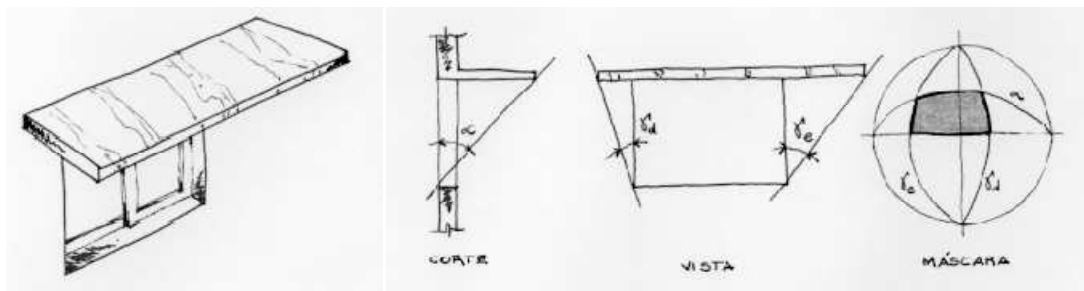


Figura 2.5 - Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal finito.

Fonte: LAMBERTS et al.,2007

#### 2.4.2.4. Brise vertical finito

Para o brise vertical finito, o sombreamento produzido pelos ângulos  $\beta$  será limitado pelos ângulos  $\gamma$ , como mostrado na Figura 2.6.

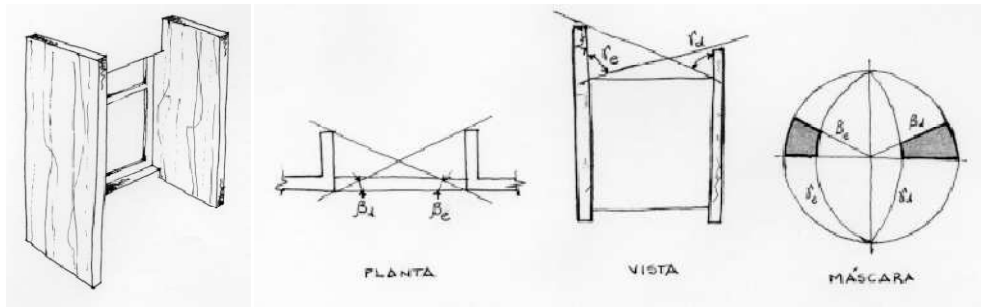


Figura 2.6 - Mascaramento proporcionado pelo brise vertical finito.

Fonte: LAMBERTS et al.,2007

#### 2.4.2.5. Brises mistos

Por meio do mascaramento produzido pelos quatro tipos básicos de brises apresentados anteriormente pode-se determinar o mascaramento para qualquer tipo de brise com diferentes combinações de brises horizontais e verticais, conforme mostrado a Figura 2.7.

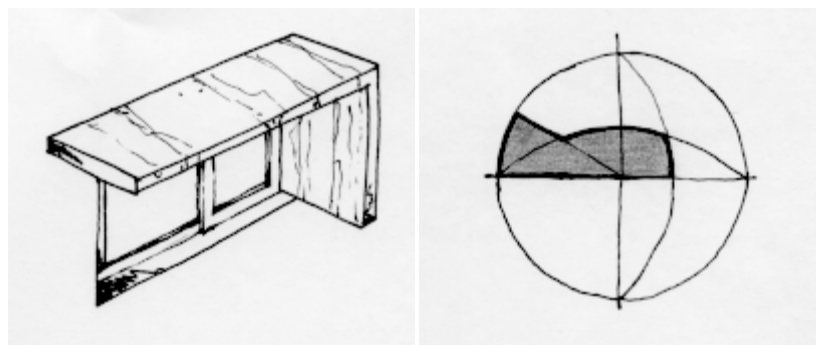


Figura 2.7 - Brises mistos.

Fonte: LAMBERTS et al.,2007

### 2.5. Simulação numérica x desempenho térmico

O uso da simulação computacional para obtenção da temperatura, umidade interna e cargas térmicas de um ambiente tem sido uma ferramenta útil utilizada na avaliação térmica de edificações. Esses programas computacionais permitem a análise energética de uma edificação, baseada na simulação das trocas térmicas resultantes da configuração construtiva, dos sistemas de condicionamento e demais equipamentos existentes. Permite também simular os ganhos de calor que passam por meio de elementos construtivos, como elementos de fechamento e coberturas e as interações térmicas com meio externo.

A simulação computacional pode prever ainda em fase de anteprojeto, as condições de conforto térmico que um ambiente terá após a sua construção. Vale ressaltar que nem sempre as edificações construídas no Brasil são executadas integralmente como no projeto final (executivo), mas pode servir como um subsídio de importantes informações ou até mesmo ajudar na definição dos componentes e ou materiais a serem utilizados.

Na atualidade o programa de simulação computacional térmica horária muito utilizado é o *EnergyPlus*. No Brasil começou a ser utilizado com mais frequência na década de 1980. Dentre os núcleos de pesquisa podem-se destacar na utilização desta ferramenta de pesquisa o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC (LABEEE), o Instituto de Pesquisas tecnológicas de São Paulo (IPT) e o Núcleo de Pesquisa em Conforto (NUPECON) na Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

O programa foi desenvolvido sob coordenação do DOE, Departamento de Energia dos Estados Unidos e é uma ferramenta construída a partir das características e capacidades dos programas BLAST e DOE-2. Além disso, o algoritmo COMIS foi incorporado ao *Energyplus*, o que permite a simulação da ventilação natural, juntamente com a simulação térmica da edificação, a partir da sua geometria e das condições climáticas locais.

O *Energyplus* é um programa executável, gratuito para fins acadêmicos, de fácil acesso, mas exige certo treinamento por parte do usuário para sua utilização. Ele permite desenvolvimento de interfaces específicas por empresas de acordo com a área de interesse, como é o caso do programa *Desing Builder*, que facilita o desenho da edificação e faz o tratamento de dados de forma gráfica.

Além disso, esse programa permite a simulação de edifícios com vários pavimentos, com formas arquitetônicas diversificadas. Possui banco de dados climáticos, de materiais construtivos e uma interface gráfica simples de entrada de dados para a simulação. Permite a visualização do desenho em programa gráfico como o AutoCAD, fornece avisos de erros gerados durante a simulação e vários tipos de relatórios, como o de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente de cada zona térmica.

Como dados de entrada têm-se aqueles relativos à descrição do projeto a ser estudado, como: localização, entorno, orientação solar, dados climáticos, suas coordenadas para a concepção do desenho, a especificação de todos os materiais e suas formas de aplicação no projeto, rotinas de utilização pelos usuários do edifício durante o ano, dados dos ganhos internos gerados por pessoas, iluminação e por outros equipamentos elétricos presente nos ambientes.

Para efeito de cálculo do módulo de balanço das massas de ar, o programa trabalha com ventilação, exaustão e infiltração. Neste item foi acrescentado o algoritmo COMIS (*Conjunction os Multizone Infiltration Specialistits*) para detalhar a infiltração de ar entre várias zonas, levando em conta a infiltração por frestas e mecanismos de transporte através de grandes aberturas e suas geometrias, usando no cálculo a temperatura interna e externa, a pressão do vento, entre outras variáveis (LOURA,2006).

De acordo com Matos (2007), o algoritmo COMIS não considera a existência de elementos de sombreamento, como venezianas e brises, nos seus cálculos. Logo, o resultado obtido durante as simulações não sofre nenhuma interferência resultante da presença desses elementos.

## **2.6. Desempenho Acústico**

“[...] O conforto acústico é uma condição importante a se procurar para alcançar o bem-estar. A ausência de conforto acústico condiciona fortemente a nossa saúde e a nossa produtividade [...]” (ARAÚJO, 2005).

Pode-se definir conforto acústico, de maneira subjetiva, como toda sensação auditiva agradável, ou fisicamente, como todo fenômeno de propagação de som com componentes harmônicos definidos. O mais importante do conforto acústico é assegurar a inteligibilidade da comunicação, a execução de tarefas que exijam solicitação intelectual, atenção constante e o repouso.

A principal razão da diferença entre o som produzido no interior de uma sala e fora dela são as superfícies que o som encontra, refletindo inúmeras vezes entre os vãos das superfícies. As características de uma sala (geometria da sala, volume, e as

características de absorção das suas faces e materiais) influenciam extremamente tanto na qualidade do som quanto no seu nível (MEHTA et al., 2000).

O uso de medições para avaliar o conforto acústico nos ambientes vem sendo estudado e aplicado há algumas décadas. Com o desenvolvimento rápido e desordenado das cidades, o ruído ambiental aumentou consideravelmente e passou a afetar diretamente a vida das pessoas. A poluição sonora é um fator preocupante que cresce a cada dia, principalmente devido ao aumento do tráfego de veículos, crescimento das atividades da construção civil e uso de equipamentos ruidosos (OLIVEIRA, 2006).

A poluição sonora se diversifica de acordo com a sua fonte de origem. Pode-se dizer que está diretamente ligado às atividades locais, sejam elas comerciais, rurais ou industriais. Em uma publicação realizada em 1998, pelo Instituto Brasileiro de Acústica, já se falava sobre o desconhecimento dos diversos problemas acústicos. Richter (1998) ressaltou que os arquitetos sabem que terão problemas acústicos em salas de concertos, cinema, teatro ou auditório. Poucos, entretanto, se apercebem da importância do problema acústico na escola, hospital, edifício de escritórios ou apartamentos. Sem boa acústica, o edifício não pode ser considerado obra de boa qualidade.

O Brasil pode ser considerado um dos líderes mundiais em nível de ruído. Araújo (2005) afirma que as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro estão entre as cinco de maior nível de ruído do mundo; nessas cidades o ruído alcança em média 90 a 95 dB, com picos de 105 dB. Apenas 5% da população com problemas auditivos recorrem a médicos, mas se vende mais de 30 mil aparelhos auditivos por ano.

Pensando no bem estar do usuário a avaliação de conforto acústico em uma edificação de ensino é de suma importância para avaliar se o ambiente está interferindo diretamente no desempenho acadêmico dos alunos.

O aparelho auditivo pode ter comprometimento no seu “conforto” e mesmo no seu funcionamento em virtude da própria poluição sonora, presente no cotidiano, sobretudo nos grandes centros urbanos (trânsito, discoteca, comércio, etc), podendo até mesmo causar a perda auditiva induzida pelo ruído excessivo e contínuo.

### **2.6.1. A Influência do Ruído no Organismo Humano**



Ruído e som não são sinônimos. Um ruído é apenas um tipo de som, mas um som não é necessariamente um ruído. O conceito de ruído é associado a som desagradável e indesejável. Som é definido como variação da pressão atmosférica dentro dos limites de amplitude e banda de frequência (SOUZA, 2011). Na Figura 2.8 pode-se verificar a escala de alguns tipos de poluição sonora urbana e seus impactos gradativos na audição.

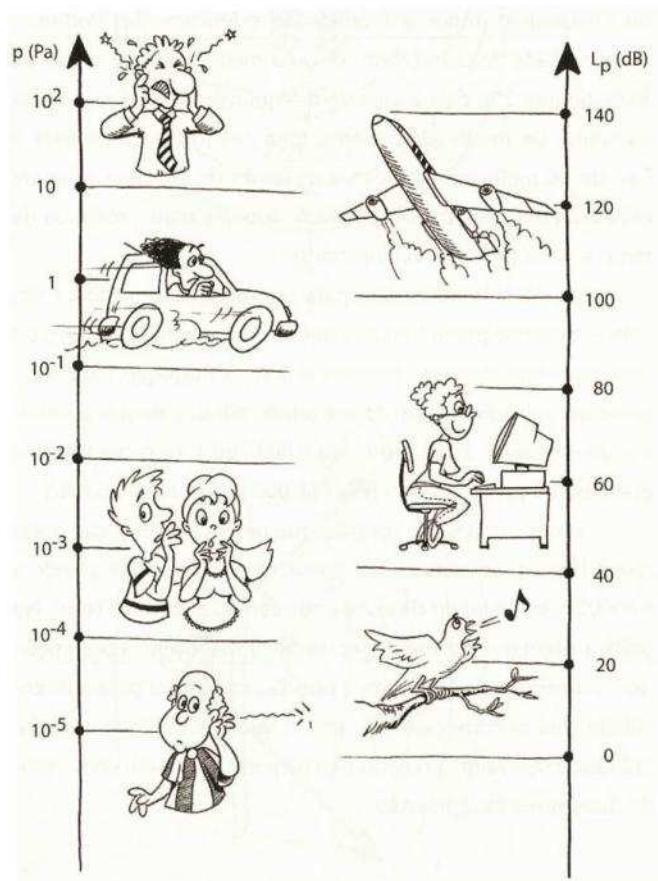


Figura 2.8-Poluição sonora urbana

Fonte: BRUEL; KJAER, 1984, *apud* SOUZA, 2011

Segundo Menezes e Paulino (2000), embora os técnicos apontem uma distinção entre “ruído” (mistura de sons) e “barulho” (qualquer som que incomoda), a representação social não faz qualquer distinção: denomina de “ruído” qualquer som incomodativo. O som é conceituado pelos especialistas como toda vibração percebida pelo aparelho auditivo humano.

De acordo com a norma NBR 7731 (ABNT, 1993) a definição de ruído é “a mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa e que se difere entre si por

valores imperceptíveis ao ouvido humano.” Já o som é definido como qualquer vibração ou conjunto de vibrações ou ondas mecânicas que podem ser ouvidas.

A poluição sonora urbana, nas últimas décadas, passou a ser considerada a poluição que atinge o maior número de pessoas. Assim, desde o Congresso Mundial sobre a poluição sonora realizado na Suécia em 1989, a questão da poluição sonora passou a ser considerada como questão de saúde pública (FERNANDES, 2011).

Beranek (1971), citado por Schafer (1991) afirma que o progresso das civilizações criará mais ruído, e não menos. Com toda a probabilidade, o nível de ruído aumentará não só nos centros urbanos, mas, com o aumento da população e a proliferação das máquinas, o ruído invadirá os poucos refúgios de silêncio restantes no mundo. Daqui a um século, quando o homem quiser fugir para um local silencioso, pode ser que não tenha sobrado nenhum lugar para onde ir.

Analisando a importância e a própria integridade do ser humano como um todo e do trabalhador em particular, passou a receber, por parte das autoridades públicas (municipal, estadual e federal), uma legislação específica visando proteger o cidadão dos efeitos provocados pelo ruído.

O ruído é considerado uma ameaça ao ser humano e a poluição sonora gera efeitos prejudiciais ao aparelho auditivo e ao organismo como um todo, quer no ambiente de trabalho, quer no lazer, comprometendo, sobretudo, sua qualidade de vida. O ruído em excesso resulta em uma série de consequências perturbadoras para a saúde. O ruído afeta adversamente o bem-estar físico e mental das pessoas, sendo que, diariamente, milhares de trabalhadores são expostos a ele, assim como o habitante das grandes cidades vive imerso numa atmosfera de ruídos, mesmo durante o sono, com os quais parecem estar acostumado, com o tráfego, sirenes, buzinas, alarmes contra roubos, escapamentos, algazarras, etc.

A poluição do ar, da água e da terra, são facilmente percebidas a olho nu, pelos seus riscos de contaminação, provocando doenças e mortes. Outras não, como é o caso da poluição sonora, cujos efeitos segundo os autores pesquisados se prolongam mesmo depois de cessada a fonte de sua propagação trazendo graves danos ao corpo humano que podem ser graduados em três grupos diferentes:

1. Simples perturbações (intensidade de 30 a 60 dB);
2. Perigosas perturbações, como efeitos mentais e degenerativos (60 a 90 dB);
3. Alterações da saúde com transtornos dos mais variados tipos (auditivo, vascular, *stress* e cardíacos) causados pela intensidade (90 a 120 dB praticados prolongadamente).

Souza(2005) relata que o estudo publicado pela organização Mundial de Saúde assinala como efeitos do ruído: perda da audição, interferência com a comunicação, dor, interferência no sono, efeitos clínicos sobre a saúde, efeitos sobre a execução de tarefas, incômodo e efeitos não específicos.

Alguns dos sinais e sintomas relacionados à exposição ao ruído contínuo ou prolongados são: aumentos dos batimentos cardíacos, hipertensão arterial leve ou moderada e como consequência aumento dos riscos de doenças cardíacas, alterações digestivas, irritabilidade, insônia, ansiedade, nervosismo, redução da libido, aumento do tônus muscular, dificuldade de repouso do corpo, tendência à apresentação de espasmos musculares reflexos, aumento da frequência, vertigem, cefaléia.

Assim, a preservação da qualidade do ambiente sonoro em todas as esferas da atividade humana, e em especial no âmbito das atividades escolares é dever de todos. Afinal, a Constituição garante que o meio ambiente ecologicamente equilibrado é bem de uso comum do povo e que incumbe ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para presentes e futuras gerações (MEDEIROS, 2004).

### **2.6.2. Parâmetros para avaliação acústica em Ambientes Escolares**

Para melhor entendimento sobre a propagação do som em ambientes fechados e sua avaliação quanto à classificação do nível de conforto nos ambientes são necessários a investigação dos seguintes parâmetros: reverberação, absorção e inteligibilidade da fala.

#### **2.6.2.1.Reverberação**

As superfícies existentes em um recinto fechado dão origem a múltiplas reflexões do som. Destas múltiplas reflexões resulta uma persistência do som no local e a esta persistência denomina-se reverberação do som.

Uma reverberação contínua por muito tempo, após a extensão do som direto acabará por perturbar a clara percepção do som. Se, ao contrário disso, o som cessa imediatamente acaba por dificultar a percepção em pontos distantes da fonte. Por isso, a reverberação é um dado significativo para avaliar o grau de inteligibilidade da fala e conseqüentemente a boa qualidade da acústica da sala de aula. Para Seep (2010) existem duas maneiras de reduzir o tempo de reverberação de uma sala: ou o volume é reduzido, ou a absorção do som é aumentada.

#### **2.6.2.2.Absorção**

A absorção sonora em uma sala pode ser alcançada com a aplicação de materiais mais macios, tais como: painéis de fibra de vidro revestidos com tecidos, carpetes ou forros acústicos. Existem muitos produtos comercialmente disponíveis para estas aplicações e, é possível projetar uma sala de aula com um tempo de reverberação aceitável usando materiais de construção comuns. Seep (2010) afirma que materiais absorventes apresentam melhor desempenho quando espalhados pela sala, e não concentrados apenas em uma parede no piso ou no teto.

Porém existem advertências que, em muitas salas de aula, um forro suspenso de placas acústicas é suficiente para reduzir o tempo de reverberação para a faixa desejada; porém, isto não irá resolver o problema de ecos nas paredes(SEEPEP, 2010).Visando absorver os sons, tanto de baixa quanto de alta frequência, é necessário fixar o forro abaixo do teto estrutural. A simples adição de forração no piso das salas de aula não irá reduzir significativamente o tempo de reverberação, particularmente em baixas frequências; porém, tal medida irá reduzir o ruído proveniente dos alunos arrastando suas cadeiras e carteiras no piso.

#### **2.6.2.3.Inteligibilidade da Fala**

Segundo Seep (2010) pode-se avaliar a inteligibilidade da fala da seguinte forma: uma pessoa, com boa dicção, lê uma lista de palavras curtas,constituídas de consoantes e vogais, combinadas e numeradas, que a mesma deve conhecer antecipadamente. A percentagem de palavras escutadas corretamente é uma medida da inteligibilidade da fala de uma sala.Se a articulação for superior a 85 % o resultado é considerado muito

bom, entre 75 e 85 % é satisfatório, entre 65 e 75% aceitável, e inferior a 65 % não satisfatório.

### **2.6.3. Poluição sonora no ambiente escolar**

A nova paisagem sonora, da vida contemporânea, especialmente nos grandes centros urbanos é formada por uma grande orquestra, constituída por uma multiplicidade de sons que agridem diariamente o ouvido humano.

É essa a orquestra, sem nenhuma harmonia, que toca a estridente trilha sonora do cotidiano nas grandes cidades brasileiras, formando o "esgoto sonoro", degradando assim o ambiente construído contemporâneo. Em decorrência dessa orquestra desarmoniosa que provoca permanentemente agressão aos ouvidos, as pessoas estão se tornando cada vez mais surdas, basta observar a frequência com que é preciso elevar o tom de voz para se fazer entender em uma simples conversação. Como se isso não bastasse, elas também estão se tornando insensíveis aos sons da natureza. E a escola por sua vez não se encontra imune a essa degradação (SCHAFER, 1991).

No ambiente escolar, o ruído não é apenas um incômodo, mas interfere diretamente no rendimento das atividades de ensino, tanto para alunos quanto para professores. Alguns efeitos causados pelo ruído na escola são: dificuldade de compreender a fala, dispersão da atenção dos alunos, irritabilidade e problemas de voz acarretados pela necessidade de elevar a intensidade da fala.

A consciência de que a poluição sonora já faz parte do ambiente escolar e que seus efeitos intervêm de forma negativa no processo ensino-aprendizagem, relembra-se o pensamento de Freire (2004), quando ao abordar a questão dos terremotos, ressalta que não se pode eliminá-los, mas se pode diminuir os danos que causam. Constatando este fato, deve-se ser capaz de intervir na realidade, tarefa incomparavelmente mais complexa e geradora de novos saberes do que simplesmente a de adaptar-se a ela.

A norma NBR 10152 (2000), que fixa o nível máximo de ruído para cada ambiente, estabelece que, para salas de aulas, o nível deve ser de 40 a 50 dBs. E a mesma norma

também direciona que os níveis de ruído nas escolas não deveriam ultrapassar 50 dB permanecendo abaixo da voz humana, que é de 60dB em intensidade normal.

### **2.6.3.1.A Importância da acústica nas salas de aulas**

Muitos são os educadores que defendem a necessidade, de aperfeiçoar a acústica nas salas de aula, pois tal medida beneficiaria a todos, sobretudo as crianças com problemas de audição. A reverberação e ruído em excesso interferem com a inteligibilidade da fala, resultando na redução do entendimento e do aprendizado. Estudos têm demonstrado que uma sala de aula com boas condições acústicas asseguram uma compreensão perfeita do que o professor diz e evita que o mesmo se submeta a um esforço vocal, para ser compreendido (SEEP, 2010).

### **2.6.3.2.Acústicas de salas de aulas**

Conforme asseguram alguns estudiosos, o melhor modo de resolver problemas acústicos é evitá-los, e não corrigi-los. Entretanto, para que isso ocorra, os projetistas de escolas e arquitetos devem iniciar processos de planejamento com acústica das salas de aula em mente, ou seja, durante o processo de planejamento.

Problemas acústicos podem geralmente ser evitados com pouco de reflexão prévia e com uma diferente disposição dos mesmos materiais de construção. A reforma de salas de aula mal projetadas fica muito mais cara. Mesmo assim, o custo de reforma é pequeno quando comparado com os custos sociais provenientes de salas de aula com baixa qualidade acústica, que prejudicam o aprendizado de milhões de estudantes.

### 3. MÉTODADOADOADO

Para que se possa desenvolver bem uma pesquisa de campo é necessário, antes de tudo, determinar o método a ser adotado para que se minimizem erros e maximizem a qualidade dos dados a serem coletados.

“Os estudos realizados ao longo dos anos contribuíram na evolução de discussões sobre as diferentes teorias da percepção e processos de cognição ambiental, e na constatação do importante papel que as características físico-espaciais do ambiente construído desempenham no comportamento ambiental dos indivíduos. A partir desses estudos, é possível identificar, e até prognosticar, os efeitos positivos e negativos de propostas de projetos, assim como propor soluções alternativas para minimizar problemas existentes” (LAY; REIS, 2005).

A presente pesquisa visa uma avaliação pós-ocupação do edifício de salas de aulas da Escola de Ciências Biológicas de Ipatinga-MG, pertencente UNILESTEMG, com foco no conforto térmico e acústico. O desenvolvimento do trabalho engloba uma análise projetual enfatizando os aspectos relativos ao conforto ambiental (implantação, materiais e técnicas construtivas), aplicação de questionários para avaliar o grau de satisfação dos usuários, medições *in loco* de níveis sonoros e de variáveis térmicas dos ambientes. Engloba ainda uma simulação computacional de desempenho térmico utilizando o software *Energyplus*.

Antes de descrever o objeto de estudo, a seguir um breve histórico das características do sítio no qual foi inserido.

#### 3.1. A cidade de Ipatinga: inserção regional

Conforme mostrado na Figura 3.1, Ipatinga é uma cidade nova, planejada urbanisticamente, localizada na microrregião do Vale do Aço, leste de Minas Gerais, a 217 km de Belo Horizonte. A cidade se destaca em relevância nacional por possuir dentro dos seus limites territoriais uma importante siderurgia: a Usiminas - - Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais.



(a) - Localização de Ipatinga em Minas Gerais



(b) Cidade de Ipatinga

Figura 3.1 – Ipatinga, MG

Fonte: MAPS..., 2012

A infra estrutura viária da região Rio Doce conta com importantes Rodovias Federais. Na Figura 3.2 pode-se observar a BR-116 (Rio - Bahia) e a BR-120 (no sentido norte-sul), e as BR-381, BR-259 e a rodovia de ligação LMG-758 (na direção leste-oeste). Conta ainda com a Estrada de Ferro Vitória-Minas – EFVM, que transportam grandes volumes de minério de ferro e produtos siderúrgicos, em conexão com o principal porto exportador do Espírito Santo, constituindo-se em um corredor de transporte fundamental no cenário mineiro e nacional, favorecendo o escoamento da produção regional.



Figura 3.2 – Mapa de localização das principais vias de acesso a Ipatinga.

Fonte: DNIT, 2012



É importante destacar que o Vale do Aço, especialmente considerando as cidades de Coronel Fabriciano, Ipatinga e Timóteo apresentam características econômicas e sociais superiores que as diferenciam do restante dos municípios que compõem a região do Rio Doce. E por essa razão há uma dependência e transição que acontece das pequenas cidades para essas maiores cidades da microrregião do Vale do Aço.

Historicamente a região é marcada principalmente por atividades de mineração pela maioria dos municípios que se estruturaram ao longo do rio Piracicaba. E as cidades, que não possuíam estas atividades diretamente, contribuía por meio de entrepostos comerciais e produção agropecuária.

O início da instalação da usina, em 1958, trouxe várias mudanças para o povoado, como o aumento da migração para a localidade. Em 1961, por exemplo, já havia cerca de 10.000 operários trabalhando na construção da Usiminas. A rápida urbanização da região gerou descaracterização de grande parte da área rural e concentração de população no sítio contíguo aos terrenos da usina (MORAIS, 2009).

O município de Ipatinga possui uma extensão territorial de 166,56 km<sup>2</sup>, localizados a 240 m acima do nível do mar, ficando a sede do município a - 42° 32' 13" longitude oeste e 19° 28' 04" latitude sul. Seu território apresenta 55 % de relevo plano, 30% ondulado e 15% montanhoso. Na região predomina o clima tropical subquente e subseco de altitude, com inverno ameno e verão forte. De acordo com os dados climáticos coletados pela estação meteorológica da Usiminas, instalado em quatro pontos distintos na cidade, conforme mostrado na Figura 3.3, para o ano de 2010 e 2011, a média máxima de temperatura foi de 36,4°C e a média mínima foi de 15,6°C.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a população estimada de Ipatinga no ano de 2010 é de 239.468 habitantes. O município apresenta um índice social bem importantes e comparado com as cidades vizinhas, um índice de analfabetismo de 2,8%, mortalidade infantil de 15/1.000, índice de abastecimento de água: 100 % e principalmente a coleta de esgoto em 100%.



Figura 3.3 - Localização das Estações Telemétricas.

Fonte: MAPS..., 2012

### 3.2. A produção e o uso do aço em Ipatinga

O município de Ipatinga é hoje o mais próspero do Leste do estado de Minas Gerais. Município de características industrial, em que sua economia baseia-se principalmente na siderurgia, apesar de estar passando por um processo de diversificação econômica com a implantação de um distrito industrial que vem estimulando o empreendedorismo e a abertura de novas e diferentes plantas industriais (PRODEMGE, 2010).

Cerca de 20 a 30% da produção industrial do município é gerada pela Usiminas e sua subsidiária a Usiminas Mecânica - USIMEC, produtora de estruturas metálicas (dentre as quais está a ponte JK em Brasília), máquinas pesadas e vagões de trens. A siderúrgica foi criada, graças ao plano de metas de Juscelino Kubitschek na década de 1950, que previa a construção de uma usina de grande porte, para produzir aço. A Usiminas exerce uma grande participação cultural e na vida ativa da cidade, tendo interferido, inclusive, em seu planejamento urbano e de novos empreendimentos fazendo destacar na paisagem os edifícios em estrutura metálica como uma identidade da cidade. Os exemplos desta influência aparecem em vários edifícios institucionais e privados como: Hospital Marcio Cunha II (Figura, 3.4), Câmara Municipal (Figura, 3.5), Fórum (Figura, 3.6), e Shopping do Vale do Aço (Figura, 3.7).



Figura 3.4-Hospital Márcio Cunha- Unidade II



Figura 3.5-Câmara Municipal de Ipatinga.



Figura 3.6-Fórum de Ipatinga





Figura3.7-Shopping do Vale do Aço

### **3.3. Caracterização do objeto de estudo**

Nesse trabalho, o objeto de estudo compreende em uma edificação de salas de aulas do campus III da UnilesteMG que fica no Bairro Bom Retiro em Ipatinga. O projeto foi realizado pelo núcleo de projeto do setor de obras da instituição sendo orientado pela arquiteta Danielly Borges Garcia e foi inaugurado em 25 de outubro de 2001, juntamente com os outros blocos administrativos e de laboratórios, em um terreno de 63 mil m<sup>2</sup>. O partido arquitetônico da implantação geral foi embasado nas necessidades de infraestrutura para atender o aumento da demanda estipulados pela instituição.

#### **3.3.1. O edifício**

O objeto de estudo compreende em uma edificação de salas de aulas, conforme apresentado na Figura 3.8, do Campus III do UnilesteMG em Ipatinga. O partido arquitetônico da implantação geral foi gerado a partir das necessidades de infraestrutura para atender o aumento da demanda estipulados pela instituição.

O edifício possui três pavimentos de salas que se dividem seguinte forma; no primeiro pavimento do lado esquerdo, 3 salas de laboratórios de informática, 1 sala de impressão, no centro do pavimento os sanitários masculinos, femininos e de portadores de

necessidades especiais. Do lado direito ficam 2 salas subdivididas em 8 salas menores de coordenação, 1 sala administrativa e 1 sala de atendimento ao público. Os dois pavimentos seguintes são de salas de aulas, tendo um total por pavimento de 8 salas cada e o como no primeiro pavimento os sanitários estão localizados no centro do pavimento. A edificação foi executada em bloco cerâmico, pintados na parte externa em cor mostarda e internamente na cor branca neve. Cobertura em telha cerâmica, e piso em cerâmica 45x45 cm branca e janelas em alumínio com vidro translúcido.



Figura 3.8 -Implantação da escola de Ciências Biológicas do UnilesteMG.

Fonte: UNILESTEMG, 2011.

O bloco de salas objeto de estudo, está com a fachada envidraçada posterior voltada para orientação sul e a fachada frontal de portas e janelas altas com orientação norte. Pela orientação solar, as extremidades da edificação, que possuem a menor dimensão foram orientadas a leste/oeste e as maiores fachadas orientadas a norte/sul. Por esse motivo optou-se por escolher as salas para análise em extremidades distintas e em pavimentos diferentes do bloco, para identificar as possíveis alterações de temperatura de acordo com a implantação.

A edificação está inserida em um bairro que possui uma concentração de comércios e serviços variados, e que em grande parte estão localizados nos limites de sua entrada principal, devido ao fluxo intenso de estudantes. Nas proximidades, encontram-se

igrejas, hospital, restaurantes, bares, danceteria, pontos de ônibus, serviços de moto taxi, escolas infantis, escola técnica de radiologia, republicas estudantis e posto do SAMU. E em sua parte posterior é envolta pelo rio doce e por uma área de APP (Área de Preservação Permanente).

O horário de funcionamento do Campus III do UnilesteMG é diário sendo que aulas são distribuídas com mais intensidade nos horários matutino e noturno, e em seu horário vespertino é usado com maior frequência pelas aulas praticas realizadas em laboratórios.

Os questionários de opinião dos usuários foram distribuídos em função desses horários de maior fluxo de alunos, ou seja, foram distribuídos nos horários da manhã e noite. E no mesmo dia da distribuição dos questionários, foram realizadas medições *in loco* pelos aparelhos.

### 3.3.2. Descrição do bloco pesquisado

O bloco de salas de aulas possui três pavimentos, nos quais se dividem da seguinte forma: no primeiro pavimento do lado esquerdo, os laboratórios de informática; do lado direito setores administrativos e banheiros coletivos e nos dois pavimentos superiores as seguintes salas de aulas e banheiros coletivos (Figuras 3.9 a 3.11).

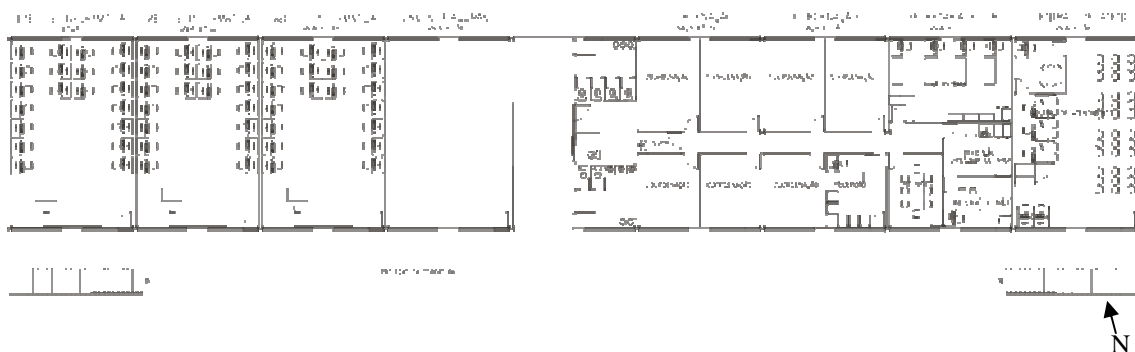


Figura 3.9 - Planta do térreo

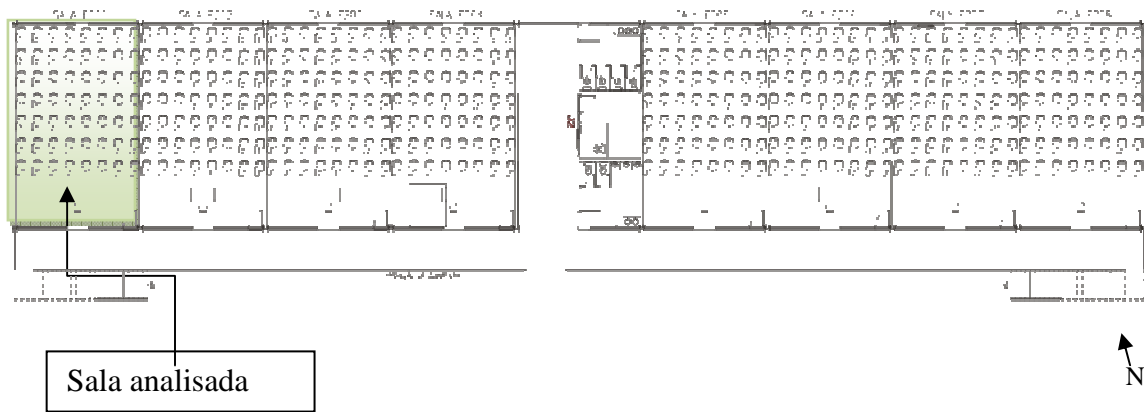


Figura 3.10 - Planta do 1º Pavimento

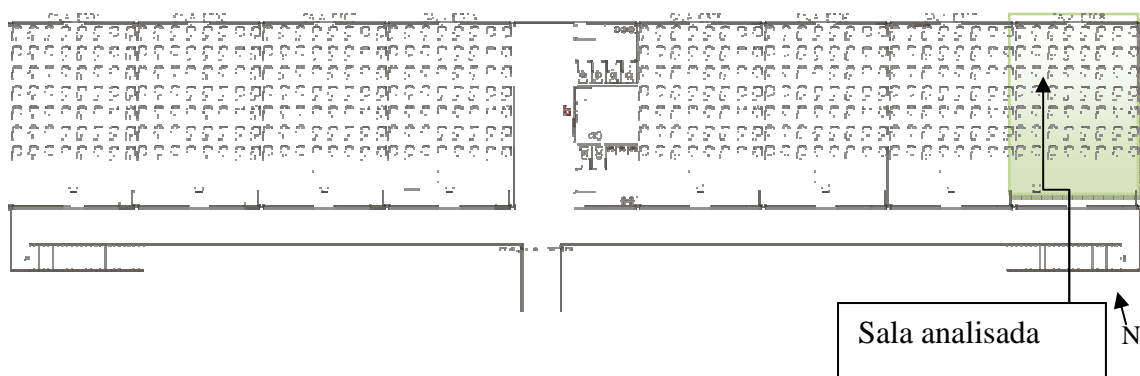


Figura 3.11 - Planta do 2º Pavimento

Sua forma arquitetônica retangular é uma característica comum dos edifícios escolares, pois assim cria-se uma sistematização projetual de repetição e também a viabilidade econômica gerada pela modulação da estrutura, conforme mostrado na Figura 3.12.



Figura 3.12 - Prédio de salas de aulas do UnilesteMG.



O sistema estrutural adotado foi o metálico, com perfis soldados. Toda a estrutura metálica da edificação, tanto interna, quanto externa é aparente e com pintura anticorrosiva aplicada ainda no processo de produção, conforme detalhes apresentados na Figura 3.13.



Figura 3.13 - Blocos de salas de aulas do UnilesteMG.

Todo o programa de bloco de salas foi estipulado pela instituição, e distribuído em função de necessidades como sendo primordial. Após a conclusão da implantação e somente posteriormente a isso que as condicionantes climáticas e orientação solar foram analisadas.

A orientação solar é um fator importante de projeto e deve ser observado ainda em sua elaboração. Uma construção com orientação solar incorreta dos compartimentos pode levar os usuários a sentirem não só a sensação desconforto, como podem ocasionar problemas de saúde ocasionados pela falta da incidência solar ou pelo seu excesso e queda no desempenho da atividade que se está exercendo.

A cidade Ipatinga possui clima tropical quente como várias regiões do país, onde as temperaturas elevadas podem ocorrer ao longo de todo o ano, sendo mais intensa no



verão. Por isso devem ser observados os posicionamentos corretos das aberturas, bem como o sombreamento nas áreas críticas de incidência solar.

No caso do objeto de estudo, percebe-se pela localização do norte da implantação que a fachada envidraçada da edificação está voltada para posição nordeste, recebendo um índice elevado de radiação nas horas críticas, no período de meio-dia até as 15:00 horas. Com esta orientação as salas de aulas tornam-se mais desconfortáveis e prejudiciais ao desempenho dos alunos, como verificado.

Como demonstrado na Figura 3.14, as salas de aulas possuem pé-direito de 3,20m, em todos os pavimentos. As envoltórias internas e externas foram executadas em alvenaria de tijolo cerâmico sem emboço. As paredes internas são pintadas com tinta látex na cor branco, e as faces externas também pintadas com tinta látex na cor mostarda. As esquadrias do lado noroeste da edificação possui dimensões de 3,00x2,00 m e as do lado sudeste em 3,00x1,20 m e são em alumínio na cor bronze e o preenchimento com vidros incolor comum de 6mm. Todas as esquadrias são do modelo basculante e estão dispostas para as fachadas longitudinais. As portas de acessos as salas são em madeira compensada de Angelim, implantadas na face longitudinal oposta à das janelas. O piso de todo o edifício é de revestimento cerâmico de 45cmx45cm, com uma resistência PEI 3 (baixa resistência a auto tráfego) de cor clara. O plano de base superior do 1º e 2º pavimentos é do tipo laje do pré-moldada sem forro ou reboco, também pintada com tinta látex na cor branco. Já a cobertura do 3º pavimento além de laje, possui cobertura com telhas metálicas onduladas.



Figura 3.14 - Sala de aulas

A iluminação artificial das salas utiliza lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, tendo em todas as salas um total de seis luminárias do tipo comercial com duas lâmpadas cada, dando um total de 480 W por sala, Figura 3.15.



Figura 3.15 - Iluminação

### 3.4. Amostra

Para a definição da amostra, foram considerados os alunos que frequentam as salas E201 e E308 que somam 90 alunos diários cada sala totalizando 180 e entrevistados foram cerca de 83% divididos por sexos. Conforme apresentado nas Figuras 3.16 e 3.17, dos 150 alunos entrevistados (83% da amostra), 109 são de mulheres correspondendo a 73% e 41 são homens correspondendo a 27%.

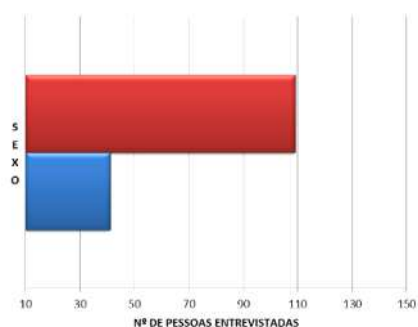


Figura 3.16- Alunos entrevistados- Sexo

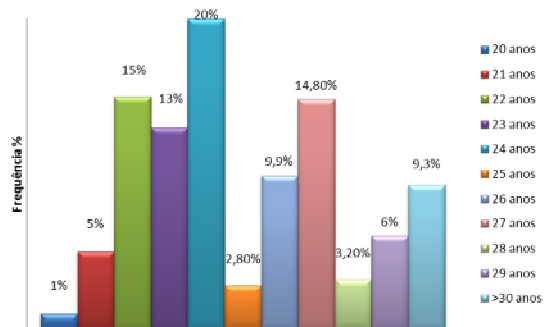


Figura 3.17- Alunos entrevistados - Idade

### **3.5. Avaliação pós-ocupação**

Para a avaliação pós-ocupação foram realizadas pesquisas de campo com a comunidade universitária, utilizando de instrumentos de medições *in loco* e entrevistas por meio de questionários, simultaneamente. Foram coletados dois aspectos distintos: medição das variáveis ambientais, que influenciam no conforto térmico dos usuários e a percepção dos usuários em relação às condições ambiental, por meio de questionários.

#### **3.5.1. Percepção dos usuários via questionário**

Para a coleta de dados das percepções dos usuários, foi utilizado um questionário investigativo (Anexo1) distribuído entre os usuários que se propuseram a participar da pesquisa com perguntas diretas sobre as sensações térmicas e acústicas do bloco de sala de aulas da UnilesteMG. Foram questionados também a percepção dos usuários sobre as condições físicas da edificação e o seu estado de preservação.

O questionário aplicado aos usuários tem ao todo 22 perguntas fechadas. O início do questionário ou cabeçalho destina-se a uma identificação pessoal e não obrigatória, possibilitando um perfil por idade e sexo. Os itens 1 ao 11 são destinados a perguntas sobre o estado físico da edificação em geral. Do item 12 ao item 18 são perguntas sobre a satisfação do usuário em relação ao conforto térmico. E do item 19 ao item 22 perguntas sobre a satisfação do usuário em relação ao ruído proveniente de dentro e do entorno do edifício, durante as aulas.

Tais questionários foram passados seguindo a rotina de horários da instituição de modo a ter uma avaliação mais real da percepção dos usuários.

#### **3.5.2. Caracterização dos parâmetros térmicos e acústicos**

Para a obtenção das variáveis ambientais foram utilizados instrumentos de medições como sensores, para aferir a temperatura e a umidade do ambiente, termômetro de globo e o decibelímetro para medir os ruídos externos.

A temperatura interna do ar foi medida usando sensores em três alturas diferentes seguindo a recomendação da norma ISO 7726 (ISO, 1998), conforme apresentado na Tabela 3.1. Para fazer a comparação entre a temperatura interna aferida pelos sensores e

a temperatura externa, foram utilizados dados de temperaturas fornecidos pela USIMINAS de suas estações telemétricas instaladas em toda a cidade de Ipatinga.

Tabela 3.1- Posição de medição para as quantidades físicas de um ambiente.

<b>Coefficiente de Ponderação</b>						
	Ambiente homogêneo		Ambiente heterogêneo		Altura recomendada	
<b>Posição</b>	<b>Classe C</b>	<b>Classe S</b>	<b>Classe C</b>	<b>Classe S</b>	<b>Sentado</b>	<b>De pé</b>
Cabeça			1	1	1,1 m	1,7 m
Abdômen	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Calcanhar			1	1	0,1 m	0,1 m

Fonte: ISO 7726:1998

Nas medições internas das salas de aulas, foram aferidos os condicionantes climáticos de temperatura (°C), umidade (%), velocidade do ar (m/s) e a temperatura de globo. Foram coletados com sensores modelo ALMENO (ALMENO..., 2003). Estes sensores são interligados, fixados em um suporte metálico, conforme apresentados na Figura 3.18.



Figura 3.18 -Suporte Metálico com sensores

Fonte: ALMENO..., 2003

Após serem interligados e colocados no suporte metálico esses sensores são ligados ao *DataLogger*, Figura 3.19 que armazena os dados das medições agendadas, ou seja, programando-se data e hora que se deseja começar e terminar automaticamente uma série de medições em um período consecutivo de dias. O equipamento possui também duas saídas de dados, uma que faz interface com o computador, e outra que é a saída analógica do equipamento.



Figura3.19-Aparelho *Data Logger*3290-8.

Fonte: ALMENO..., 2003

### 3.5.2.1. Temperatura do Ar e Umidade

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 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.

O tipo de sensor escolhido possui faixa de operação que atende às necessidades da pesquisa, além de estarem embutido nele os sensores resistivos para medir a temperatura do ar, conforme mostrado na Figura 3.20.



Figura 3.20 -Sensor usado para medir Temperatura Ar.

Fonte: ALMEMO..., 2003

### 3.5.2.2. Temperatura de Globo

O termômetro de globo, da marca ALMEMO (ALMEMO..., 2003) Figura 3.21, 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.



Figura 3.21-Termômetro de Globo.

Fonte: ALMEMO..., 2003

### 3.5.2.3. Velocidade do ar

Para a captação dos ventos no interior da edificação foi utilizado o sensor termo anemômetro, conforme mostrado na Figura 3.22. Este sensor possui um semicondutor dependente da temperatura (NTC) integrado no instrumento de medida e é aquecido por uma corrente. O aquecimento do semicondutor cai tão logo ele é exposto a um fluxo de ar. A quantidade de calor perdida é a medida da velocidade do ar. Um circuito de controle torna a temperatura do elemento, que é resfriada pelo fluxo de ar, em um valor constante. A corrente de controle é proporcional à velocidade do vento. É adequado para medição de velocidades de fluxo pequenas, especialmente para sistemas de controle e monitorização.



Figura 3.22 – Sensor da velocidade do ar

Fonte: AHLBORN..., 2003

### 3.5.2.4. Nível de pressão sonora

Neste caso, a variável de interesse é o ruído. E essa pesquisa tem como objetivo identificar os níveis de ruído da Escola de Ciências Biológicas do UnilesteMG, onde foi realizada uma medição dos níveis de ruído pelo medidor de nível de pressão sonora



ITMP-600, série NEDA 1604 6F22 006P, pré-calibrado. Este aparelho possui 6 funções em apenas 1, facilitando assim a medição de seu usuário.

Ele é capaz de fornecer medidas de pressão sonora, som e ruídos por meio de seu decibelímetro. Fornece as medidas da intensidade da luz com o luxímetro, também avalia as grandezas elétricas com o multímetro, e mede a temperatura e umidade de um ambiente com o termo-higrômetro. O ITMP-600, mostrado na Figura 3.23, é indicado para o uso de profissionais da área de segurança do trabalho e uso acadêmico.



Figura 3.23—Medidor ITMP-600.

Com o uso do decibelímetro ITMP-600 foram realizadas várias medições em horários diferentes entre as atividades acadêmicas do campus e teve como objetivo fornecer uma panorâmica da poluição sonora causadas pelo entorno do campus e que influenciam nas salas de aulas. Posteriormente foi feita uma medição no interior de uma das salas de aulas para saber a influencia desses ruídos no desempenho das atividades acadêmicas.



### 3.6. Parâmetros da simulação numérica

Para realizar a avaliação via simulação numérica do desempenho térmico de uma edificação com ventilação natural, deve-se seguir as etapas conforme mostrado na Figura 3.24.

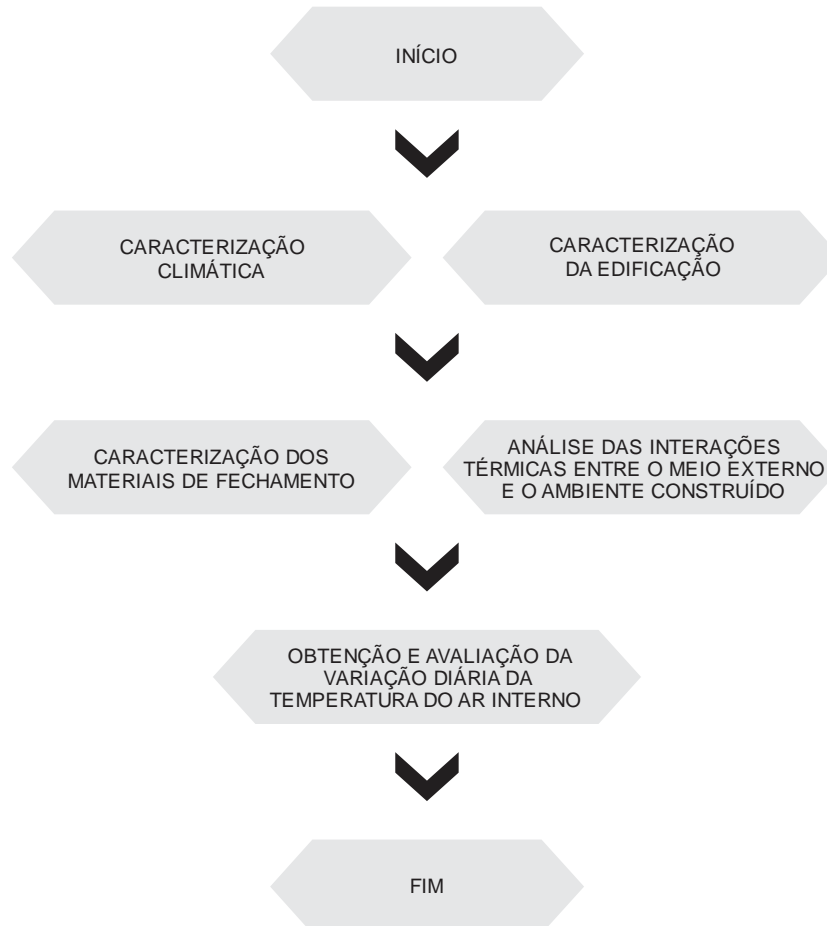


Figura 3.24 - Elementos para a simulação numérica de uma edificação ventilada naturalmente.

Fonte: Adaptado de AKUTSU, 1998.

#### 3.6.1. Parâmetros do programa *Energyplus*

Conforme mencionado, o processo para a utilização do programa foi embasado nos trabalhos desenvolvidos no NUPECON (UFOP), tais como os trabalhos de Gomes (2013), Dias (2011), Ataíde (2008), dentre outros.

As informações necessárias e utilizadas para realização da simulação computacional via *EnergyPlus* são descritas e apresentadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Parâmetros de entrada para a simulação

Parâmetros de entrada	Descrição
1 - Edificação	a) Ângulo da edificação com a direção norte: 9°
	b) Tipo de terreno, que determina o adensamento que influencia na ventilação: <i>Urban</i> (urbano)
	c) Precisão da convergência de cargas térmicas (representa o número em que os valores das cargas devem concordar antes que a convergência seja alcançada). Adotado: erro de 0,01 W
	d) Precisão da convergência de temperatura: erro de 0,1 °C
	e) Radiação solar e refletância das superfícies externas que entram no edifício: <i>Full Interior And Exterior With Reflections e Full Interior</i>
2 - <i>Timestep</i> (intervalos de tempo por hora que são consideradas na simulação)	2 intervalos (a cada 30 minutos)
3 - Algoritmo de convecção interna (relação do coeficiente de transferência térmica com a variação de temperatura para várias orientações)	<i>Detailed</i> – detalhado
4 - Algoritmo de convecção externa (considera a rugosidade do edifício velocidade do vento e terreno no qual o edifício está implantado)	<i>Detailed</i> – detalhado
5 - Algoritmo de solução (algoritmo de transferência de calor que será utilizado nas envoltórias do edifício) foi adotado	CTF ( <i>Conduction Transfer Function</i> ) – solução que calcula a condução através das paredes considerando apenas o calor sensível, desconsiderando o armazenamento da umidade ou difusão nos elementos construtivos
6 - Período de tempo em que os cálculos de sombreamento são feitos	<i>Default</i> do Programa: 20'
7- Modelo de fluxo de ar	Utilização do <i>Airflow Network model</i> que permite o cálculo de ventilação simples integrada com infiltração, cálculo da ventilação através de zonas e cálculo para sistemas de ventilação artificial. Adotado: simulações com <i>Airflow Network model</i> para ventilação natural através de zonas

Os dados relativos aos tipos de materiais, formas construtivas, desenhos das zonas térmicas e rotinas de ocupação são detalhadas nos próximos itens.

### 3.6.2. Propriedades termo-físicas dos materiais para simulação

As propriedades termo-físicas dos elementos construtivos que foram utilizadas para as simulações e para as estratégias propostas estão inseridas nas Tabelas 3.2, 3.3. e 3.4.

Tabela 3.2 – Propriedades termo-físicas de elementos opacos utilizados nas simulações

ELEMENTO	RUGOSIDADE	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)	MASSA ESPECÍFICA (kg/m <sup>2</sup> )	CALOR ESPECÍFICO (J/Kg.k)
Alvenaria	<i>MediumRough</i>	0,12	0,7	1300	920

Concreto	<i>MediumRough</i>	0,12	1,75	2200	1000
Lã de vidro	<i>MediumRough</i>	0,05	0,045	100	750
Manta de Alumínio	<i>Smooth</i>	0,003	230	2700	880
PVC	<i>Smooth</i>	0,01	0,2	1400	1004
Piso granilite	<i>Smooth</i>	0,03	0,85	1800	754
Porta de Madeira	<i>Smooth</i>	0,0125	0,15	550	2300
Poliuretano	<i>MediumRough</i>	0,05	0,03	30	837
Reboco	<i>Smooth</i>	0,02	1,15	1800	1000
Telha Cerâmica	<i>Rough</i>	0,01	0,7	1300	920
Viga Metálica	<i>Smooth</i>	0,008	55	7800	460

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Tabela 3.3 – Propriedades das câmaras de ar não ventiladas naturalmente com largura muito maior que a espessura

NOME	RESISTÊNCIA TÉRMICA (m <sup>2</sup> .K/W)
Ar Policarbonato	0,15
Ar Porta	0,15
Ar Alvenaria	0,17
Ar Telhado	0,21
Ar Forro	0,21

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Tabela 3.4 – Propriedades de elementos transparentes utilizados nas simulações

NOME Propriedades óticas	VIDRO COMUM 3mm Média espectral	POLICARBONATO 8mm
Transmitância (incidência solar normal)	0,837	0,6
Refletância (incidência solar normal) superfície frontal	0,075	0,075
Refletância (incidência solar normal) superfície oposta	0,075	0,075
Transmitância na faixa do visível (incidência normal)	0,898	0,6
Refletância na faixa do visível (incidência solar normal) superfície normal	0,081	0,081
Refletância na faixa do visível (incidência solar normal) superfície oposta	0,081	0,081
Transmitância na faixa do infravermelho	0	0

(incidência normal)		
Emissividade hemisférica na faixa do infravermelho (superfície frontal)	0,84	0,84
Emissividade hemisférica na faixa do infravermelho (superfície oposta)	0,84	0,84
Condutividade térmica	0,9	0,19
Fator de correção (limpeza da superfície) e transmitância na faixa do visível	1	1
Difusão solar	Sim	Sim

Fonte: UFSC, 2006.

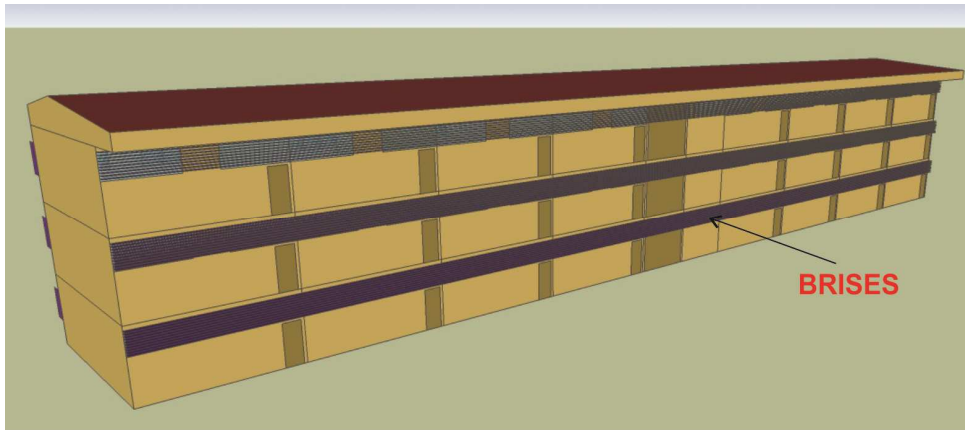
### 3.6.3. Estratégias Propostas

As simulações realizadas para a edificação foram realizadas, inicialmente, com a configuração original e, posteriormente, com estratégias propostas ao ambiente com intuito de minimizar a temperatura interna. Serão apresentados resultados das zonas 13, localizada no primeiro pavimento, e 24, localizada no segundo pavimento, conforme mostrado nas Figuras 3.10 e 3.11. Todas as simulações foram realizadas com dados climáticos da cidade de Ipatinga, considerando os ambientes naturalmente ventilados.

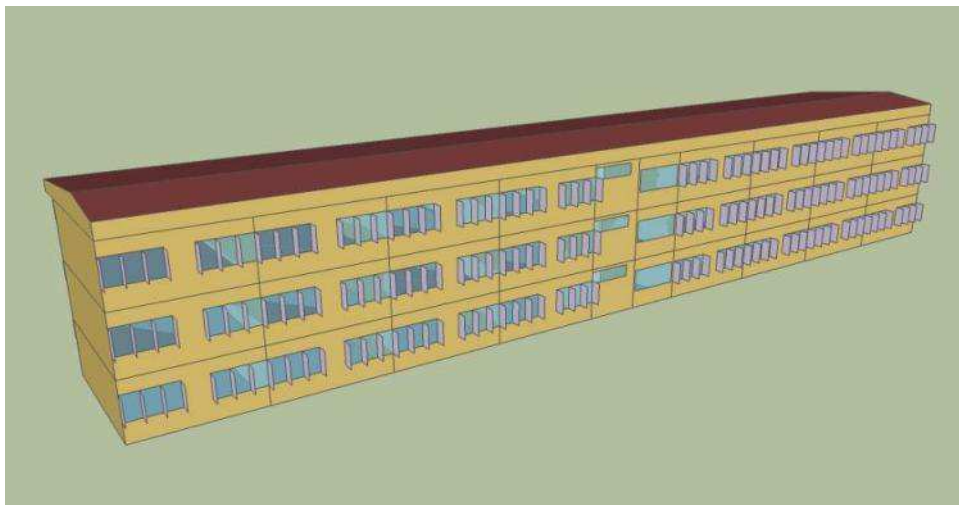
Com o intuito de melhorias no conforto térmico do interior, foi realizada a proposição de brises verticais na fachada sul e horizontais na fachada norte, conforme mostrado na Figura 3.25.

Para a elaboração dos brises foram realizados estudos com máscara de sombra para as fachadas leste e oeste, que são fachadas críticas de incidência solar, considerando os meses e os horários mais quentes. O sombreamento gerado pelos brises, quando bem dimensionados e instalados, corta os maiores ganhos de calor proveniente do sol que acontecem diretamente através da transmissão pelas janelas e, indiretamente, os ganhos da radiação e da condução de superfícies quentes.

A simulação com brises (proteção solar) nas fachadas leste e oeste onde os dados de entrada foram inseridos no programa *EnergyPlus* no item *Surface: shading Attached* que leva em conta as coordenadas para o desenho dos brises e um material opaco para o sombreamento.



(a) Brises horizontais – fachada norte



(b) Brises verticais – fachada sul

Figura 3.25 – Proposição de brises

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente pesquisa foi realizada visando coletar dados dos parâmetros psicofisiológicos e físico-ambientais das salas de aula do UnilesteMG. Para a coleta dos parâmetros subjetivos foi utilizada como metodologia a avaliação pós-ocupação. Já a coleta dos parâmetros ambientais foi utilizada a medição *in loco* embasada na norma ISO 7726 (ISO, 1998).

As salas investigadas foram as salas E201 que está posicionada na fachada sudeste e a E308 posicionada na fachada noroeste, como mostrado nas Figuras 3.10 e 3.11. Diariamente passam cerca de 90 alunos por sala, levando em consideração os três horários de uso das salas. Neste total de 180 alunos diários, foram entrevistados, via questionários, cerca de 150 alunos dando uma média de 83% dos usuários das salas, fornecendo subsídios para a pesquisa de avaliação pós-ocupação. Simultaneamente à pesquisa de campo, foram realizadas medições *in loco* para aferir as condições reais que interferem diretamente no conforto térmico e acústico dos ambientes.

A seguir são apresentados os dados relacionados à perspectiva dos usuários e suas predileções, posteriormente os dados das medições climáticas e um breve comparativo entre ambos.

### 4.1. Percepção dos usuários

Simultaneamente à medição dos condicionantes climáticos por meio de aparelhos, foi entregue um questionário aos usuários das salas de aula do campus UnilesteMG – Bom Retiro, por meio da qual verifica-se principalmente a opinião dos alunos em relação à satisfação e conservação do mesmo.

Por meio do método adotado de avaliação pós-ocupação foi criado um questionário destinado aos usuários (Anexo 1), estruturado de maneira a identificar os seguintes dados:

- parâmetros físicos dos usuários;
- percepção frente à edificação construída e sua tipologia construtiva;
- satisfação com a edificação;
- percepção do conforto térmico e acústico.

Após a devolução dos questionários fez-se a tabulação e a análise dos dados coletados, de forma a transmitir com clareza, os resultados dos questionamentos estabelecidos.

#### 4.1.1. Parâmetros físicos

Dos 150 questionários respondidos, os usuários possuem uma média de 26 anos de idade e 73% são mulheres. Verificou-se ainda que 50% dos alunos frequentam o edifício entre 1 ano e 1 ano e meio, com uma média de 8 horas de permanência diária.

Conforme mostrado nas Figuras 4.1 e 4.2, 59% dos usuários considera o espaço das salas de aula e laboratórios de bom a excelente em relação ao número de alunos. Observa-se ainda que 55% opinaram que o espaço físico, mobiliário e equipamentos são bons a muito bons e reconheceram que são recursos importantes para o desenvolvimento e aprendizado do curso.

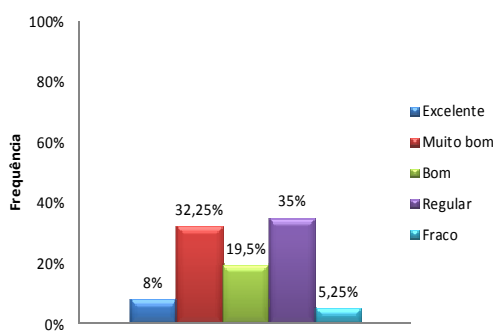


Figura4.1 – Infraestrutura física

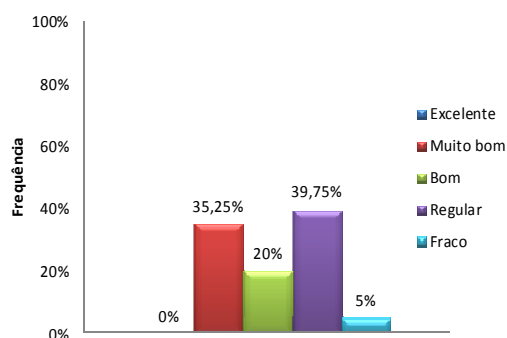


Figura4.2 – Espaço físico, mobiliário e equipamentos.

A maioria dos entrevistados, cerca de 52%, acreditam que é mais importante para seu desempenho profissional a proposta e condições de ensino que a instituição oferece. A motivação pelo ambiente ou o prazer em estar na instituição são fatores menos importantes para o desempenho e resultado final do estudo.

Quando perguntados a respeito da infraestrutura da sala de aula, 95% acham que os espaços para salas de aula prática são entre bom a excelente e 100% acreditam que os equipamentos disponibilizados atendem perfeitamente às necessidades do curso. Porém, 64% estão insatisfeitos com as carteiras e cadeiras convencionais disponibilizadas para os trabalhos a serem desenvolvidos, sejam eles teóricos ou práticos.

Em relação a tipologia de construção da edificação, a maioria dos usuários, 84% descreve corretamente o sistema estrutural metálico e que o tipo de fechamento era convencional, ou seja, em alvenaria. Em relação às patologias construtivas, ressalta-se a importância relativa de vários pontos questionados, Figura 4.3, explicitando-se as insatisfações mais recorrentes com base no diagrama de Pareto (MEIRELES, 2001).

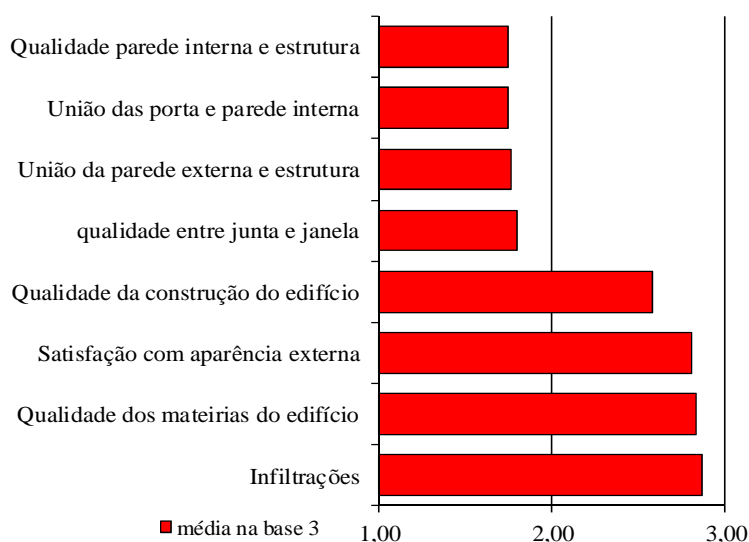


Figura 4.3 – Patologias construtivas

Observa-se, pelas médias apresentadas, que há uma divisão meio a meio em relação aos pontos positivos e negativos levantados. Metade dos pontos questionados está na satisfação média (em torno de 2), o que mostra a indicação de aproximadamente 50 % problemas. Os fatores que apresentaram maiores problemas e insatisfação são: (a) infiltrações; (b) qualidade dos materiais do edifício; e (c) satisfação com aparência externa.

Já os itens que obtiveram alta satisfação dos usuários (média superior a 2), sendo pontos explicitados como positivos a qualidade da construção interna e estrutura que não apresentam muitas manutenções; a vedação interna entre paredes e janelas e portas que não apresentam trincas expressivas. Estes resultados reforçam quais ações adicionais de melhorias, a partir da ótica dos moradores, ficam priorizadas para as novas edificações no campus.



#### 4.1.2. Conforto Térmico

Para a análise do conforto térmico, a partir 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), levemente frio (-1), (0) confortável, levemente quente (+1), quente (+2) e muito quente (+3), levando também em consideração o tipo de vestimenta dos usuários em leve, de frio leve e frio pesada. Nas Figuras 4.4 e 4.5 são apresentados os julgamentos dos usuários das salas de aula avaliadas da Escola de ciências biológicas da UnilesteMG em relação à escala de preferência subjetiva de conforto.

Nota-se pelos resultados mostrados que as salas analisadas têm uma situação consideravelmente variada. Entre os dias 21, 22 e 23 de maio de 2010, mais da metade dos entrevistados, apesar de ser inverno, considerou a sala de levemente quente a muito quente (+1 e +3), e uma segunda parte considerou de levemente fria a fria (-1 e -2) e uma parte pequena considerou como confortável. Esses alunos também classificaram suas vestimentas em 85% como leve e 15% como de frio leve que confirma a resposta da maioria.

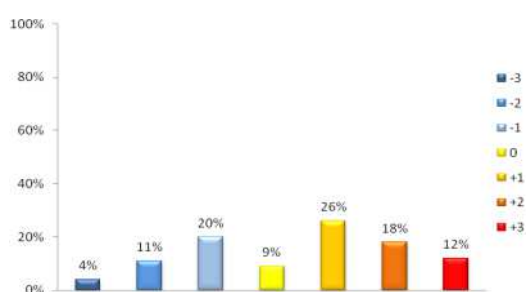


Figura 4.4 – Conforto da sala

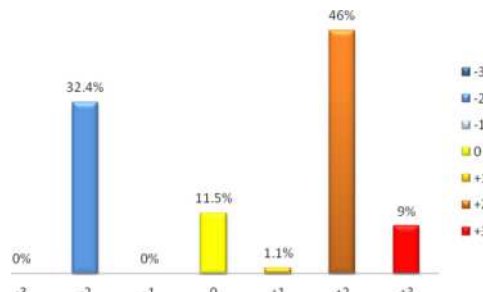


Figura 4.5 – Sensação térmica

Para averiguar a compreensão dos usuários, perguntou-se qual a sensação que térmica estavam sentindo no ato do preenchimento do questionário, a maioria dos alunos disseram sentir calor. E ainda quando perguntados como gostaria que a sala estivesse naquele momento a resposta da maioria foi que a sala deveria estar mais fresca como mostra o resultado apresentado na Figura 4.6.

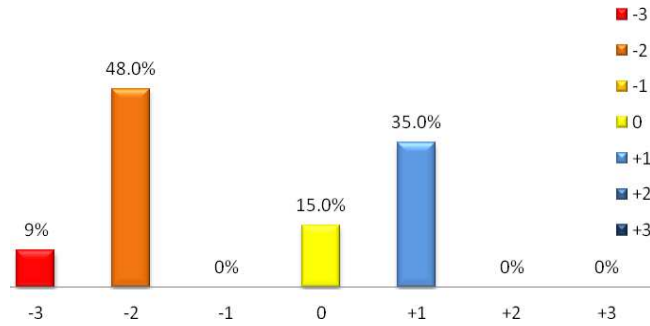


Figura 4.6 – Preferência de temperatura

Foi questionado também se o conforto/desconforto térmico das salas interfere nas atividades acadêmicas, e a iluminação também possui alguma interferência. Houve uma contradição nos resultados, conforme mostrado na Figura 4.7. A maioria respondeu que a sala é quente, não aceitam essa situação e classificaram a iluminação como ruim, porém 48% dos entrevistados, apesar dos incômodos pessoais, responderam que desempenham normalmente suas atividades acadêmicas. Este fator contradiz vários estudos realizados, onde enfatizam a influência negativa que o desconforto térmico tem nas atividades acadêmicas.

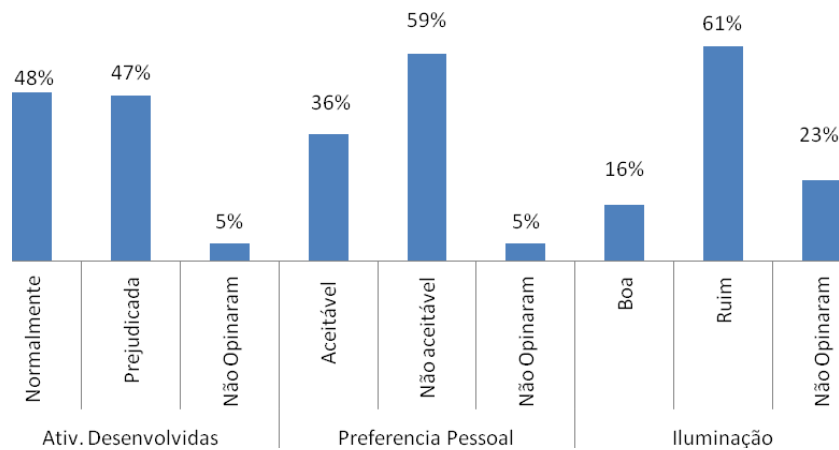


Figura 4.7 – Gráfico de Satisfação

Observando-se os dados obtidos, os ambientes são considerados pela maioria como mal iluminadas e termicamente desconfortáveis, com temperaturas inaceitáveis prejudicando os seus desempenhos acadêmicos, e, como esperado, a maioria gostaria das salas mais frescas. Em relação à vestimenta, a opção para a maioria dos usuários foi a do tipo leve que se constitui de calça comprida, camiseta sem manga ou camisa de manga curta leve.

As principais sensações percebidas pelos usuários no momento das medições são de calor, sede, suor e fadiga.

Pode-se perceber que a maioria dos alunos tem satisfação em estudar na instituição analisada, em contrapartida também cerca da metade dos alunos acham que a instituição contribui pouco ou quase nada para o desenvolvimento profissional, isso por falta de convênios com laboratórios e outras instituições da área de saúde. No geral os usuários (alunos) consideram a infraestrutura física (mobiliário, computadores, *datashow* e etc.) como sendo boa. Os alunos mostraram conhecimentos quanto ao tipo de sistema estrutural da edificação, assim como seus materiais de fechamento. Por outro lado cerca de 70 a 90% dos entrevistados não perceberam patologias simples, como, descolamento de pintura, trincas ou vazamentos.

#### **4.1.3. Conforto Acústico**

Sabe-se que o ruído é um dos fatores importantes na avaliação de um ambiente e que pode de alguma maneira interferir na avaliação térmica do ambiente e também na inteligibilidade do usuário.

Conforme resultados obtidos, mostrados na Figura 4.8, quando questionados em relação ao ruído emitido pelo exterior da edificação, proveniente do comércio e do SAMU, 61% disseram que incomoda, mas que não interfere diretamente no desempenho intelectual. Apenas 16% afirmaram que incomoda muito e quando o SAMU é acionado atrapalha a concentração e demora um tempo significativo retomar a concentração nas atividades desenvolvidas, sejam elas teóricas ou práticas.

Considerando que a poluição sonora do exterior de edificações escolares é considerada um dos principais fatores da interferência da concentração do aluno em sala de aula, pode-se dizer que é contraditório a maioria considera não interferir na concentração. Observando o comportamento e entrevistas informais pode-se concluir que a maioria percebe que o ruído externo incomoda, mas não conseguem mensurar o quanto pode ser mais difícil para manter a concentração.

Já nos resultados mostrados na Figura 4.9, pode-se observar que 61% estão muito incomodados com o ruído interno das salas. Eles observaram que a sala possui eco e que é difícil manter concentração quando os ventiladores são acionados ou quando há

conversas paralelas. A reverberação neste caso pode ser considerada um dos fatores responsáveis que afetam diretamente na inteligibilidade do aluno.

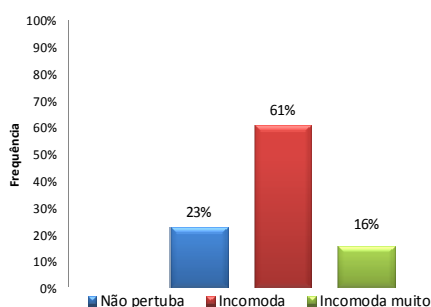


Figura 4.8 – Ruído externo

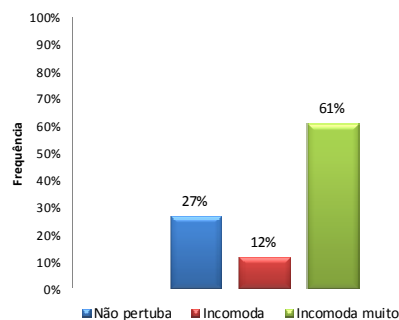


Figura 4.9 – Ruído interno

Aproximadamente 51% dos alunos responderam que os ventiladores de teto são responsáveis pelo incômodo do ruído interno das salas, mas não interferem na compreensão das aulas. Apenas 31% consideraram a fala (conversa paralela) ser o fator que mais incomoda, porém este interfere diretamente na compreensão das aulas.

Quanto ao conforto acústico há que se relevar os resultados contraditórios, devido à adaptação do usuário frente às condições a eles impostas. Estudos na área de psicologia e arquitetura, como por exemplo, Pinheiro e Günther (2008), Elali (2008), revelam que, com o tempo e a necessidade específica de cada um, o usuário tende a se adaptar às condições dos ambientes vivenciados e que não podem ser mudados a curto prazo.

## 4.2. Variáveis Climáticas e Nível Sonoro - Medições *in loco*

### 4.2.1. Análise Térmica - Variáveis Climáticas

Conforme mencionado, as medições dos condicionantes climáticos foram realizadas por meio do aparelho *Data Logger2000*, no período de 3 dias consecutivos, com intervalo de 30 minutos, onde foram armazenados os dados da temperatura e umidade do ar.

Os sensores foram instalados na sala E-201 (fachada noroeste), em um tripé com as alturas e espaçamentos recomendados pela norma ISO 7726 (ISO, 1998). As coletas foram realizadas no período de inverno e posteriormente no verão. Esta sala foi selecionada por ser a sala que recebe maior incidência solar no período da tarde.

As temperaturas externas, em maio, fim do verão e início de inverno, marcaram a mínima de 18°C e máxima de 28°C. Conforme resultados mostrados na Figura 4.10 pode-se observar que a temperatura interior da sala E-201 manteve-se mais elevada, durante quase todo o período, que a temperatura exterior durante todo o período de medição.

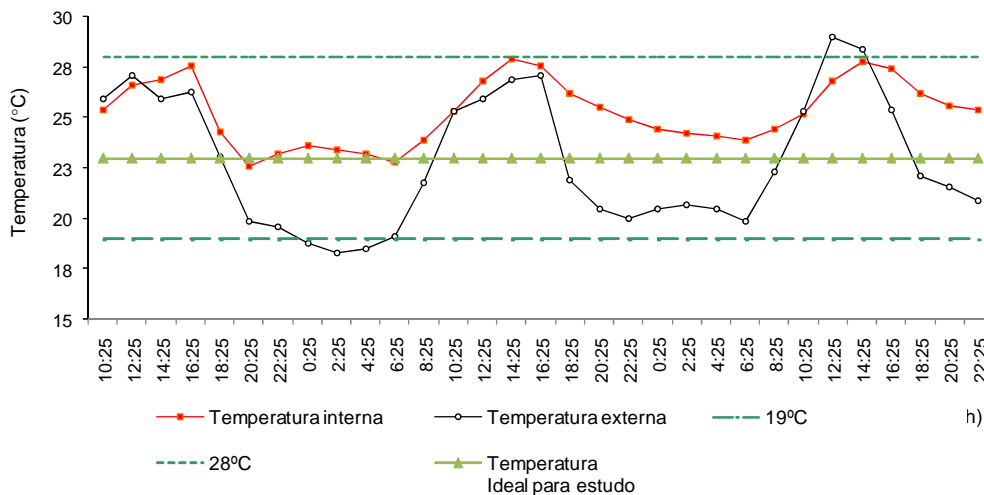


Figura 4.10 – Temperatura externa x Temperatura interna

Observa-se pelas curvas do gráfico que as temperaturas internas nos horários de aula foram superiores as indicadas como temperatura indicada de estudo. As temperaturas internas chegaram a 27°C no período de aula e a temperatura indicada é de 23°C (ASHRAE 55, 2004).

Já as curvas mostradas no gráfico da umidade relativa do ar indicado na Figura 4.11, mostram que umidade interna varia entre 65% a 73%. Para que um ambiente seja considerado confortável em relação a umidade relativa pode-se admitir uma faixa entre 50% a 65%. Este ambiente encontra-se com a umidade interior acima da faixa de conforto porque as aberturas das salas no período das aulas encontravam-se fechadas. Nota-se na região que não é hábito dos usuários se preocuparem com a renovação constante do ar interno, uma vez em que não se manifestam para abrir ou fechar as aberturas.

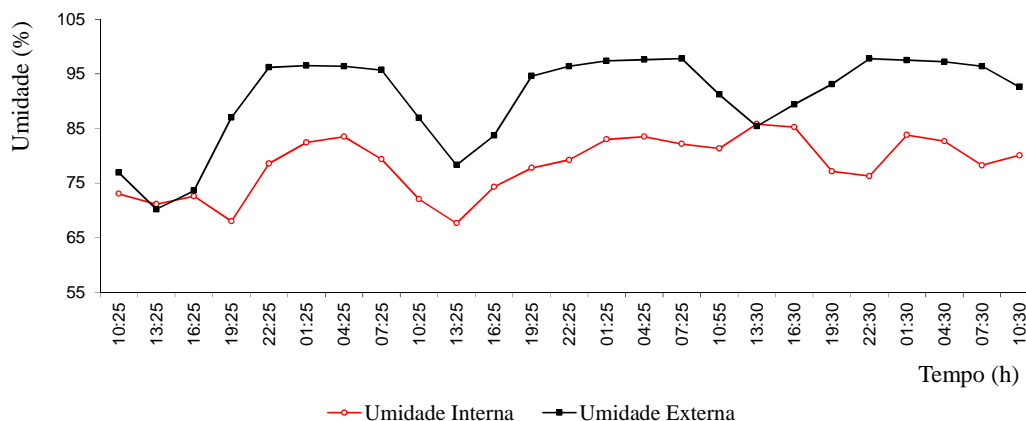


Figura 4.11 – Umidade do ar

No mês de outubro, estação primavera, foram registrados no período da medição, temperatura externa com a mínima de 18°C e máxima de 29°C. Conforme resultados apresentados na Figura 4.12, pode-se observar que a temperatura interna teve uma variação com mínima de 27°C à 32°C. Nos períodos em que estavam sendo lecionadas as aulas, a temperatura interna se apresentou constantemente acima do indicado como temperatura indicada para o ensino que é de 23°C.

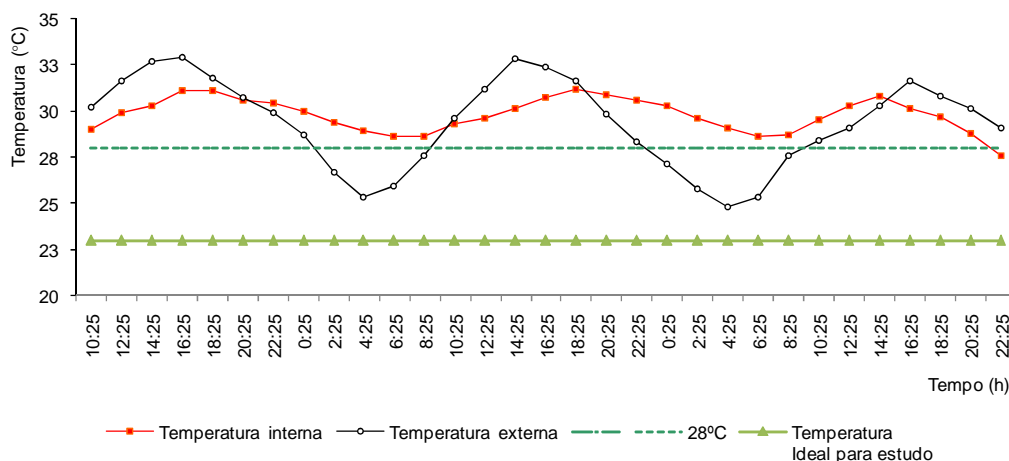


Figura 4.12 – Temperatura do ar

Considerando que um ambiente confortável possui a umidade relativa do ar variando entre 50% a 65%, no período em que foram coletados os dados. A umidade externa se apresentou relativamente normal à baixa, tendo uma variação entre 35% à 65%, conforme a curva mostrada na Figura 4.13. Nos horários das medições, observa-se que a faixa da umidade encontrava-se fora da margem indicada.

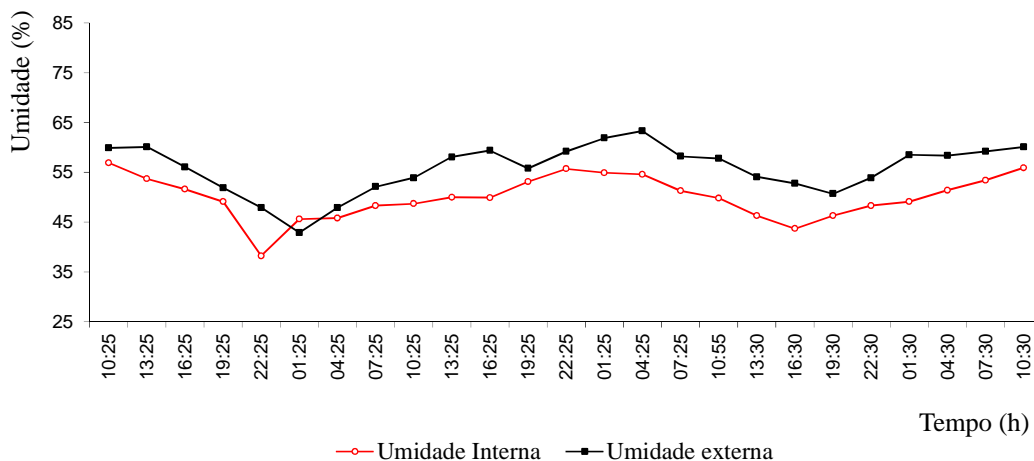


Figura 4.13 – Umidade relativa do ar

Mesmo com a faixa de umidade fora do indicado como confortável, observa-se que é menos desconfortável suportar as elevadas temperaturas desconfortáveis com a umidade mais baixa.

#### 4.2.2. Análise acústica – nível de pressão sonora

Com o uso do decibelímetro ITMP-600 foi realizada uma medição no horário das atividades acadêmicas do campus do UnilesteMG e tem como objetivo fornecer uma panorâmica da poluição sonora causadas pelo entorno do campus e que influenciam nas salas de aulas. Posteriormente foi feita uma medição no interior de uma das salas de aulas para saber a influência desses ruídos no desempenho das atividades acadêmicas.

Na Figura 4.14, mostra-se o mapa com a localização das fontes produtoras de ruídos, no entorno do campus da Escola de Ciências Biológicas – UnilesteMG.



Figura 4.14- Fontes produtoras de ruídos

Fonte: MAPS..., 2012

Para a medição do campus fixou-se alguns pontos como mostrados na Figura 4.15. Os pontos foram locados com distanciamento de 30m em 30m, em todas as direções para saber qual a intensidade de ruído do entorno que chega às edificações do campus.

Nos pontos escolhidos, mediu-se o nível de pressão sonora dB para cada 1 hora em todo o dia (das 7 h às 23 h), em um dia normal de aula, com os estabelecimentos abertos. Estas medições foram realizadas em um dia cuja temperatura encontravam-se semelhantes no decorrer de todo o dia, para aumentar a confiabilidade dos dados, sendo feitas em dias de calor.

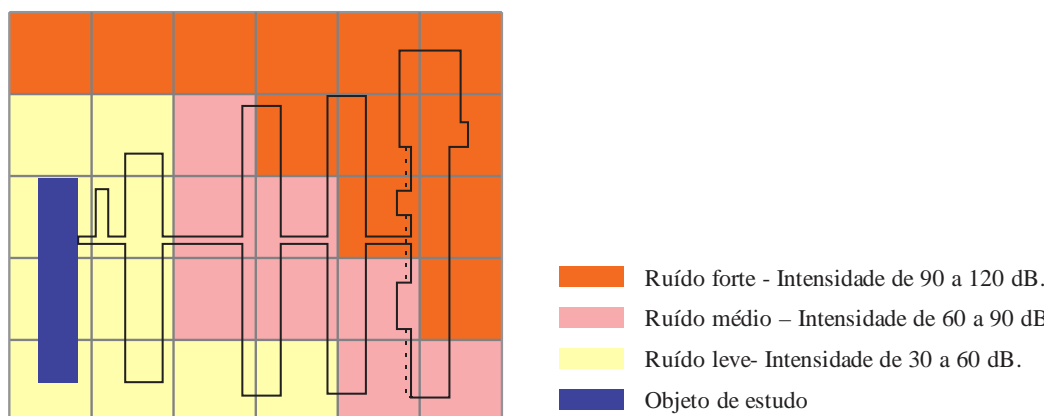


Figura 4.15-Fonte de ruídos do entorno do campus



Observando o diagrama tonal apresentado na Figura 4.15, pode-se notar que a implantação do conjunto de prédios da Escola de Ciências Biológicas do UnilesteMG privilegiou o bloco de salas de aulas intuitivamente, já que o prédio não possui nenhum tratamento acústico.

Na Figura 4.16 mostra-se os valores obtidos com o medidor de pressão sonora ITMP-600, onde se mediu o nível de pressão sonora dB para intervalos de horas entre as 07hs às 12hs, de 14hs às 18hs e de 18 as 23 h, verificando-se o ruído diário da sala de aula E201.

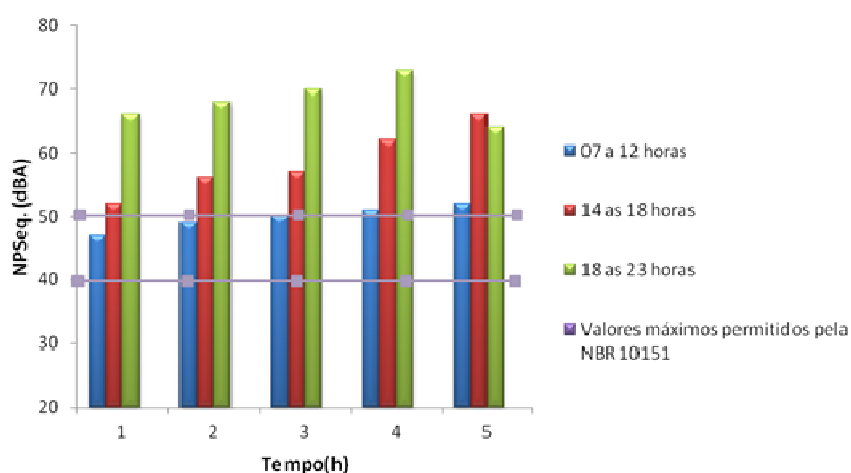


Figura 4.16 - Evolução temporal de ruído

Comparando os valores da norma NBR 10151 (ABNT, 2005) com os dados obtidos na escola pesquisada, observou-se que os níveis de ruído ultrapassaram os valores recomendados. Este fato propicia interferência entre professor e aluno, exigindo que ambos falem mais alto e forcem seus aparelhos fonadores. A presença do ruído intenso na escola contribui ainda para a queda na qualidade do ensino, uma vez que seus efeitos atingem diretamente o processo ensino-aprendizagem e podem ocasionar perdas auditivas.

### 4.3. Avaliação térmica via simulação numérica de proposições

Foi realizada uma simulação inicial com as características físicas originais das edificações, conforme mostrado na Figura 4.17, com o intuito de criar um modelo a ser comparado. Em seguida, foram realizadas simulações com tentativas de melhorias das condições térmicas internas. Estas simulações foram realizadas com os dados climáticos

da cidade de Ipatinga com ventilação natural, considerando um dia típico de verão e um dia típico de inverno.

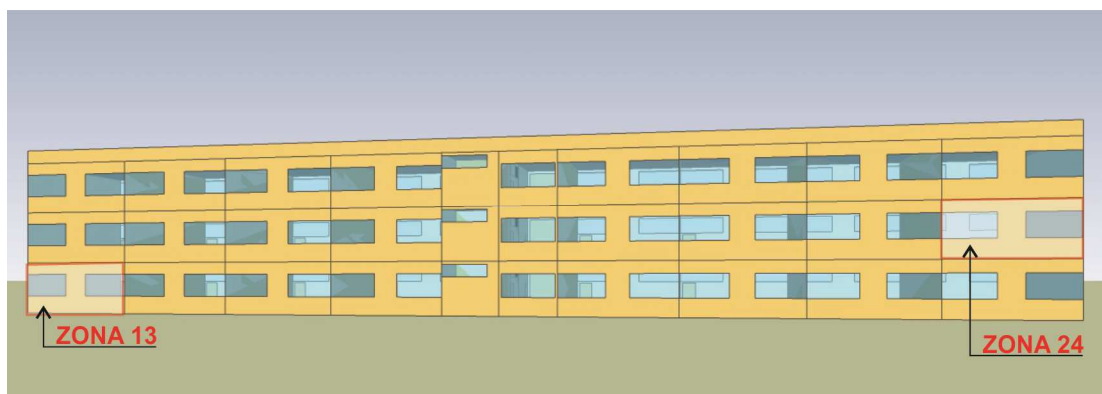


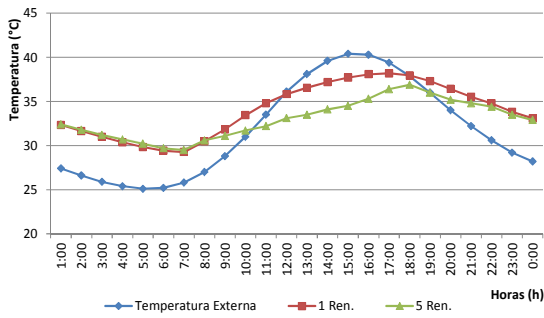
Figura 4.17 – Edifício simulado

#### 4.3.1. Proposição com 1 renovação e 5 renovações

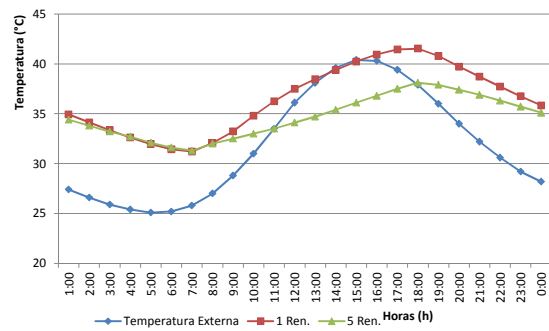
Inicialmente optou-se pela simulação com 1 e 5 renovações de ar, conforme indicado pela norma ISO 7726 (ISO, 1998). Com estas proposições foi possível averiguar se com a renovação de ar dos ambientes, seja por 1 ou 5 renovações por hora, a temperatura interna reduziria de maneira expressiva.

Conforme mostrado na Figura 4.18, para um dia típico de verão, observa-se que a tentativa de 1 renovação de ar em ambas as zonas obteve como resultado uma redução insignificante. Na Zona 24, 1 renovação não foi suficiente nem mesmo para que a temperatura interna não fosse superior que a externa.

A tentativa de 5 renovações de ar a temperatura interna, no período da tarde e noite se mostraram mais amena. Com esta opção, as temperaturas internas no período da tarde reduziram até 7°C, porém os ambientes permaneceram com a temperatura elevada para a atividade de ensino.



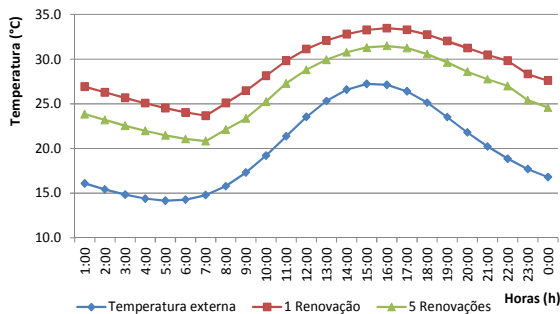
(a) Zona 13



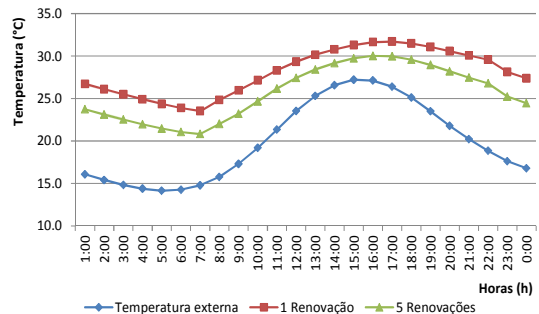
(b) Zona 24

Figura 4.18 – Comparativo entre 1 e 5 renovações de ar para Zona 13 e 24 – Dia típico de verão

Já para um dia típico de inverno, conforme mostrado na Figura 4.19, nota-se que mesmo com as estratégias de 1 ou 5 renovações de ar, o interior das salas continuaram com a temperatura muito mais elevada do que a exterior, chegando a uma diferença de 6°C.



(a) Zona 13



(b) Zona 24

Figura 4.19 – Comparativo entre 1 e 5 renovações de ar para Zona 13 e 24 – Dia típico de inverno

#### 4.3.2. Brises fachada norte e sul

Para amenizar ganho de calor interno pela radiação solar direta, propõe-se a instalação de brises na fachada norte - sul, conforme mostrado na Figura 3.25. Além de evitar a radiação direta, também auxilia no sombreamento da fachada, que ameniza também a absorção da energia que será convertida em calor interno.

Para a elaboração dos brises, conforme mostrado na Figura 4.20, foram realizados estudos com máscara de sombra para as fachadas norte e sul, que são fachadas críticas de incidência solar, considerando os meses e os horários mais quentes.

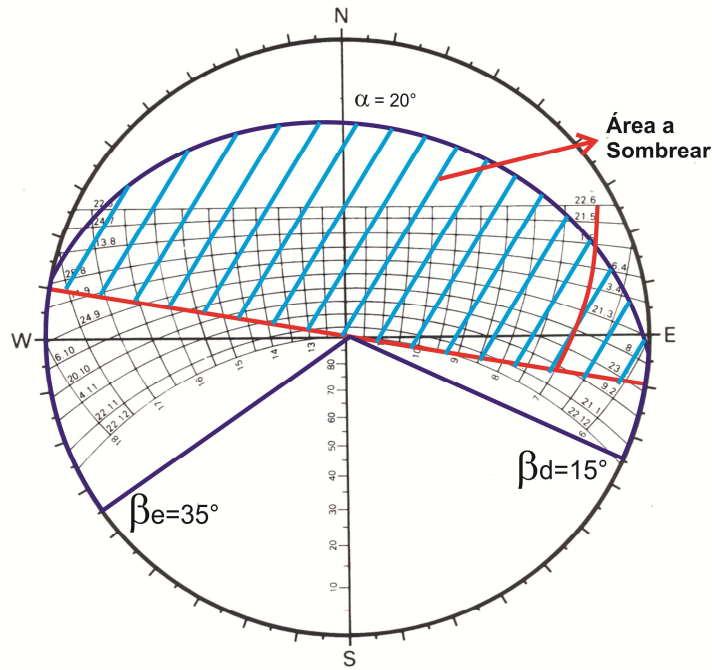


Figura 4.20 – Máscara de sombras para a fachada norte e sul

Com a análise da carta solar foi possível dimensionar o sombreamento de acordo com a necessidade local. Conforme mostrado na Figura 4.21, utilizou-se como sombreamento na fachada sul o brise vertical, com 0,70 m de avanço e espaçamento de 1m cada. Já a fachada norte foi utilizada o brise horizontal com 0,30 m de avanço e com o espaçamento de 0,10m cada.

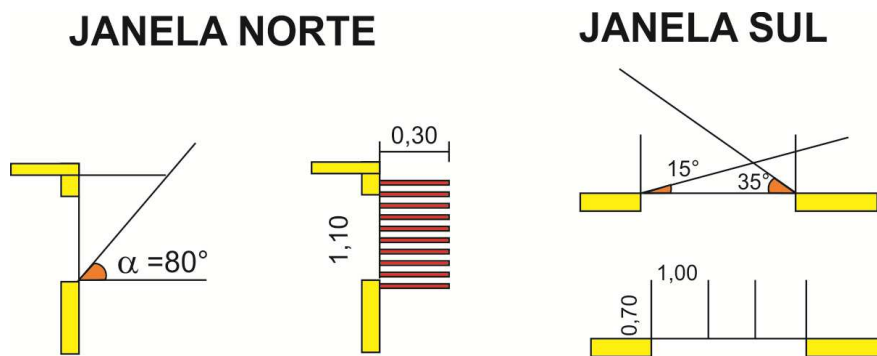


Figura 4.21 – Cálculo de brises para fachadas norte e sul

Observa-se nas Figuras 4.22 e 4.23, que em ambos os casos o sombreamento amenizou significativamente o calor interno. Considerando o horário da maior radiação solar, às 16:00 horas, nota-se que temperatura interna ficou 11°C menos que a temperatura externa. Vale ressaltar que mesmo os brises sendo eficientes, as temperaturas internas

ainda ficaram superiores ao recomendado pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) que é de 23°C para atividades de ensino/aprendizagem.

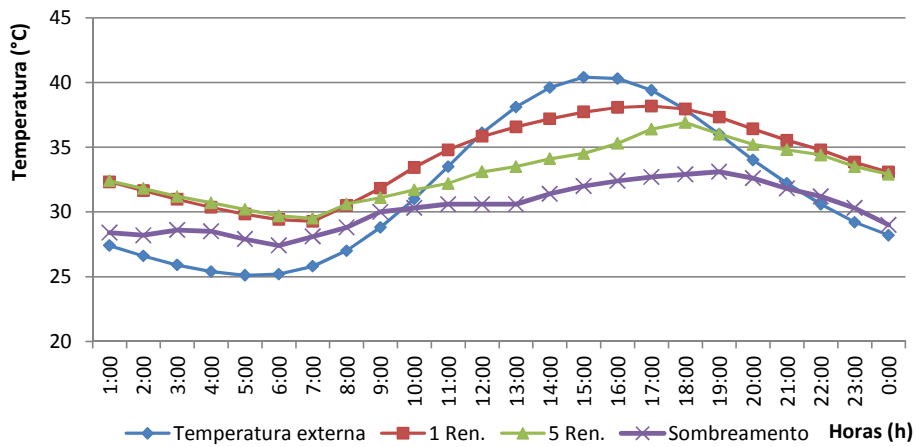


Figura 4.22 - Zona 13 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações – Dia Típico de verão

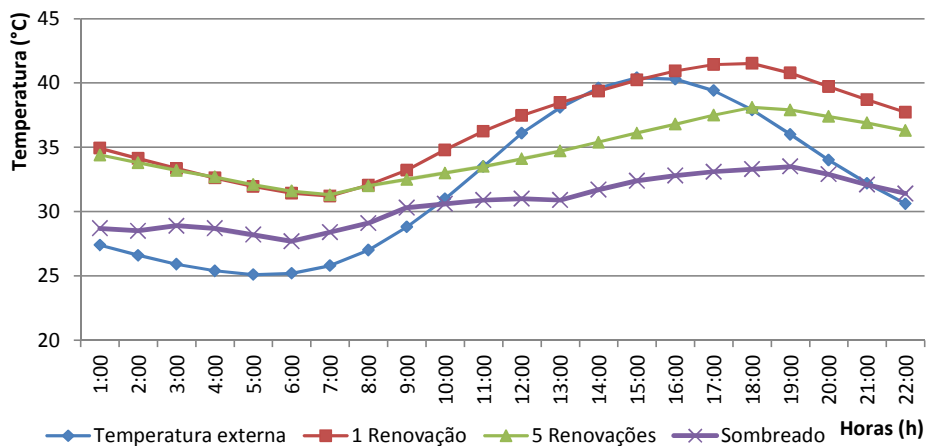


Figura 4.23 - Zona 24 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações – Dia Típico de verão

Já os resultados nas condições do dia típico de inverno foram positivos, pois os brises reduziram significativamente a temperatura no interior da edificação. Conforme mostrado nas Figuras 4.24 e 4.25, a temperatura interna ficou dentro do indicado para atividades de ensino e aprendizagem.

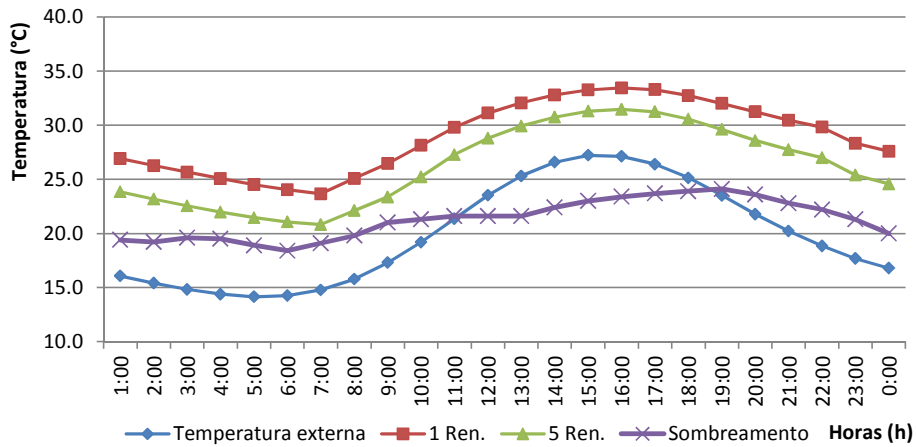


Figura 4.24 - Zona 13 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações – Dia Típico de inverno

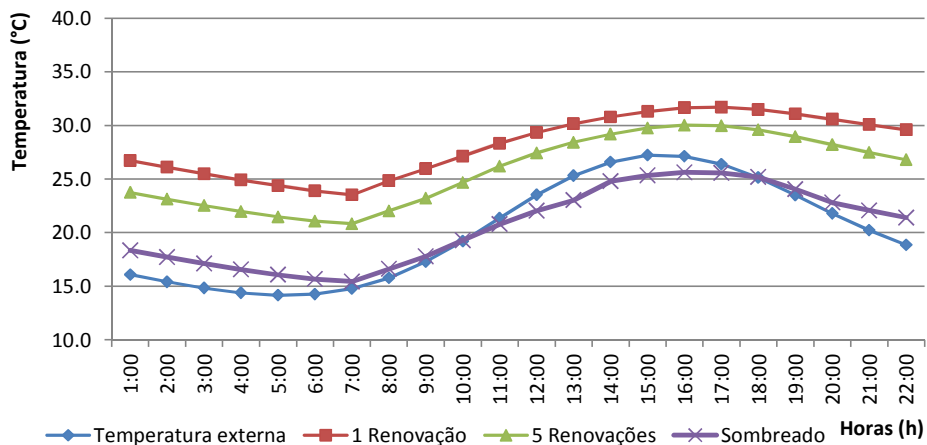


Figura 4.25 - Zona 24 – Comparativo de estratégias: sombreado, 1 e 5 renovações – Dia Típico de inverno

A simulação do dia típico de inverno se fez importante, pois mesmo no inverno, a cidade de Ipatinga apresenta temperaturas elevadas. E na edificação em questão, o fechamento de massa térmica elevada contribui consideravelmente para que esta temperatura permaneça elevada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de desempenho de edificações educacionais tem se tornado importante, pois estes resultados interferem diretamente no ensino/aprendizado. Estes estudos auxiliam na melhoria de conforto dos usuários e também na redução do consumo energético no condicionamento dos ambientes.

O intuito desta pesquisa foi realizar uma análise de desempenho térmico e acústico, via medições *in loco* e questionários aplicados aos usuários, afim de se verificar as condições da edificação de ensino (UnilesteMG), estruturada em aço, inserida em uma cidade de clima quente, que apresenta temperaturas elevadas durante todo o ano.

Para a análise de desempenho da edificação foi feita a medição num dia típico de verão e de inverno, para a coleta dos dados climáticos internos, e também foram aplicados questionários para a coleta dos dados subjetivos dos usuários em relação ao ambiente (térmico e acústico). Os níveis de pressão sonora também foram coletados *in loco*.

Nota-se que pela implantação da edificação resultou em um aquecimento excessivo no interior das salas de aula estudadas. Tanto no inverno como no verão as salas de aula mantiveram temperaturas internas superiores às externas. Além da implantação da edificação com maior fachada a norte, o fechamento escolhido possui capacidade térmica elevada que também interfere na manutenção da temperatura interna mais elevada.

A implantação da edificação em uma área estritamente comercial também interfere negativamente na resposta acústica das salas de aula. Pode-se notar pelos resultados que cerca de 61% dos usuários responderam que o ruído do comércio da vizinhança incomoda. Porém o ruído do interior da sala incomoda muito mais, para 62% dos usuários. Este resultado pode ser referente aos materiais construtivos, significativamente reflexivos, e aos equipamentos de ventilação artificial utilizados.

Por meio da avaliação pós-ocupação pode-se constatar que a estrutura física da edificação atende aos requisitos de segurança e estabilidade, porém, os materiais construtivos não são favoráveis ao clima local e também não são eficientes quanto à isolamento do ruído externo. Com a análise dos dados subjetivos pode-se concluir que o

ambiente é desfavorável à atividade de ensino, considerando que 55% dos usuários responderam que o ambiente é de quente a muito quente.

Numa etapa seguinte foram feitas proposições de estratégias para melhoria do desempenho da edificação, tais como ventilação e sombreamento. A eficiência dessas estratégias foi avaliada via simulação numérica por meio do programa computacional *Energyplus*.

Com os dados dos condicionantes térmicos coletados *in loco* e pela estação telemétrica foi possível verificar possibilidades de melhorias por meio de simulação numérica utilizando o programa *Energyplus*. Com as simulações numéricas foi possível verificar que apenas a proposição de aumento de renovações de ar não foi suficiente para que o ambiente ficasse confortável para a atividade de ensino. A proposição de sombreamento promoveu uma redução o interior dos ambientes de 14% na temperatura média e de 18% na temperatura máxima no período do verão.

Este estudo se faz relevante, pois com a proposição do uso de brises nas fachadas norte-sul e a melhoria da ventilação mostram que não seria necessário o uso do condicionamento artificial durante todo o ano. Com o uso de sombreamento e ventilação mais eficientes e também condicionamento artificial racional deixariam os ambientes confortáveis para as atividades de ensino/aprendizagem, e também reduziriam o consumo de energia.

### **5.1. Sugestões para pesquisas futuras**

Neste trabalho foram utilizadas pesquisas para avaliar o desempenho de edificação estruturada em aço, voltada para atividades de ensino. Para sugestão de continuação ou mesmo de novas pesquisas apresentam-se as seguintes sugestões:

- proposição de diretrizes para edificações particulares voltadas ao ensino;
- proposição de simulação de novos fechamentos condizentes com a clima local;
- análise do comportamento de edificações estruturadas em aço, observando suas vantagens e possibilidades de melhoria projetual.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIÉ, V. et al. Análise e adequação do conforto térmico, acústico e lumínico de duas salas de aula da UNEMAT – Campus René Barbours. **MDC Revista de Arquitetura e Urbanismo**, Seção: Ensaio e Pesquisa, CICAU 2009, jul. 2009.

AHLBORN. **Almemo manual, for all almemo measuring instruments V5**. Ahborn Meß- und Regelungstechnik GmbH, 4th revised edition, Holzkirchen, Germany, 2003.

AKATSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico em edificações no Brasil**. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

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

ALUCCI, M. **Chaminé 2.5**. Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética- FAUUSP. 2002.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2004**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

ARAÚJO, M. A. N. de. **Acústica em Salas de Aula**. INMETRO-RJ. SP, setembro 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica-avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7731**: Energia acústica não contínua com impulso menor que um segundo. Rio de Janeiro, 1993.

ATAÍDE, E. S. **Avaliação de desempenho térmico de edifício institucional estruturado em Aço**. O caso da sede da prefeitura municipal de Mariana, MG. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

BASTOS, M. A. R. **Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos através da perspectiva de seus usuários**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de Múltiplos andares em aço**. São Paulo: Pini, 2004.

BENEVOLO, L. **História da Arquitetura Moderna**, São Paulo, Perspectiva, 2004.

BERANEK, L. L. **Noise and vibration control**. New York, McGraw Hill, 1971.

BRUEL KJAER. **Measuring sound**(Catálogo). Dinamarca, 1984.

CAMPOS, H. C. **Avaliação pós-ocupação de edificações construídas no sistema Light Steel Framing**. 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

CÂNDIDO, C. M. **Ventilação natural e código de obras: uma análise da tipologia das aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió/AL**. 2006. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do espaço habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CARVALHO, A. R. **A cidade**. Barra News. Disponível em: <<http://www.barradobugresnews.com.br/informativo.php?cat=A%20Cidade>>.

Acesso em: 03 abr. 2007.

DIAS, A. S. Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço. 2011. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/mapas-multimodais/MG.pdf>. Acesso em: 03 nov. de 2012.

DUARTE, H. Q.; MANGE, E.R.C. (1956). Escola de Engenharia de São Carlos. **Habitat**, São Paulo, v. 6, n. 33, p. 44-49, ago.

ELALI, G. A. A área das relações pessoa-ambiente e algumas de suas contribuições para a APO.In: XII Encontro Nacional do Ambiente Construído. 9/2008. Fortaleza. Anais eletrônicos. Fortaleza, 2008.1 CD.

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

FERNANDES, J. C. Apostila de acústica e ruídos. capítulo 6. Disponível em: <<http://www.email.feb.unesp.br/~jcandido/acustica/Apostila/Acustica06.doc> >. Acesso em: 11 out. 2011.

FILHO, J. H. de M. **Acústica das Edificações Escolares**. São Paulo, 2005.

FRAMPTON, K. **História Crítica da Arquitetura Moderna**, São Paulo, Martins Fontes, 1997.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. **Paz e Terra**, 29ª ed. São Paulo, 2004.

GOMES, A. P. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em *light steel framing***. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

GRAÇA, V. A. C. **Otimização de projetos arquitetônicos considerando parâmetros de conforto ambiental: o caso das escolas da rede estadual de São Paulo**. 2002.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

GRAÇA, V.; KOWALTOWSKI, D.; PETRECHE, J. An 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.

HERMSDORFF, M. M. C. **A Estrutura Metálica como solução para habitação de interesse social: uma avaliação pós-ocupação do conjunto habitacional Oswaldo Barbosa Penna II, Nova Lima – MG.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE** – Censo demográfico 2010. Dados estatísticos da cidade de Ipatinga- MG. Disponível em:< [http:// www.ibge.gov.br/cidadesat/html](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/html)>. Acesso em: 10 dez. 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.**ISO 7726:**Thermal environments instruments and methods for measuring physical quantities. Genebre, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.**ISO 7730:** Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 2006.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K; et al. Ambiente construído e comportamento humano: necessidade de uma metodologia.**In:** XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2011, Búzios. Conforto Ambiental na Arquitetura e Urbanismo: uma reflexão além da técnica, 2011.

LAMBERTS et al.**Desempenho Térmico de Edificações.**Apostila do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE. Núcleo de Pesquisa em Construções - NPC. Florianópolis - SC, 2007.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. de P. **Analysis – CST 2.1**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE. Núcleo de Pesquisa em Construções - NPC. Florianópolis - SC, 2007.

LAY, M. C. D.; REIS, A. T. da L. Análise quantitativa na área de estudos ambiente – comportamento. Ambiente Construído. **Ambiente e Comportamento**, Porto Alegre, v.5, n.2, p. 21-36, abr/jun. 2005

LOURA, R. M. **Procedimento de identificação de variáveis e análise de sua pertinência em avaliações termo-energéticas de edificações**. 2006. Dissertação(Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) - Universidade Federal de Minas Gerais,Belo Horizonte, 2006.

MAPS. Google maps. Disponível em: <<http://google.maps.com>>. Acesso em: 11 dez. 2012.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

MEDEIROS, F. L. **Meio Ambiente - Dever e direito fundamental**. 1ª Ed. Porto Alegre: Livraria dos Advogados Editoras Ltda, 2004.

MEHTA, M. et. al. **Architectural acoustics: principles and design**. New Jersey: Prentice-Hall, 2000.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.

MENEZES, J. S. R.; PAULINO, N. J. A. Efeitos do ruído no organismo. In: SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle de ruído - PPRA**. São Paulo: LTr, 2000.

MORAIS, J. A. **Ipatinga Cidade Jardim 42 anos**. Ipatinga, Minas Gerais, 2009.

NASCIMENTO, D. S. C.; SOUZA, H. A. Relationship between human behavior and thermal comfort in a housing estate in Brazil. **In:** International Conference on Experimental Mechanics, 2012, Porto. Proceedings ICEM15 - 15th International Conference on Experimental Mechanics. Porto, Portugal. Porto: INEGI- Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, 2012.

OLIVEIRA, N. F. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2006.

PICADA, G. de S. Tópicos de conforto Ambiental. Revista Tecnológica, UFSM, 1999.11p. Disponível em: < <http://www.revistatecnologica.ct.ufsm.br/arquivos/artigo42.pdf> >. Acesso em: 11 nov. 2010.

PINHEIRO, J. Q.; GÜNTHER, H. **Métodos de pesquisa nos Estudos Pessoa-Ambiente.** São Paulo: Casa do Psicólogo, 2008.

PRODEMGE. Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais. Disponível em:< <http://www.prodemge.gov.br>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

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

RIBAS, R. A. de J. **Método para Avaliação do Desempenho Térmico e Acústico de Edificações Aplicado em Painéis de Fechamento Industrializados.** 2013.Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

RIBAS, R. A. J.; SOUZA, H. A. Acoustic performance of closing panels used in steel structure buildings. **In:** 18<sup>TH</sup>InternationalCongressonSound&Vibration, 2011.

RICHTER, R. P. O ensino da acústica na escola de arquitetura. **Boletim mensal brasileiro de acústica.** V. 2, n. 46, P. 1- 4, Fev. 1998.

ROAF, S. C., NICOL, D. F. **A Adaptação das Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas – Um guia de sobrevivência para o século XXI.** Tradução Alexandre Salvaterra – Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROETZEL A.; TSANGRASSOULIS A. Impact of climate change on comfort and energy performance in offices. **Building and Environment**, Volume 57, June 2012, p. 349-361.

RORIZ, M. **Conforto térmico em edificações: Um modelo matemático e uma aplicação.**1996. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SCHAFER, M. **O ouvido pensante.** Tradução Marisa Trench de O. Fonterrada, Magda R. Gomes da Silva, Maria Lúcia Pascoal. 4ª ed. São Paulo: Ed. UNESP, 1991.

SEEP, B. Acústica de salas de aulas. Revista de Acústica e Vibrações, nº 29, Jul. 2002. < Disponível em: <http://www.sobrac.ufsc.br/artigos/Artigo01-29.pdf> >. Acesso em: 05 ago. 2010.

SOUZA, A. M. **A Poluição sonora no ambiente escolar: reflexos no processo Ensino aprendizagem.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências da Saúde e do Ambiente) - Centro Universitário Plínio Leite, Departamento de Pós-Graduação, Niterói. Niterói, 2005.

SOUZA, L. C. L. de. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura.**São Carlos: EdUFSCar, 2011.

TELI D., JENTSCH M., JAMES P. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Building and Environment**, Volume 53, June 2012, p. 166-182.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Programas: Analysis SOLAR, Arquitrop, E2-AC, Sunpath. Disponível em:<<http://www.labee.ufsc.br/software/software>>. Acesso em: 07 ago. 2012.

VIEIRA, C. **Conforto Térmico e Iluminação Natural no Edifício Administrativo da Escola de Engenharia de São Carlos/USP – O Bloco E1**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2008.

VON KRÜGER, P. G. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.



## **ANEXOS**

# ANEXO 1 – Questionário Aplicado

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



Você está sendo convidado a preencher um questionário para pesquisa científica realizada nesta escola, referente ao conforto térmico e acústico por meio de julgamento subjetivo do prédio em que você trabalha (estuda). As respectivas análises e comparações dessa avaliação, juntamente com os dados ambientais coletados pelos equipamentos no local servirão de valiosos subsídios para a análise térmica e acústica dos ambientes desta escola. A sua participação é muito importante. Obrigada!

## QUESTIONARIO-AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO: CONFORTO TÉRMICO E ACÚSTICO.

### DADOS DO RESPONDENTE.

Nome: \_\_\_\_\_

Docente  
 Funcionário

Discente

Idade:

até 20 anos  
 de 21 a 40 anos  
 acima dos 41 anos

Sexo: \_\_\_\_\_ Turno: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## AVALIAÇÃO DO EDIFÍCIO DE SALA DE AULAS

**ASSINALE COM UM X sua opção; esclareça-a e/ou justifique quando solicitado!**

- Há quanto tempo frequenta este edifício?  
 1 ano e meio  
 1 ano  
 6 meses  
 3 meses
- Qual a média diária de sua permanência na Escola? (Entre atividades regulares e outras atividades opcionais)  
 Até 4 horas  
 De 4 a 6 horas  
 Até 8 horas
- O espaço físico, o mobiliário e equipamentos são recursos importantes em termos de viabilização do currículo de um curso. No caso da Graduação do seu curso no UNILESTE, que conceito você atribui a este conjunto de três fatores?  
 Excelente  
 Muito Bom  
 Bom  
 Regular  
 Fraco
- Sob o ponto de vista específico da infra-estrutura física, que conceito você emite para o aspecto, a seguir, relacionado?  
**O espaço das salas de aula e laboratórios em relação ao número de alunos de cada turma é...**  
 Excelente  
 Muito Bom  
 Bom  
Funcionário( )  
5. Numere de 1 a 3, numa escala ascendente de importância para você, às afirmativas seguintes:  
\_\_\_\_ Sinto prazer em estar (trabalhando/estudando) nesta Escola.  
\_\_\_\_ A Instituição, por sua proposta e condições é muito significativa no meu desenvolvimento profissional.  
\_\_\_\_ Sinto-me motivado(a) a apresentar meu ambiente de estudo/trabalho para amigos e familiares.

### AValiação de Conforto Térmico

ASSINALE COM UM X sua opção; esclareça-a e/ou justifique quando solicitado!

12. Qual o tipo de roupa que você está usando no momento?
- Roupas leves     Roupas de frio, porém leves     Roupas de frio, pesadas
13. Com relação a sua **sensação térmica**, como você está se sentindo nesse momento?
- Com muito calor     Com leve sensação de frio  
 Com calor     Com frio  
 Com leve calor     Com muito frio  
 Confortável

14. Num ambiente **térmico** como este você:

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

15. Como você preferia que o clima desta sala estivesse agora:

- Muito mais fresca     Um pouco mais quente  
 Mais fresca     Mais quente  
 Um pouco mais fresca     Muito mais quente  
 Do mesmo jeito

16. Considerando apenas a sua preferência pessoal, você acha que o clima desta sala é geralmente aceitável:

- Sim     Não

17. Utiliza-se **iluminação**:

- Natural     Artificial

18. Como você considera a **iluminação da sala de aula**:

- Ótima     Razoável

### AValiação de Conforto Acústico

ASSINALE COM UM X sua opção; esclareça-a e/ou justifique quando solicitado!

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

- Não perturba     Incomoda     Incomoda muito

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

- Não perturba     Incomoda     Incomoda muito

21. Você tem dificuldades de compreender o som da fala do professor?

- Sim     Não

22. Em sua opinião, o ruído emitido pelo ventilador te incomoda?

- Sim     Não

Gostaria de agradecer sua colaboração com a minha pesquisa e me coloco a sua disposição para qualquer esclarecimento que se fizerem necessários para que possa responder ao questionário.

Grata pela colaboração

Ivonice Gonçalves Dutra Pimenta  
Arquiteta e Urbanista

Mestranda em Engenharia Civil-Estruturas Metálicas

Março de 2010

Maior de 2010

6. Para os aspectos arrolados na coluna do lado esquerdo, na sua relação com as **necessidades de alunos e professores**, faça sua avaliação...

Aspectos em análise	Exc	Mb	Bom	Reg	Fr
Carteiras e cadeiras convencionais são facilmente arranjadas para trabalhos em grupo ou seminários.					
Os espaços específicos para aulas práticas são dotados de equipamentos compatíveis com as demandas dos alunos.					
São disponibilizados equipamentos do tipo data-show, computadores, tela para projeção...					

Nas três perguntas a seguir, caso sua resposta seja "Sim", responda à questão "Por que motivo?", colocando a letra da opção da legenda abaixo que mais aproxima de sua percepção:

- A. Percebi, por mim mesmo, que era diferente.  
 B. Percebi, apenas, quando fizeram obras no edifício.  
 C. Um colega de trabalho/aula me chamou atenção para isso.  
 D. Um funcionário do edifício me informou verbalmente sobre o sistema construtivo do edifício.  
 E. Não me lembro, mas, não foi por nenhum destes motivos acima.
7. Você sabe qual o tipo de **sistema estrutural (pilares e vigas de sustentação)** foi usado neste edifício?  
 Sim  Não  
 Qual é? \_\_\_\_\_  
 Por que motivo? \_\_\_\_\_
8. Você sabe qual o tipo de **fechamento externo (paredes externas, que dão para as fachadas)** foi usado neste edifício?  
 Sim  Não  
 Qual é? \_\_\_\_\_  
 Por que motivo? \_\_\_\_\_
9. Você sabe qual o tipo de **fechamento interno (paredes internas)** foi usado neste edifício?  
 Sim  Não  
 Qual é? \_\_\_\_\_  
 Por que motivo? \_\_\_\_\_

10. O que mais marcou sua **interação com este ambiente** de estudo/trabalho, quando de sua chegada à Instituição?

- A racionalidade e organização do espaço.  
 A beleza da edificação.  
 O tamanho e variedade de dependências.  
 Os recursos nele existentes.  
 Os espaços de convivência social.

11. Sobre as **patologias construtivas** listadas abaixo, marque a que você já percebeu neste edifício, conforme a ocorrência:

Patologias em análise	Fre- quente	Inexis- tente	Não Percebi
Corrosão de pilares e vigas (aparentes).			
Vazamentos nas lajes, entre os andares.			
Vazamentos entre os ambientes (salas) do edifício.			
Infiltrações.			
Ocorrência de trincas.			
Descolamento da pintura externa.			
Descolamento da pintura interna.			
Descolamento da pintura da estrutura, onde ela é aparente.			