

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação



**Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente
escolar, no período de inverno:**
O Caso do Câmpus Pelotas Visconde da Graça

Viviane Mülech Ritter

Pelotas, 2014

Viviane Mülech Ritter

**Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente
escolar, no período de inverno:**
O Caso do Câmpus Pelotas Visconde da Graça

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Celina Maria Britto Corrêa

Pelotas, 2014

Dados de Catalogação na Publicação
Kênia Moreira Bernini – CRB-10/920

R615a Ritter, Viviane Mülech

Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar, no período de inverno: O caso do Câmpus Pelotas Visconde da Graça / Viviane Mülech Ritter; Orientadora: Celina Maria Britto Corrêa. – Pelotas, 2014.

179 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.

1. Conforto ambiental. 2. Ambiente escolar. 3. Percepção do usuário. I. Corrêa, Celina Maria Britto, orient. II. Título.

CDD 720

Viviane Mülech Ritter

Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar, no período de inverno: O Caso do Câmpus Pelotas Visconde da Graça

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 12/12/2013

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Celina Maria Britto Corrêa (Orientadora)
Doutora em Arquitetura pela Universidade Politécnica de Madri

Prof.^a Dr.^a Isabel Tourinho Salamoni
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Dr.^a Nirce Saffer Medvedovski
Doutora em Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo

Prof.^a Dr.^a Doris Catharine Cornelie Knatz Kowaltowski
Doutora em Arquitetura pela Universidade da Califórnia em Berkeley

*Dedico este trabalho ao meu marido
Leandro e aos meus pais.*

Agradecimentos

Em especial a minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Celina Maria Britto Corrêa pela sua dedicação, amizade, carinho e ensinamentos.

Ao meu marido Leandro pelo amor, dedicação e compreensão em todos os momentos. Seu apoio foi essencial para a conclusão deste estudo.

Aos familiares e amigos pelo apoio e carinho. Meus pais, pela educação, amor e confiança.

Aos colegas de trabalho Aretusa, André, Fossati, Jairo e Mercedes, e às estagiárias, Daniela, Shaline e Bruna, por toda a dedicação e ajuda para a realização deste estudo.

À amiga Jaqueline Peglow pela amizade, carinho e conhecimento compartilhado durante todo o período de mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação e, em especial, do Laboratório de Eficiência Energética (LabCEE) da Universidade Federal de Pelotas.

Aos alunos e professores do Câmpus Pelotas Visconde da Graça que participaram e contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

RITTER, Viviane Mülech. **Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar, no período de inverno:** O Caso do Câmpus Pelotas Visconde da Graça. 2013. 179 fl. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

O conforto integral no ambiente escolar é essencial para o pleno desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem. Neste contexto, avaliou-se as condições de conforto térmico, lumínico e acústico das salas de aula do Câmpus Pelotas Visconde da Graça, localizado na cidade de Pelotas, RS, no período de inverno, com o fim de se recomendar estratégias passivas arquitetônicas para as futuras edificações institucionais, buscando-se boas condições de conforto ambiental. Foram eleitas para as avaliações, salas de aula localizadas num prédio construído em 1923, e num prédio edificado em 2010, ambos prédios com sistemas construtivos típicos da sua época de construção. A metodologia adotada combinou a avaliação das respostas perceptivas dos usuários às condições ambientais e medições de variáveis físicas ambientais. Os resultados encontrados foram comparados com os dados referenciados por normativas brasileiras. Verificou-se que, em relação ao conforto térmico, as salas do prédio construído em 1923 apresentaram temperaturas mais altas que as temperaturas registradas nas salas do prédio de 2010, condição também percebida pelos usuários. Sobre o conforto lumínico, as salas localizadas no prédio construído em 2010 apresentaram melhor desempenho em função das características de suas aberturas, condição também percebida pelo usuário. Quanto ao conforto acústico, embora o prédio de 1923 tenha apresentado maior isolamento acústico, na condição de uso das salas, o prédio de 2010 foi identificado, pelos usuários, como o de melhor desempenho. A partir desses resultados, se elenca, neste trabalho, uma série de recomendações de estratégias passivas arquitetônicas que poderão nortear o desenvolvimento físico da instituição objeto desta pesquisa.

Palavras-chave: conforto ambiental, ambiente escolar, percepção do usuário.

Abstract

RITTER, Viviane Müllech. **Evaluation of thermal, lighting and acoustic conditions at classrooms in the winter period.** A case study at Visconde da Graça Campus. 2013. 179 pages. (Master Degree em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

Comfort at the school environment is an essential for the whole development of the teaching and learning process. In this context, we evaluated thermal, lighting and acoustic comfort at the Pelotas Visconde da Graça Campus' classrooms, in order to establish parameters and recommendations of passive architecture strategies for this institution's future buildings that could offer better environmental conditions as well as energy efficiency. Classrooms that are located in a 1923's building and a 2010's building were chosen for the evaluation. The methodology combined evaluations of the users' answers on their perceptions about environmental conditions during wintertime and assessments of the physical varieties. Results were compared with the Brazilian normative data. In addition, the users' answers were crossed with the measures obtained through the assessments. We found that, regarding thermal comfort, classrooms located at the 1923's building presented higher temperatures than those at the 2010's one. Users also perceived this condition. Concerning lighting comfort, classrooms at the 2010's building had a better performance, due to characteristics of their windows, which was also noticed by the users. About acoustic comfort, although the 1923's building had more acoustic insulation, the users considered the 2010's building better. From these results, a series of design guidelines is listed in this work, aiming the physical development of the institution, which is object of this research.

Keywords: environment comfort, school environment, user perception.

Lista de Figuras

Figura 1	Foto aérea do Câmpus Pelotas Visconde da Graça.....	22
Figura 2	Câmpus Pelotas Visconde da Graça com a indicação das áreas de estudo.....	22
Figura 3	Localização dos Prédios 63 e 102 no Câmpus Pelotas Visconde da Graça.....	24
Figura 4	Vista externa dos Prédios 63 e 102, respectivamente.....	24
Figura 5	Implantação do Prédio 63.....	26
Figura 6	Cortes AA' e BB' das salas 11 e 14, indicados na implantação do Prédio 63.....	27
Figura 7	Planta Baixa do Prédio 63 com a indicação das salas avaliadas.....	28
Figura 8	Imagens do Prédio 63 na década de 20 e na década atual, respectivamente.....	29
Figura 9	Plantas Baixas das salas 11 e 14, respectivamente.....	30
Figura 10	Imagens do interior da sala 11 e da sala 14, respectivamente.....	30
Figura 11	Layout da Sala 11, perspectiva interna.....	33
Figura 12	Layout da sala 14, perspectiva interna.....	33
Figura 13	Implantação do Prédio 102.....	34
Figura 14	Cortes AA' e BB' das salas 01 e 02, indicados na implantação do Prédio 102.....	35
Figura 15	Planta Baixa do Prédio 102 com a indicação das salas de aula avaliadas.....	36
Figura 16	Plantas baixas das salas 01 e 02, respectivamente.....	37
Figura 17	Imagens do interior da sala 01 e da sala 02, respectivamente.....	37
Figura 18	Imagens externas do Prédio 102.....	37
Figura 19	Layout da sala 01, perspectiva interna.....	40
Figura 20	Layout da sala 02, perspectiva interna.....	40
Figura 21	Gráfico PMV X PPD.....	49
Figura 22	Carta Bioclimática de Givoni – 1992.....	50
Figura 23	Gráfico Conforto Adaptativo proposto pela ASHRAE Standart 55-2004.....	53

Figura 24	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	55
Figura 25	Gráfico Tempo Ótimo de Reverberação.....	66
Figura 26	Planta Baixa dos prédios 63 e 102, respectivamente, com a localização dos sensores.....	83
Figura 27	Marcação dos pontos de medição nas salas de aula 11 e 14 do Prédio 63.....	85
Figura 28	Marcação dos pontos de medição nas salas de aula 01 e 02 do Prédio 102.....	85
Figura 29	Planta Baixa dos prédios 63 e 102, respectivamente, com localização dos pontos de medição.....	87
Figura 30	Gráfico das necessidades horárias para Pelotas – Olgyay.....	89
Figura 31	Gráfico das temperaturas: externa, salas 11 e 14 (Prédio 63), salas 01 e 02 (Prédio 102).....	91
Figura 32	Gráfico das umidades relativas: externa, salas 11 e 14 (Prédio 63), salas 01 e 02 (Prédio 102).....	92
Figura 33	Janelas tipo das salas 11 e 14 do Prédio 63.....	108
Figura 34	Janelas tipo das salas 01 e 02 do Prédio 102. A primeira presente em ambas salas, e a segunda, presente apenas na sala 02.....	108
Figura 35	Insolação e sombra nas fachadas nordeste, noroeste e sudoeste às 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas, do mês de junho, Prédio 63.....	109
Figura 36	Insolação e sombra nas fachadas sudeste, noroeste e sudoeste às 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas, do mês de junho, Prédio 102.....	110
Figura 37	Condições do céu no dia da medição (15/06/2013) na sala 11.....	111
Figura 38	Condições do céu no dia da medição (16/06/2013) na sala 14.....	111
Figura 39	CIN às 8, 10, 12, 14, 16 e 18h para a sala 11 do Prédio 63.....	112
Figura 40	CIN às 8, 10, 12, 14, 16 e 18h para a sala 14 do Prédio 63.....	113
Figura 41	Condições do céu no dia da medição (22/06/2013) na sala 01.....	114
Figura 42	Condições do céu no dia da medição (23/06/2013) na sala 02.....	114
Figura 43	CIN às 8, 10, 12 e 14h para a sala 01 do Prédio 102.....	114
Figura 44	CIN às 16 e 18h para a sala 01 do Prédio 102.....	115
Figura 45	CIN às 8, 10, 12 e 14h para a sala 02 do Prédio 102.....	115
Figura 46	CIN às 16 e 18h para a sala 02 do Prédio 102.....	116

Lista de Tabelas

Tabela 1	Tabela 1 - Principais características construtivas dos prédios 63 e 102.....	25
Tabela 2	Características físicas das janelas localizadas nas salas 11 e 14 - Prédio 63.....	31
Tabela 3	Área das salas de aula 11 e 14 e área útil de ventilação.....	31
Tabela 4	Propriedades térmicas dos materiais das paredes do Prédio 63....	32
Tabela 5	Propriedades térmicas dos materiais da cobertura do Prédio 63....	32
Tabela 6	Propriedades térmicas da envoltória do Prédio 63.....	32
Tabela 7	Características físicas das janelas localizadas nas salas 01 e 02 - Prédio 102.....	38
Tabela 8	Área das salas de aula 01 e 02 e área útil de ventilação.....	38
Tabela 9	Propriedades térmicas dos materiais das paredes do Prédio 102 (2010).....	39
Tabela 10	Propriedades térmicas dos materiais da cobertura do Prédio 102	39
Tabela 11	Propriedades térmicas da envoltória do Prédio 102.....	39
Tabela 12	Resumo das recomendações para a Zona Bioclimática 2.....	56
Tabela 13	Resumo dos Critérios para avaliação de desempenho térmico mínimo de paredes externas e cobertura, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013b).....	57
Tabela 14	Comparação das metodologias disponíveis para a determinação das zonas de conforto.....	58
Tabela 15	Exemplos de iluminância.....	59
Tabela 16	Avaliação de Desempenho Ambiental – Parâmetros Físicos: Conforto Térmico.....	76
Tabela 17	Avaliação de Desempenho Ambiental - Método: Conforto Térmico	77
Tabela 18	Avaliação de Desempenho Ambiental - Métodos: Conforto Lumínico.....	77
Tabela 19	Avaliação de Desempenho Ambiental - Métodos: Conforto Acústico.....	77
Tabela 20	Intervalo de temperaturas de conforto térmico, segundo ASHRAE, Givoni e Olgyay.....	84
Tabela 21	Resumo da verificação das salas 11 e 14 (Prédio 63) e das salas 01 e 02 (Prédio 102) de acordo com os intervalos de temperaturas de conforto, segundo: ASHRAE, Givoni e Olgyay.....	96

Tabela 22	Comparação entre os Requisitos normativos e os dados calculados para os Prédios 63 e 102.....	97
Tabela 23	Resumo do cumprimento das diretrizes recomendadas – NBR 15.220.....	99
Tabela 24	Resumo do cumprimento das diretrizes recomendadas – NBR 15.575.....	99
Tabela 25	Comparação entre os requisitos de temperatura interna, segundo a NBR 15.575, e os dados medidos para os prédios 63 e 102.....	100
Tabela 26	Resultados do Questionário na Sala 11 (Prédio 63) – Conforto Térmico.....	101
Tabela 27	Resultados do Questionário da Sala 14 (Prédio 63) – Conforto Térmico.....	101
Tabela 28	Resultados do Questionário da Sala 01 (Prédio 102) – Conforto Térmico.....	102
Tabela 29	Resultados do Questionário da Sala 02 (Prédio 102) – Conforto Térmico.....	102
Tabela 30	Resumo das variáveis consideradas na comparação dos prédios - Conforto Térmico.....	104
Tabela 31	Comparação entre os resultados dos questionários e das medições <i>in loco</i> – Conforto Térmico.....	105
Tabela 32	Características físico-espaciais das salas dos prédios 63 e 102....	107
Tabela 33	Características físicas das janelas das salas 11 e 14 do Prédio 63, e das salas 01 e 02 do Prédio 102.....	107
Tabela 34	Resultados das medições da sala 11 – Prédio 63.....	118
Tabela 35	Resultados das medições da sala 14 – Prédio 63.....	119
Tabela 36	Resultados das medições da sala 01 – Prédio 102.....	119
Tabela 37	Resultados das medições da sala 02 – Prédio 102.....	120
Tabela 38	Uniformidade da iluminância no interior das salas 11 e 14 do Prédio 63, e das salas 01 e 02 do Prédio 102.....	122
Tabela 39	Resultados do Questionário da sala 11 (Prédio 63) – Conforto Lumínico.....	122
Tabela 40	Resultados do Questionário da sala 14 (Prédio 63) – Conforto Lumínico.....	123
Tabela 41	Resultados do Questionário da sala 01 (Prédio 102) – Conforto Lumínico.....	124

Tabela 42	Resultados do Questionário da sala 02 (Prédio 102) – Conforto Lumínico.....	124
Tabela 43	Resumo das variáveis consideradas na comparação dos prédios - Conforto Lumínico.....	127
Tabela 44	Comparação entre os resultados dos questionários e das medições <i>in loco</i> – Conforto Lumínico.....	128
Tabela 45	Composição das coberturas e das paredes: Propriedades físicas dos materiais.....	131
Tabela 46	Níveis de isolamento acústico global dos elementos construtivos dos prédios 63 e 102.....	131
Tabela 47	Resultados dos cálculos do Tempo de Reverberação dos prédios 63 e 102.....	132
Tabela 48	Resultados das medições acústicas das salas 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102, nos turnos da manhã e da tarde.....	134
Tabela 49	Resultados das medições acústicas das salas 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102, nos turnos da manhã e da tarde.....	136
Tabela 50	Resultados do Questionário na Sala 11 (Prédio 63) – Conforto Acústico.....	137
Tabela 51	Resultados do Questionário da Sala 14 (Prédio 63) – Conforto Acústico.....	137
Tabela 52	Resultados do Questionário da Sala 01 (Prédio 102) – Conforto Acústico.....	138
Tabela 53	Resultados do Questionário da Sala 02 (Prédio 102) – Conforto Acústico.....	138
Tabela 54	Resumo das variáveis consideradas na comparação dos prédios – Conforto Acústico.....	140
Tabela 55	Comparação entre os resultados dos questionários e das medições <i>in loco</i> – Conforto Acústico.....	141
Tabela 56	Resultados da resposta livre dos usuários das salas de aula 11 e 14, do Prédio 63, quanto às questões de conforto e desconforto...	143
Tabela 57	Resultados da resposta livre dos usuários das salas de aula 01 e 02, do Prédio 102, quanto às questões de conforto e desconforto.	143

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	Avaliação Pós-Ocupação
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CaVG	Câmpus Pelotas Visconde da Graça
CIAC	Centro de Atenção Integral à Criança
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
CIN	Contribuição de Iluminação Natural
CIEP	Centro Integrado de Educação Pública
DF	<i>Daylight Factor</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FDE	Fundação para o Desenvolvimento da Educação
ETI	Escola de Tempo Integral
FUNDESCOLA	Fundo de Fortalecimento da Escola
LabCEE	Laboratório de Conforto e Eficiência Energética
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
IFSUL	Instituto Federal Sul-Rio-Grandense
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MEC	Ministério da Educação
NBR	Norma Brasileira
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
TR	Tempo de Reverberação
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas

Sumário

1	Introdução.....	17
1.1	Apresentação do Tema.....	17
1.2	Justificativa do Tema.....	19
1.3	Objetivos.....	21
1.3.1	Objetivo Geral.....	21
1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
1.4	Objetivo da Pesquisa.....	22
1.4.1	Descrição e Caracterização do Objeto de Estudo.....	25
1.4.1.1	Condições Microclimáticas - Prédio 63.....	26
1.4.1.1.1	Levantamento Físico do Prédio 63 (1923).....	28
1.4.1.1.2	Características Morfológicas e Construtivas – Salas de Aula 11 e 14.	29
1.4.1.2	Condições Microclimáticas – Prédio 102.....	34
1.4.1.2.1	Levantamento Físico do Prédio 102 (2010).....	35
1.4.1.2.2	Características Morfológicas e Construtivas – Salas de Aula 11 e 14.	36
1.5	Estrutura da Pesquisa.....	41
2	Revisão Bibliográfica.....	42
2.1	Evolução da Arquitetura Escolar no Brasil.....	42
2.2	Conforto Ambiental no Ambiente Escolar.....	45
2.3	Conforto Térmico.....	47
2.3.1	Índices e Zonas de Conforto Térmico.....	48
2.3.2	Normatização.....	52
2.3.2.1	ASHRAE.....	52
2.3.2.2	ISO 7730.....	54
2.3.2.3	NBR 15.220.....	55
2.3.2.4	NBR 15.575.....	56
2.3.3	Zonas de Conforto Térmico – Comparação das Metodologias.....	58
2.4	Conforto Lumínico.....	58

2.4.1	Normatização.....	61
2.4.1.1	NBR ISO/CIE 8995.....	61
2.4.1.2	NBR 15.215.....	62
2.4.1.3	NBR 15.575.....	63
2.5	Conforto Acústico.....	63
2.5.1	Normatização.....	68
2.5.1.1	NBR 10.151.....	68
2.5.1.2	NBR 10.152.....	69
2.5.1.3	NBR 15.575.....	69
2.6	A Percepção Ambiental do Usuário.....	70
2.7	Preocupação com a Conservação da Energia.....	71
2.8	Estado da Arte no Campo da Pesquisa.....	73
3	Materiais e Métodos.....	79
3.1	Coleta de Dados.....	80
3.2	Medições das Variáveis Físicas Ambientais.....	82
3.2.1	Medições das Variáveis de Conforto Térmico.....	82
3.2.1.1	Posição dos Sensores.....	82
3.2.1.2	CrITÉrios de Avaliação.....	83
3.2.2	Medições das Variáveis de Conforto Lumínico.....	84
3.2.2.1	Posição dos Luxímetros.....	85
3.2.3	Medição das Variáveis de Conforto Acústico.....	86
3.2.3.1	Posição dos Decibelímetros.....	86
3.3	Percepção dos Usuários.....	87
3.4	Período para a coleta de dados.....	88
4	Desenvolvimento e Resultados.....	91
4.1	Resultados – Conforto Térmico.....	91
4.1.1	Resultado das Medições e da Verificação dos Requisitos Normativos....	91
4.1.1.1	Resultado das Medições Térmicas.....	91
4.1.1.2	Avaliações de Conforto Térmico segundo ASHRAE, Givoni e Olgyay..	95
4.1.1.3	Avaliações de conforto térmico – Segundo a NBR 15.575 e NBR 15.220.....	96

4.1.2	Avaliação da Resposta Perceptiva do Usuário.....	100
4.1.3	Comparação entre a Resposta Perceptiva dos Usuários e a Medição das Variáveis Físicas Ambientais – Conforto Térmico.....	104
4.2	Resultados – Conforto Lumínico.....	106
4.2.1	Características Físico-espaciais das Salas de Aula.....	107
4.2.2	Resultado das Medições e da Verificação dos Requisitos Normativos....	111
4.2.2.1	Resultado das Medições Lumínicas.....	111
4.2.2.2	Avaliações de Conforto Lumínico – Segundo a NBR 8995 – 1.....	118
4.2.3	Avaliação da Percepção do Usuário - Conforto Lumínico.....	122
4.2.4	Comparação entre a Percepção dos Usuários e Medições – Conforto Lumínico.....	128
4.3	Resultados – Conforto Acústico.....	130
4.3.1	Isolamento Acústico dos Componentes Construtivos.....	131
4.3.2	Condicionamento Acústico das Salas de Aula.....	132
4.3.3	Resultado das Medições e da verificação dos requisitos normativos.....	134
4.3.3.1	Resultado das Medições Acústicas.....	134
4.3.3.2	Avaliações de Conforto Acústico – Segundo a NBR 10.152.....	136
4.3.4	Avaliação da Percepção do Usuário – Conforto Acústico.....	136
4.3.5	Comparação entre a Percepção dos Usuários e Medições – Conforto Acústico.....	140
4.3.6	Outras Questões Perceptivas do Usuário.....	142
5	Conclusões.....	146
5.1	Sobre o Conforto Térmico.....	146
5.2	Sobre o Conforto Lumínico.....	147
5.3	Sobre o Conforto Acústico.....	148
5.4	Recomendações de Estratégias Passivas Arquitetônicas.....	149
5.4.1	Conforto Térmico.....	149
5.4.2	Conforto Lumínico.....	149
5.4.3	Conforto Acústico.....	150
5.5	Limitações desta Pesquisa.....	150
5.6	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	151

5.7 Considerações Finais.....	151
Referências Bibliográficas.....	152
Apêndices.....	159
Anexos.....	175

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

A qualidade e a produtividade do trabalho estão diretamente relacionadas com as boas condições do ambiente em que se desenvolvem as atividades. Assim, os usuários de uma edificação necessitam desfrutar de uma situação descrita como conforto ambiental, que segundo ASHRAE (1992) é definido como a condição mental que expressa satisfação com o ambiente que envolve a pessoa. Segundo Kowaltowski (2011), o conforto ambiental pode ser compreendido como uma relação de interação entre o espaço físico e os seus ocupantes.

As edificações escolares são, por excelência, espaços de trabalho e produtividade, logo, o conforto ambiental nessas edificações é de grande importância para o desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem, englobando os diversos atores envolvidos nessa atividade. Professores e alunos precisam de salas de aula, consideradas como ambiente de trabalho, que ofereçam condições adequadas de conforto térmico, lumínico e acústico para a realização de suas atividades diárias. As condições ambientais dos espaços de educação podem refletir-se em fatores tão diversos quanto a sociabilidade dos usuários, seu desempenho acadêmico (SOMMER, 1969) e mesmo sua saúde.

De modo geral, há uma falta de compreensão da importância do edifício para a qualidade do ensino e a construção do conhecimento (SANOFF, 1996). Segundo a FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO - FDE (1996), a edificação escolar, além de abrigar fisicamente seus usuários, constitui condição básica para o desenvolvimento das atividades educacionais no seu interior e, portanto, suporte e material de ensino e aprendizagem. Desta forma torna-se necessário conhecer mais sobre a concepção desses ambientes, de maneira a estabelecer um compromisso entre a educação e a solução espacial.

Reconhecidas estas relações entre o ambiente escolar e aprendizagem, busca-se hoje, adequação espacial e habitabilidade nestes edifícios, procurando-se corrigir erros cometidos no passado, quando a qualidade das escolas quanto ao seu espaço físico não consistia preocupação.

Neste contexto, as Avaliações Pós-Ocupação – APOs, (ORNSTEIN; ROMERO, 1992) de edificações escolares, trataram de avaliar as edificações escolares em uso, identificando patologias, respostas humanas e condições construtivas, entre outros aspectos. Estudos em países desenvolvidos, com padrões apropriados de conforto, revelam que o cumprimento das normas técnicas não garante por si só, condições de conforto e adequação. As avaliações periódicas são necessárias para a melhoria das condições de utilização (KOWALTOWSKI, 2011).

Por outro lado, as pesquisas sobre avaliações do conforto ambiental demonstram que a percepção dos usuários é de fundamental importância quando exploradas em conjunto com as medições técnicas, normalmente utilizadas para determinar parâmetros ambientais e que permitem classificar o nível de conforto de uma edificação, mas que em última análise, depende da satisfação do usuário com relação a este espaço construído. Assim, informações fornecidas pelos usuários quanto a sua satisfação frente às condições ambientais internas, cruzadas com dados de medições de variáveis ambientais poderão contribuir para a apreciação crítica das condições de conforto sugeridas por pesquisas nesta área, e até mesmo pelas normativas nacionais e internacionais (OCHOA, 2010).

É relevante a avaliação do conforto ambiental atendendo seus vários aspectos, pois o desempenho insatisfatório do conforto térmico, por exemplo, pode alterar também a percepção sobre o conforto lumínico e acústico. Neste sentido, consideram-se essenciais as pesquisas que tratam destas questões em conjunto (KOWALTOWSKI, 2011). Graça e Kowaltowski (2004), afirmam que não é possível maximizar todos os aspectos de conforto térmico, lumínico e acústico, ao mesmo tempo, mas é importante a busca por um conjunto de soluções de compromisso, buscando o aprimoramento desses parâmetros ambientais.

Quando se abordam questões de conforto ambiental em espaços de trabalho, também se torna imprescindível pensar no consumo de energia na operação e manutenção de edifícios, não somente pelo fator custo, mas pelo comprometimento com a questão ambiental, levando-se em consideração que os edifícios consomem

40% da energia mundial (MIZGIER, 2010). Por isso, pensar em conforto deveria levar à apreciação dos impactos que a edificação proporciona ao meio ambiente.

Assim, a busca por um desempenho ambiental satisfatório deverá integrar respostas perceptivas positivas do usuário frente ao ambiente físico. Para isso, o desenvolvimento de um projeto arquitetônico deverá contemplar vários aspectos, tais como, o conhecimento do clima local, das condições do lote e do seu entorno, do movimento solar e dos ventos dominantes, das condições de umidade, da forma e dos materiais do edifício, sempre buscando o aproveitamento ou a proteção das energias naturais que afetam a edificação (KEELER e BURKE, 2010).

Para Kowaltowski et al. (2001) não podemos considerar o conforto ambiental sem antes compreendermos as relações entre as características do local e a arquitetura da edificação, entre outros elementos. Portanto, parece imperativo o desenvolvimento de estudos que visam compreender a importância das boas condições de habitabilidade, considerando os aspectos relacionados ao conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar. Também é importante que se considere a provável redução no impacto ambiental causado pela construção, quando se dá prioridade ao uso de estratégias passivas de condicionamento ambiental para se atingir níveis de conforto adequados e desejáveis nos ambientes internos. É dentro deste contexto que se insere este trabalho de dissertação.

1.2 Justificativa do Tema

A avaliação do desempenho ambiental em espaços de ensino pode ser vista como uma alternativa para se aprofundar conhecimentos sobre a realidade das condições de conforto nas edificações escolares. E ainda, possibilitar às futuras construções, valiosas contribuições para que adequadas condições de conforto térmico, lumínico e acústico sejam incorporadas aos requisitos de projeto. Por outro lado, condições de conforto conseguidas por meios mecânicos e o seu consequente consumo energético, acabam por acarretar prejuízos, tanto na esfera econômica como na ambiental. Portanto, é necessária a busca de alternativas para a otimização do desempenho da edificação frente às energias naturais, com o intuito de melhorar a qualidade de vida do ser humano no ambiente construído, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o necessário conforto ambiental.

Segundo Rapoport (1976), o ambiente construído deve estar em harmonia com o comportamento esperado, com as regras e com os propósitos pré-estabelecidos para determinado espaço laboral, e o usuário passa a ser um importante agente na descoberta das necessidades de melhorias das condições internas das edificações. Assim, a sensibilidade às percepções, julgamentos e expectativas de um determinado grupo, poderá resultar na criação de locais com maior qualidade ambiental, evitando-se manifestações futuras de descontentamento com o espaço edificado.

A compreensão de como as pessoas percebem o espaço que ocupam e como este interfere no seu desempenho, estabelecendo sua relação física com o mundo externo, é essencial para que se possa pensar em uma arquitetura que responda melhor às perspectivas de seus usuários. Apesar das percepções serem subjetivas a cada sujeito, admitem-se recorrências comuns, que segundo Azevedo (apud, BARKI, 1997), podem ser alcançadas através do estudo da percepção ambiental. Pois a ocupação, o uso dos espaços e a construção de lugares pelos indivíduos se fazem a partir de certas constantes.

A consideração a este contexto exposto e a preocupação com a melhoria da qualidade ambiental nas salas de aula de uma instituição de ensino, na cidade de Pelotas/RS, o Câmpus Pelotas Visconde da Graça, foram determinantes neste trabalho de pesquisa.

Dá-se especial importância à opinião do usuário quanto a sua satisfação frente aos ambientes em estudo. Há uma variedade de parâmetros e normativas que estabelecem numericamente padrões de conforto, seja térmico, lumínico ou acústico, e simulação computacional para sua análise. Mas sem dúvida, é o usuário quem sofre todas as consequências de um ambiente desconfortável, e considera-se que sua opinião deva prevalecer mediante a padrões pré-estabelecidos.

É importante salientar que o espaço construído do Câmpus Pelotas Visconde da Graça têm passado por constantes reformas e adequações nos últimos tempos, para o atendimento às exigências dos novos conceitos de ensino. Este fato evidencia a relevância deste estudo para a instituição em questão, que passa por um momento de planejamento e previsão de novos espaços didáticos.

A possibilidade de se obter conhecimento sobre o desempenho ambiental em construções com tipologias arquitetônicas diferentes, e principalmente, as preocupações com o pleno desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem

dos usuários do espaço escolar juntamente com as questões relacionadas ao conforto ambiental, motivaram este estudo, onde será avaliado o conforto ambiental de salas de aula representativas desta escola.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar o conforto térmico, lumínico e acústico de salas de aula, no período de inverno, do Câmpus Pelotas Visconde da Graça. Pretende-se através desse trabalho, estabelecer recomendações de estratégias passivas arquitetônicas para as futuras edificações nesta instituição, onde serão priorizadas aos usuários, boas condições de conforto ambiental.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho térmico, lumínico e acústico das salas de aula do CaVG, através das respostas perceptivas dos usuários e de medições técnicas realizadas *in loco*, no período de inverno;
- Conhecer as condições ambientais internas proporcionadas de maneira passiva por construções de períodos distintos (prédio de 1923 e 2010);
- Comparar os resultados obtidos nas medições técnicas com os dados referenciados nas normativas pertinentes à proposta do estudo;
- Fazer o cruzamento das respostas perceptivas dos usuários e dos resultados das medições *in loco*;
- Reconhecer as estratégias passivas já adotadas nas edificações do CaVG que possam ser incorporadas nos futuros projetos e que priorizem melhorias no nível de conforto nos três aspectos avaliados (conforto térmico, lumínico e acústico).

1.4 Objeto da Pesquisa

O Câmpus Pelotas Visconde da Graça (IFSUL) está localizado na cidade de Pelotas-RS, limítrofe com o aeroporto internacional da cidade (Figura 1).

O Câmpus possui atualmente 89 edificações, que abrigam espaços didáticos, de produção e de infraestrutura. Na figura 2 estão indicadas as áreas de estudo.



Figura 1 - Foto aérea do Câmpus Pelotas Visconde da Graça

Fonte: Arquivo fotográfico do IFSUL.



Figura 2 - Câmpus Pelotas Visconde da Graça com a indicação das áreas de estudo.

Fonte: Arquivo fotográfico do IFSUL.

A instituição desenvolve a atividade de ensino técnico desde a década de 20, primeiramente caracterizando-se pelo Aprendizado Agrícola. A partir 1969, foi incorporada à Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, sendo mais tarde, nomeada como Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça – CAVG, tornando-se assim a Instituição Técnica da UFPEL. Ao longo dos anos passou por várias transformações na sua estrutura física a fim de acompanhar o crescimento e desenvolvimento das demandas dos novos cursos. No ano de 2010, o CAVG desvinculou-se da Universidade Federal e passou a integrar o Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – IFSUL. Hoje oferece à comunidade Cursos Técnicos de Agropecuária, Agroindústria, Vestuário e Meio Ambiente, além dos Cursos Superiores de Tecnologia em: Viticultura e Enologia, Gestão Ambiental, Gestão de Cooperativas e Agroindústria, e também cursos na modalidade à distância e de Especialização. A escola possui funcionamento diurno e noturno, e proporciona internatos masculino e feminino para os alunos que residem em outros municípios.

A tipologia arquitetônica da escola caracteriza-se por edificações em blocos independentes sem ligação direta entre eles. Percebe-se, com as transições administrativas e o desenvolvimento da escola, que naturalmente as suas edificações passaram a apresentar características próprias de cada período em que foram projetadas ou reformadas.

Dentre todas as edificações do Câmpus Pelotas Visconde da Graça, atualmente apenas cinco prédios possuem espaços de salas de aula. Em 2012 houve a interdição de três edificações, em decorrência de problemas estruturais nas edificações, sendo que uma delas abrigava dez salas de aula. Os outros dois prédios abrigavam atividades administrativas. A partir da interdição, fez-se necessária à redistribuição de setores e espaços didáticos para possibilitar o funcionamento da escola. Portanto, espaços cujo projeto original não previa o uso de salas de aula, passaram a ser utilizados para esta finalidade.

Assim, ao longo da pesquisa, definiu-se como principal critério para a escolha das salas de aula representativas para as análises de conforto térmico, lumínico e acústico, o fato da edificação ser projetada para este uso e atualmente estar sendo utilizada para esta atividade.

Portanto duas edificações foram selecionadas para este estudo: o Prédio 63 (1923) e o Prédio 102 (2010). A identificação de cada prédio foi dada em função do seu número, e também pela sua data de construção. A edificação construída em

1923 é o primeiro prédio de salas de aula da escola, a outra do ano de 2010, é considerada, neste momento, a construção mais atual projetada para esta finalidade. A figura 3 mostra a localização das edificações no Câmpus Pelotas Visconde da Graça e a figura 4 apresenta vistas externas do Prédio 63 e 102, respectivamente.



Figura 3 - Localização dos Prédios 63 e 102 no Câmpus Pelotas Visconde da Graça

Fonte: Google Earth, acesso em agosto de 2012.



Figura 4 - Vista externa dos Prédios 63 e 102, respectivamente.

O Prédio 63 (1923) apresenta paredes de tijolos maciços com espessura de 33cm, rebocada internamente e externamente, forro em madeira, telhas cerâmicas tipo francesa com inclinação de 47%, piso cerâmico, janelas em ferro tipo basculante e fixo e portas em madeira voltadas diretamente para o exterior. Já o Prédio 102 (2010) possui paredes de tijolos furados com teto em laje rebocada de 10cm de espessura, cobertura de telha de fibrocimento com inclinação de 12%, piso cerâmico, janelas em alumínio sistema maxim-ar e fixo e portas em madeira com bandeira em vidro fixo, todas voltadas para um corredor de circulação. Na tabela 1 é possível verificar as principais diferenças construtivas entre os prédios 63 e 102.

Tabela 1 - Principais características construtivas dos prédios 63 e 102.

Prédio	Paredes	Teto	Telhado	Janelas	Portas
63 (1923)	Tijolos maciços e=33cm/ 19cm	Forro madeira e=1cm	Telha francesa l=47%	Ferro Tipo basculante/ fixo	Madeira Voltadas para o exterior
102 (2010)	Tijolos furados e=15cm	Laje rebocada e=10cm	Telha fibrocimento l=12%	Alumínio Tipo maxim-ar/ fixo	Madeira com Bandeira - Vidro fixo Voltadas para o corredor

A possibilidade de se obter conhecimento sobre o desempenho ambiental em construções com tipologias arquitetônicas diferentes, e principalmente, as preocupações com o pleno desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem dos usuários do espaço escolar juntamente com as questões relacionadas ao conforto ambiental, somados a uma ideia de redução do consumo energético sem prejuízo das boas condições internas, motivaram este estudo, onde será avaliado o conforto ambiental de salas de aula representativas desta escola.

1.4.1 Descrição e Caracterização do Objeto de Estudo

O local de estudo, o Câmpus Pelotas Visconde da Graça, se localiza a cerca de 8km do centro urbano de Pelotas-RS, na zona Norte desta cidade. Pelotas está situada entre 31 e 32° de latitude sul, a 13 metros do nível do mar. Possui clima subtropical úmido (mesotérmico) que, em função da proximidade com o Oceano Atlântico (60 Km), propicia temperaturas agradáveis, elevada umidade atmosférica (80%) e densos nevoeiros que encobrem o sol praticamente metade dos dias do ano. O inverno é fresco, sem frio severo, e o verão é suave. Apresenta a média de temperatura anual de 17,6°C e a amplitude térmica anual de 13,4°C. Durante 8 meses do ano apresenta temperatura média inferior a 20°C. A distribuição de chuvas é regular ao longo do ano e a média anual de precipitação aproxima-se de 1250mm. O vento Nordeste é predominante nos meses de janeiro a março e de julho a dezembro. Já nos meses de abril, maio e junho, o vento predominante é o Sudoeste.

Considerando as condições macroclimáticas da cidade de Pelotas, acima descritas, será apresentada a seguir, a caracterização das condições microclimáticas do entorno do Prédio 63, o levantamento físico do Prédio 63 e as características construtivas das salas 11 e 14, do referido prédio. Da mesma forma,

será exposta a caracterização das condições microclimáticas do entorno do Prédio 102, o levantamento físico do Prédio 102 e as características construtivas das salas 01 e 02, desta edificação.

1.4.1.1 Condições Microclimáticas – Prédio 63

As construções no entorno do Prédio 63 apresentam alturas variáveis. O Prédio 63 possui vegetação em frente às fachadas nordeste, noroeste e sudoeste. Nas duas primeiras, há predominância de árvores com altura aproximada de 6m e a vegetação é do tipo caduca. Já nesta última, apresenta árvores de maior porte, chegando a 8m de altura e a vegetação predominante é do tipo perene. Existe variação no tipo de pavimentação no entorno do Prédio 63, embora em todo o perímetro do prédio exista uma calçada de concreto com 1,00m de largura. Na figura 5, é apresentada a implantação do Prédio 63, onde podem ser observadas as informações acima descritas.

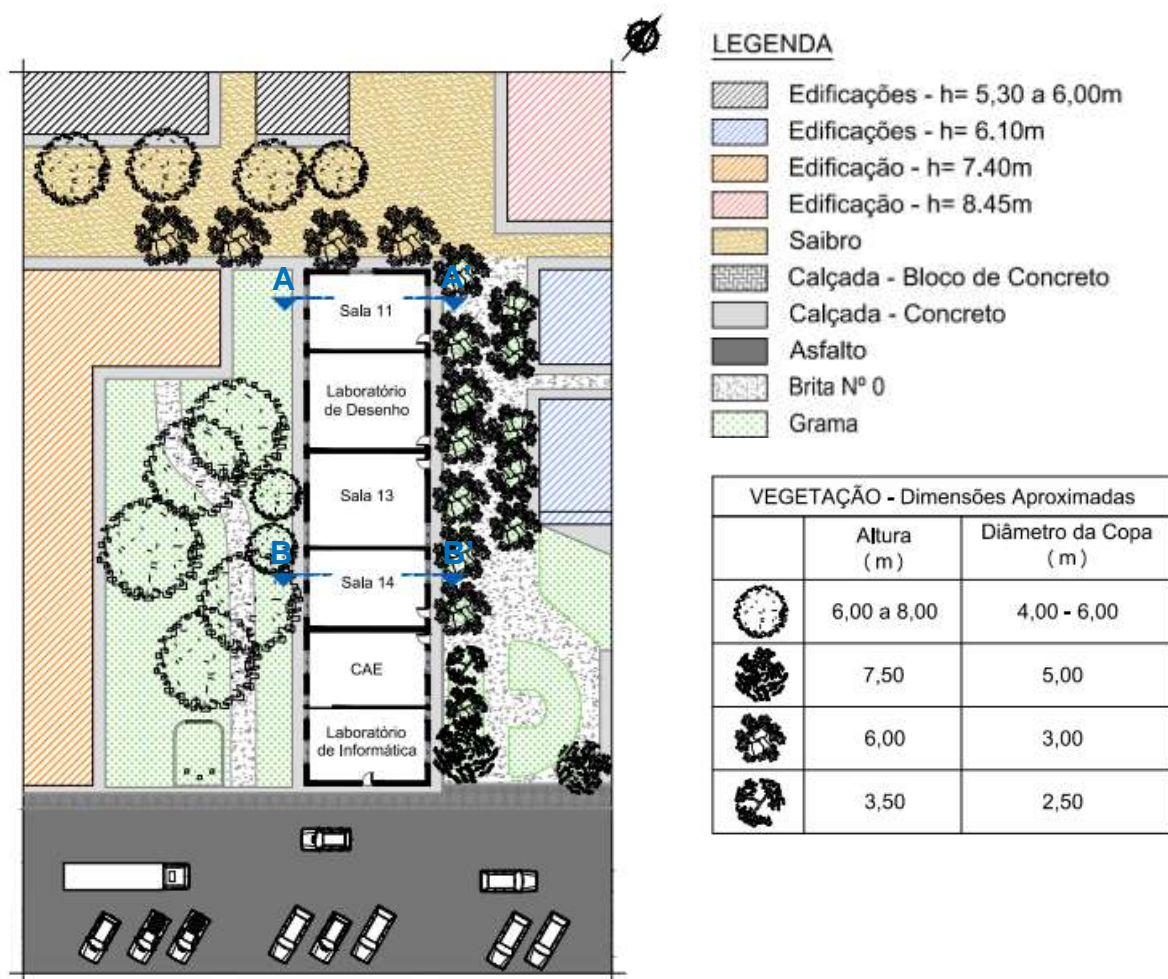
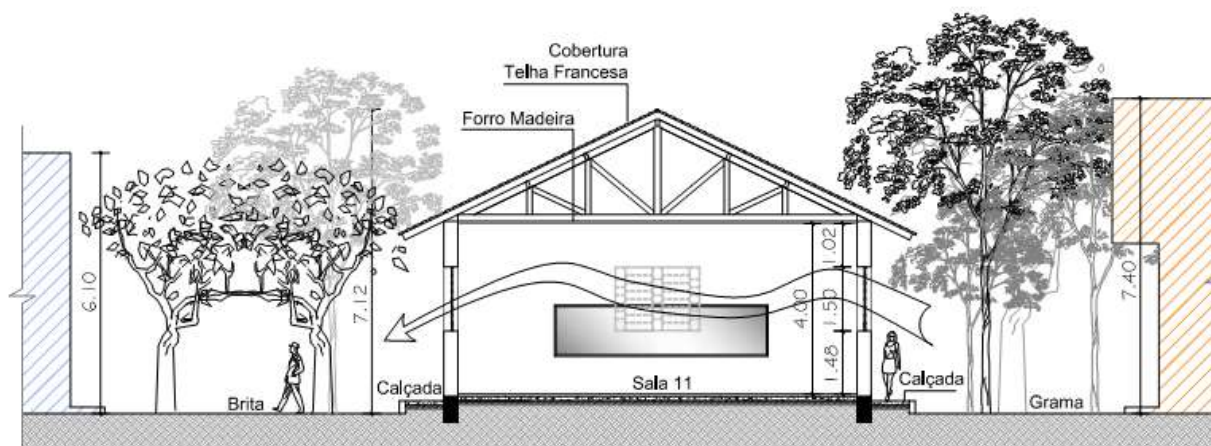
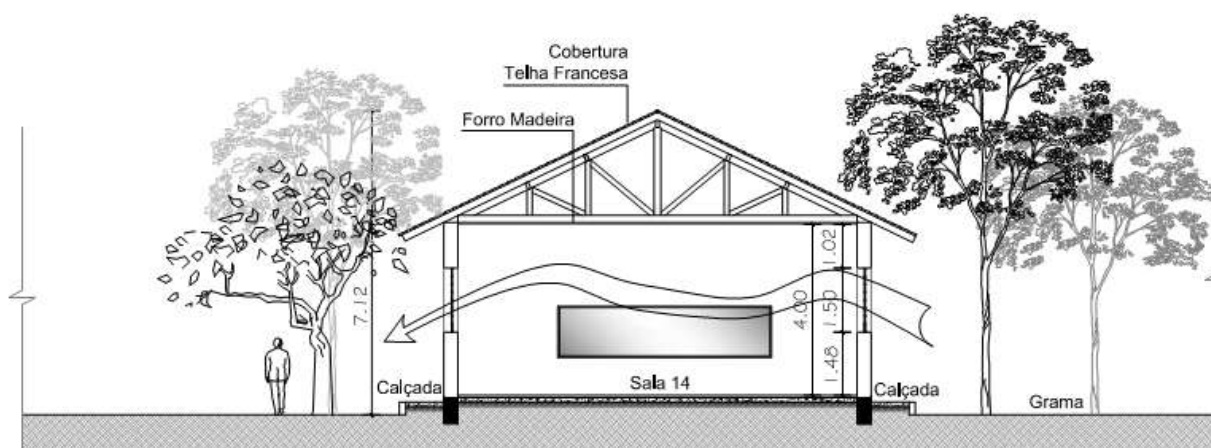


Figura 5 - Implantação do Prédio 63.

As edificações vizinhas se situam a distâncias que variam de 6,75m a 8,75m do referido prédio. Na figura 6, estão representados os cortes AA' e BB' na sala 11 e na sala 14, indicados na Implantação, onde é possível conferir as observações acima descritas.



Corte AA'



Corte BB'

Figura 6 - Cortes AA' e BB' das salas 11 e 14, indicados na implantação do Prédio 63.

No corte AA' da sala 11 é possível observar a diferença de alturas das edificações próximas a este ambiente (de 6,10 e 7,40m). Já no corte BB' da sala 14 se observa que não há edificações próximas a este local.

Também, no corte AA' da sala 11 foi representada em projeção a janela situada na fachada noroeste, presente somente nesta sala. Verifica-se que as salas do estudo apresentam ventilação cruzada, e, em frente às aberturas, há presença de vegetação com alturas variadas.

1.4.1.1.1. Levantamento Físico do Prédio 63 (1923)

Segundo Antunez (1996), na década de 20, o Prédio 63 era identificado como Pavilhão de salas de aula. Também abrigava as dependências da enfermaria e os gabinetes médico e dentário. Ao longo dos anos, a edificação foi utilizada para outras funções, mas sempre com atividades didáticas. Atualmente, os seis ambientes deste prédio abrigam o Laboratório de Informática, o Laboratório de Desenho Técnico e as Salas de Aula 11, 13, 14 e 15. A edificação possui forma retangular com dimensões externas de 41,00 x 10,00m e não tem ligação com outros prédios. O acesso das portas se dá diretamente pelo exterior. O levantamento arquitetônico do Prédio 63 pode ser observado no Apêndice A. A figura 7 mostra a Planta Baixa do Prédio 63 com a indicação das salas avaliadas.

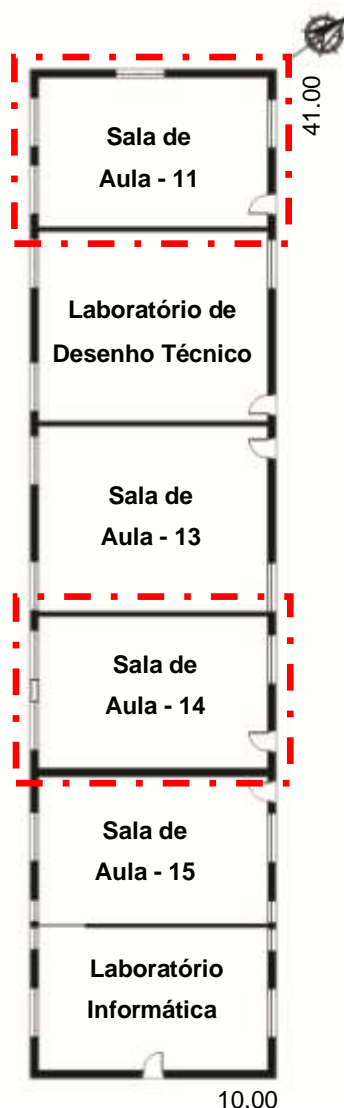


Figura 7- Planta Baixa do Prédio 63 com a indicação das salas avaliadas.

Um aspecto interessante observado nas imagens do livro de Antunes (1996), refere-se ao fato de que esta edificação, construída na década de 20, possuía suas janelas originais em madeira e as portas, bandeiras. Atualmente, no Prédio 63, as janelas são de ferro do tipo basculante e as portas não apresentam bandeira, demonstrando que houve reformas ao longo do tempo e que foram adotados elementos construtivos característicos de outras épocas. A seguir, na figura 8, são apresentadas imagens que mostram a evolução nos vãos das esquadrias, que correspondem a períodos distintos.



Figura 8 - Imagens do Prédio 63 na década de 20 e na década atual, respectivamente.

Fontes: ANTUNES (1992) e levantamento fotográfico.

1.4.1.1.2. Características Morfológicas e Construtivas – Salas de Aula 11 e 14

No Prédio 63 há quatro salas de aula, destas foram selecionadas as salas 11 e 14 como objeto das avaliações de conforto ambiental, tendo em vista que ambas possuem dimensões semelhantes, apresentando, porém, diferenças quanto a orientação solar de um dos seus vãos. Além disso, observa-se a diferença na posição das salas no referido prédio de tipologia linear, onde a sala 14 está localizada no centro do edifício e a sala 11 em uma de suas extremidades. Na figura 9, apresentam-se as plantas baixas isoladas das salas 11 e 14.

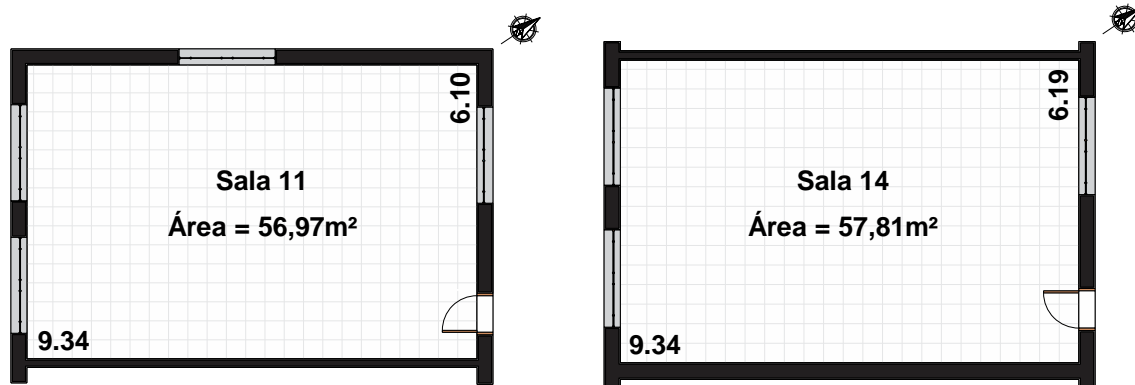


Figura 9 - Plantas Baixas das salas 11 e 14, respectivamente.

A seguir são apresentadas as imagens do interior da sala 11 e da sala 14 (Figura 10).



Figura 10 - Imagens do interior da sala 11 e da sala 14, respectivamente.

As janelas das salas 11 e 14 são em ferro e pintadas na cor marrom com sistema de abertura basculante e dimensões de 1,99 x 1,50 / 1,48m. As portas são em madeira, com dimensões de 0,80 x 2,10m pintadas na cor azul.

A tabela 2 mostra as características físicas das janelas localizadas nas salas 11 e 14 do Prédio 63. A tabela 3 apresenta as áreas das salas 11 e 14 e a área útil de ventilação proporcionada pelas janelas.

Tabela 2 - Características físicas das janelas localizadas nas salas 11 e 14 - Prédio 63.

Local das janelas	Dimensões (m) larg x alt /peitoril	Nº de janelas	Orientação solar	Área neta de vidro (m ²)	Relação área de janela/área do piso
Sala 11	1,99x1,50/1,48	4	(1 un) Nordeste (1 un) Noroeste (2 un) Sudoeste	9,88/ 85%	20,95%
Sala 14	1,99x1,50/1,48	3	(1 un) Nordeste (2 un) Sudoeste	7,41 / 85%	15,49%

Tabela 3 - Área das salas de aula 11 e 14 e área útil de ventilação.

Quadro de Áreas do Prédio 63		
Sala	Área útil ambiente	Área útil ventilação (% da área do piso)
Sala 11	56,97m ²	6,59%
Sala 14	57,81m ²	4,87%

Segundo o Código de Obras da cidade de Pelotas-RS, o total da superfície dos vãos das aberturas para o exterior, tratando-se de compartimento de permanência prolongada, não poderá ser inferior a 1/6 (um sexto), correspondendo à porcentagem 16,6%, da superfície do piso, e estas aberturas deverão possuir dispositivos que permitam a renovação de ar, de no mínimo 50% da área de janela mínima exigida. Verificou-se que as salas 11 e 14 não apresentam a área útil de ventilação mínima exigida no código de obras.

O Prédio 63 possui as paredes externas e internas em alvenaria de tijolos cerâmicos maciços de dimensões de 29x14x6cm e argamassa de assentamento de 1cm de espessura, com revestimento interno e externo em reboco de 2cm de espessura e argamassa de assentamento de 1cm de espessura. A espessura total da parede externa é de 33cm, pintada externamente na cor amarelo claro. O pé-direito em todos os ambientes é de 4,00m. A cobertura é de telhas cerâmicas do tipo francesa, com inclinação de 47% e o teto é de pinho com espessura de 1cm, pintado na cor marrom escuro. As tabelas 4 e 5 apresentam as propriedades térmicas dos materiais que compõe as paredes e a cobertura, respectivamente, do Prédio 63. Já a tabela 6 mostra as propriedades térmicas dos fechamentos do referido prédio.

Tabela 4 – Propriedades térmicas dos materiais das paredes do Prédio 63.

Componentes	Espessura (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.k))	c kJ/(kg.K)
Tijolos maciços	0,29	1600	0,90	0,92
Argamassa de assentamento	0,01	2000	1,15	1,00
Reboco	0,02	2000	1,15	1,00

Tabela 5 – Propriedades térmicas dos materiais da cobertura do Prédio 63.

Componentes	Espessura (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.k))	c kJ/(kg.K)
Telha Cerâmica	0,014	1600	0,90	0,92
Câmara de Ar	Variável	-	-	-
Forro de Pinus	0,008	500	0,15	1,34

Tabela 6 - Propriedades térmicas da envoltória do Prédio 63.

Componente	Transmitância Térmica U [W/(m ² .K)]	Capacidade Térmica CT [kJ/(m ² .K)]	Atraso Térmico ϕ (horas)	Fator Solar (%)
Alvenaria externa	2,00	462,80	9,55	2,40
Cobertura - Verão	2,04	-	0,80	5,77
Cobertura - Inverno	2,38	25,96	–	–

Para melhor compreensão e visualização do interior dos ambientes, foram elaboradas perspectivas internas das salas 11 e 14, do Prédio 63, que mostram a disposição dos mobiliários nos dias das medições e aplicação dos questionários, apresentadas nas figuras 11 e 12.



Figura 11 – Layout da Sala 11, perspectiva interna.

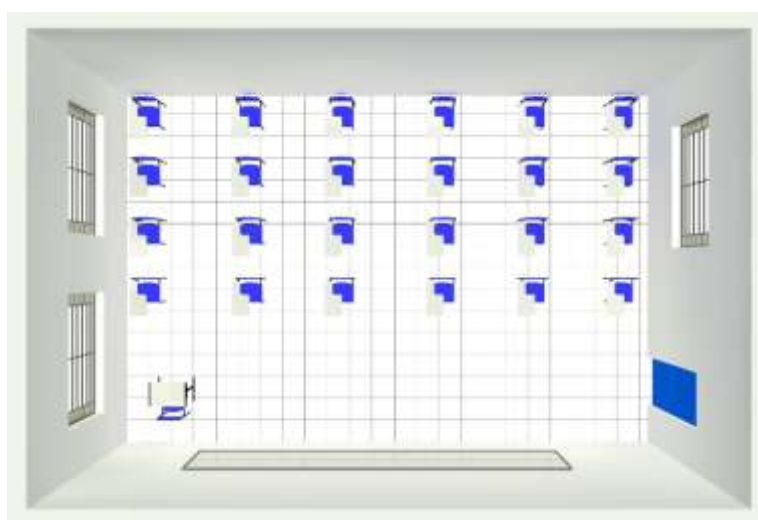


Figura 12 – Layout da sala 14, perspectiva interna.

O mobiliário que as salas 11 e 14 contem são 24 cadeiras com braço frontal, utilizadas pelos alunos, mesa e a cadeira do professor e o quadro. O assento e o encosto das cadeiras são em material estofado cobertos com tecido na cor azul, e sua estrutura é de tubo de aço pintado na cor preta. O braço da cadeira e a mesa do professor são em MDF revestidos em material melamínico na cor bege claro.

1.4.1.2 Condições Microclimáticas – Prédio 102

O Prédio 102 possui poucas construções e árvores no seu entorno. As alturas das edificações próximas ao Prédio 102 variam de 4,15 a 4,50m. O afastamento entre as edificações vizinhas, e o Prédio 102, é de cerca de 1,50m. Próximo do local em análise, verifica-se a presença de duas árvores com aproximadamente 2,60m de altura e diâmetro de copa em torno de 2,00m. No perímetro externo do Prédio 102, o tipo de cobertura do solo é de grama ou vegetação nativa e há calçadas de concreto com 1,50m de largura, sendo que seu desenho dá continuidade às calçadas das demais edificações. Na figura 13, é apresentada a implantação do Prédio 102, onde é possível observar as informações acima descritas.

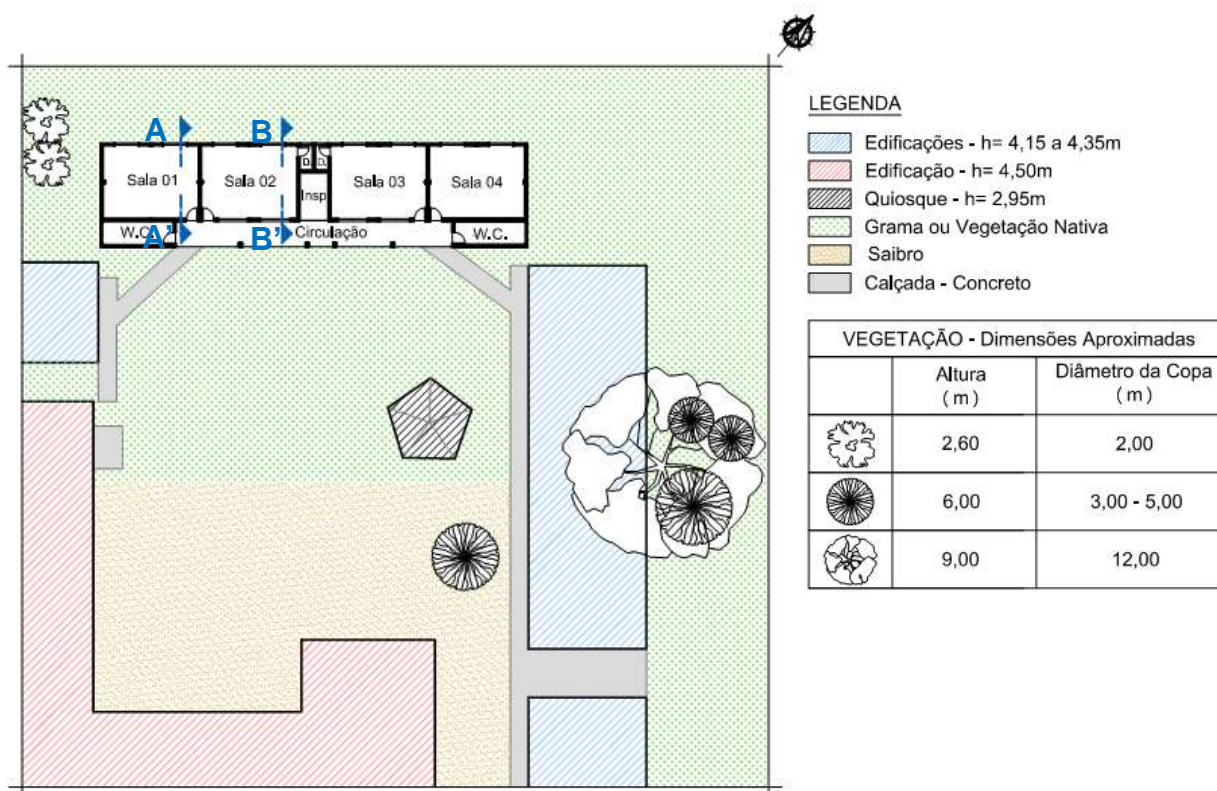


Figura 13 – Implantação do Prédio 102.

Na figura 14, estão representados os cortes AA' e BB' da sala 01 e da sala 02, indicados na Implantação.

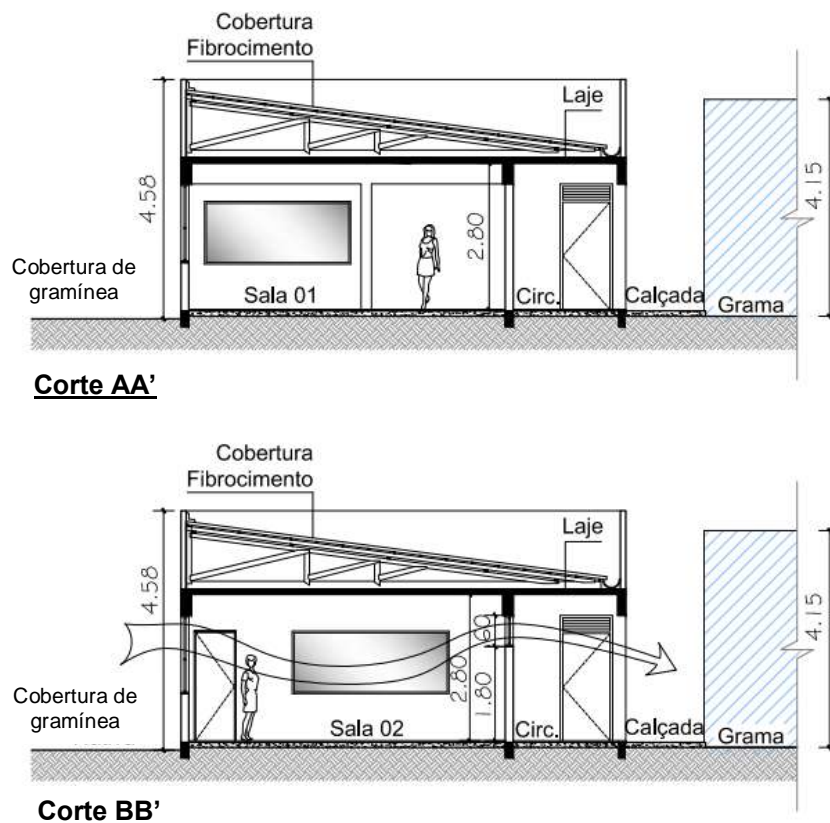


Figura 14 – Cortes AA' e BB' das salas 01 e 02, indicados na implantação do Prédio 102.

As aberturas em paredes opostas na sala 02 possibilitam a circulação de ar no interior da sala através de ventilação cruzada. Também se observa que não há presença de vegetação no entorno. Além disso, verifica-se que, em função do distanciamento, a edificação vizinha não proporciona sombreamento nas salas em estudo.

1.4.1.2.1 Levantamento Físico do Prédio 102 (2010)

O Prédio 102 foi projetado em 2008 e sua obra concluída em 2010. Não houve alteração do seu uso em relação a sua função original, porém sua estrutura tem previsão para comportar um segundo pavimento no futuro. A edificação possui formato retangular com dimensões externas de 35,00 x 8,50m, com quatro salas de

aula, dois pequenos depósitos, com acessos pelas salas de aula intermediárias do prédio, um espaço delimitado com divisória leve que é utilizado como inspetoria, banheiro feminino e masculino e área de circulação. Todos os ambientes possuem seu acesso pela área de circulação externa. O levantamento arquitetônico do Prédio 102 pode ser observado no Apêndice B. Na figura 15, pode-se observar a planta baixa do Prédio 102 com a marcação das salas selecionadas para o presente estudo de conforto ambiental.

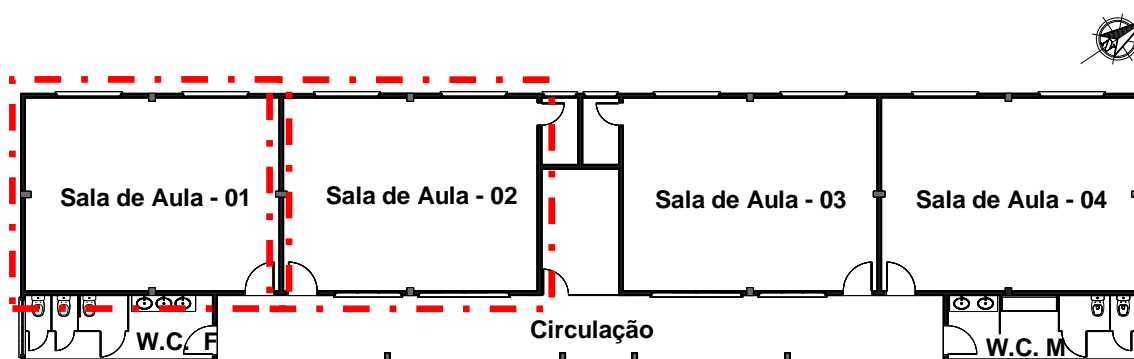


Figura 15 - Planta Baixa do Prédio 102 com a indicação das salas de aula avaliadas.

1.4.1.2.2 Características Morfológicas e Construtivas – Salas de Aula 01 e 02

Para as avaliações de conforto ambiental foram selecionadas as salas de aula 01 e 02. Primeiro, pelas diferenças verificadas entre as duas salas, enquanto a sala 01 não apresenta janelas voltadas para o corredor e possui duas paredes voltadas diretamente para o exterior, a sala 02 tem janelas voltadas para a circulação e apenas uma parede voltada inteiramente para a rua. Assim, buscando-se similaridade com os critérios adotados na escolha das salas do Prédio 63, optou-se por uma sala da extremidade da edificação e outra no centro, e ainda, na sala 02 há possibilidade de ventilação cruzada e na sala 01, não. Como outro critério de escolha, optou-se por salas ocupadas pelo maior número de alunos. A figura 16 mostra as plantas baixas isoladas das salas 01 e 02.

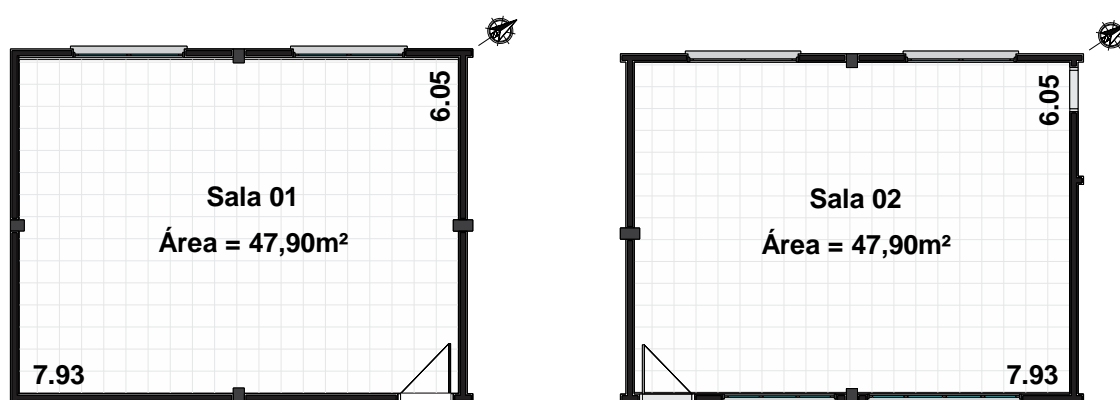


Figura 16 - Plantas baixas das salas 01 e 02, respectivamente.

A seguir, são apresentadas as imagens do interior da sala 01 e da sala 02. É importante esclarecer que, embora na figura 17, se observe a presença dos aparelhos de ar condicionado em ambas as salas, estes atualmente não funcionam e, portanto, não serão considerados neste estudo. Na figura 18, são apresentadas imagens externas do Prédio 102.



Figura 17 - Imagens do interior da sala 01 e da sala 02, respectivamente.



Figura 18 - Imagens externas do Prédio 102.

As janelas das salas de aula 01 e 02 são em alumínio e sistema de abertura maxim-ar. Na primeira sala, há apenas duas janelas com dimensões de 2,00 x 1,60 /0,90m, na fachada noroeste. Já a segunda sala, além de apresentar duas janelas idênticas às da sala 01, também possui outras duas janelas, uma com dimensões de 2,00 x 0,80 /1,56m e outra de 2,80 x 0,80 /1,56m, na fachada sudeste. Estas últimas estão voltadas para o corredor de circulação. A tabela 7 mostra as características físicas das janelas localizadas nas salas 01 e 02 do Prédio 102. Já a tabela 8 apresenta as áreas das salas 01 e 02 e a área útil de ventilação, proporcionada pelas janelas.

Tabela 7 - Características físicas das janelas localizadas nas salas 01 e 02 - Prédio 102

Local das janelas	Dimensões (m) larg x alt /peitoril	Nº de janelas	Orientação solar	Área neta de vidro (m ²) / Transmitância	Relação área de janela/área do piso
Sala 01	J1 2,00 x 1,60/0,90	2	Noroeste	4,78 / 85%	13,36%
Sala 02	J1 2,00 x 1,60/0,90	2	1 Nordeste 2 Sudeste	7,58/ 85%	21,37%
	J2 2,00 x 0,80/ 1,56	1			
	J3 2,80 x 0,80/ 1,56	1			

Tabela 8 - Área das salas de aula 01 e 02 e área útil de ventilação

Quadro de Áreas do Prédio 102		
Sala	Área útil ambiente	Área útil de ventilação (% da área do piso)
Sala 01	47,90m ²	6,68%
Sala 02	47,90m ²	14,69%

Da mesma forma que foi examinado o atendimento ou não dos requisitos do Código de Obras, de Pelotas-RS, em relação ao mínimo exigido de área útil de ventilação das salas do Prédio 63, realizou-se também a verificação para as salas do Prédio 102. Neste caso, de acordo com os dados da tabela 7, constatou-se que apenas a sala 02 apresenta área útil de ventilação mínima exigida no referido código de obras.

O Prédio 102 possui as paredes externas e internas em alvenaria de tijolos cerâmicos furados com dimensões de 18x13x9cm e argamassa de assentamento de 1cm de espessura; apresenta revestimento interno e externo em reboco com

espessura de 3cm. A espessura total das paredes é de 15cm, pintadas externamente na cor areia. O pé-direito é de 2,80m. A cobertura é de telhas em fibrocimento, inclinação de 15%, e o teto em laje com espessura de 10cm, também pintado na cor areia. As tabelas 9 e 10 apresentam as propriedades térmicas dos materiais das paredes e da cobertura, respectivamente, do Prédio 102. Já a tabela 11, mostra as propriedades térmicas da envoltória da edificação em estudo.

Tabela 9 – Propriedades térmicas dos materiais das paredes do Prédio 102 (2010).

Componentes	Espessura (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.k))	c kJ/(kg.K)
Tijolos Furados	0,09	1600	0,90	0,92
Argamassa de assentamento	0,01	2000	1,15	1,00
Reboco	0,03	2000	1,15	1,00

Tabela 10 - Propriedades térmicas dos materiais da cobertura do Prédio 102.

Componentes	Espessura (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.k))	c kJ/(kg.K)
Telha Fibrocimento	0,006	1700	0,65	0,84
Câmara de Ar	Variável	-	-	-
Laje Concreto	0,10	2200	1,75	1,00

Tabela 11 - Propriedades térmicas da envoltória do Prédio 102.

Componente	Transmitância Térmica U [W/(m ² .K)]	Capacidade Térmica CT [kJ/(m ² .K)]	Atraso Térmico ϕ (horas)	Fator Solar (%)
Alvenaria externa	2,24	185,59	3,86	2,07
Cobertura - Verão	2,05	-	5,12	5,02
Cobertura - Inverno	2,40	228,56	-	-

As figuras 19 e 20 mostram o layout das salas 01 e 02, respectivamente, em perspectiva interna. Nestas, é possível verificar que as salas 01 e 02 possuem persianas verticais na cor bege claro. Além disso, a posição e as dimensões do quadro branco apresentam diferenças em relação aos dois ambientes. No caso da sala 01, o pilar localizado no centro da parede, induziu a colocação do quadro no

lado mais próximo da janela, enquanto que na sala 02 o quadro branco encontra-se centralizado.

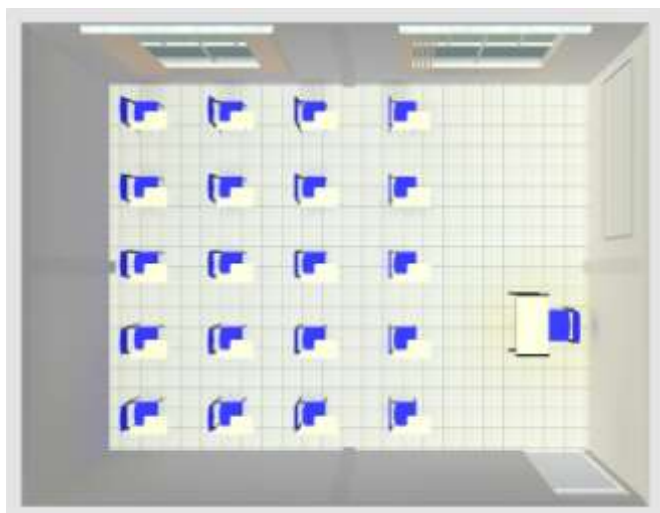


Figura 19 – Layout da sala 01, perspectiva interna.

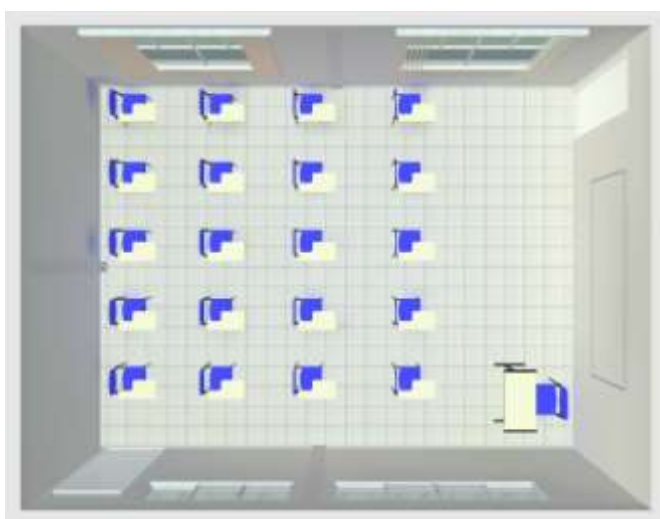


Figura 20 – Layout da sala 02, perspectiva interna.

Os demais mobiliários, presentes nas salas 01 e 02, são 20 cadeiras com braço frontal, além da mesa e da cadeira do professor. O assento e o encosto das cadeiras são em material estofado cobertos com tecido na cor azul, já a estrutura é em tubo de aço pintado na cor preta. O braço da cadeira e a base da mesa do professor são em MDF revestido em melanina na cor bege claro.

1.5 Estrutura da Pesquisa

A estrutura da pesquisa apresenta cinco capítulos.

No Capítulo I é apresentada a introdução ao tema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos, o objeto de estudo (descrição e caracterização) e ainda, a estrutura da pesquisa.

O Capítulo II compreende a revisão bibliográfica, onde é apresentado o referencial teórico e o estado atual da arte, revelando como outros pesquisadores encaram o problema do desempenho ambiental de edificações escolares.

No Capítulo III apresentam-se os materiais e métodos adotados na pesquisa. São identificados os procedimentos para avaliação da percepção dos usuários e das medições *in loco*, e o do período de coleta de dados.

O Capítulo IV compreende o desenvolvimento e os resultados. São apresentadas as características construtivas de acordo com cada aspecto de conforto em estudo, as medições *in loco* das variáveis do conforto térmico, lumínico e acústico, e a posterior comparação com os requisitos normativos. Também apresentam-se as respostas dos usuários frente às condições de conforto no interior dos ambientes segundo os três aspectos de conforto estudados. E, ainda, a comparação entre as respostas perceptivas dos usuários e dos resultados das medições *in loco*.

Por último, no Capítulo V, são expostas e discutidas as conclusões sobre a avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico, no período de inverno, das salas de aula representativas do Câmpus Pelotas Visconde da Graça, as recomendações de estratégias passivas arquitetônicas para ambientes confortáveis, as limitações da pesquisa, as recomendações para trabalhos futuros e as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evolução da Arquitetura Escolar no Brasil

Para compreender a realidade das edificações escolares da atualidade, torna-se relevante conhecer ainda que brevemente, os momentos importantes relacionados à arquitetura escolar no Brasil.

Até a primeira metade do século XIX, as escolas possuíam uma organização espacial coerente com a proposta pedagógica centrada no controle e na disciplina. Em resumo, as escolas apresentavam uma tipologia arquitetônica bastante simples, com uma forma externa bem definida, sem recortes e com uma rigorosa simetria (NASCIMENTO, 2012).

No Brasil, antes do período de desenvolvimento industrial, as escolas eram voltadas para a formação dos futuros dirigentes, refletindo na arquitetura a superioridade das elites dominantes. No final do século XIX até 1920, após a ascensão econômica da República, por meio das riquezas produzidas pela política cafeeira, que permitiu a intensificação do processo de industrialização e urbanização das cidades, alguns setores empenharam-se na defesa pela educação, e assim surgiu a sistemática de projeto escolar que assumiu os padrões já determinados e utilizados pela Europa, importando o estilo, materiais e até profissionais (FDE, 1998). No trabalho realizado por Buffa e Pinto (2002), sobre a organização do espaço e propostas pedagógicas em escolas paulistas, os autores confirmam que é possível perceber a importância conferida à educação, neste período, pela imponência dos prédios e seus detalhamentos.

A década de 20 é marcada pela valorização da escola, promovida pela sua função social e enfatizando um caráter nacionalista. A inspiração nos estilos clássicos da arquitetura europeia foi dando espaço para uma linguagem formal moldada nas tradições do passado luso-brasileiro (AZEVEDO, 2002). Desta época até 1930 começaram a surgir os primeiros ambientes de apoio ao ensino, como bibliotecas, e os destinados aos cuidados de higiene e saúde dos estudantes (VENTURA, 2003).

Nas décadas de 40 e 50, a preocupação com a forma na arquitetura moderna prevalece, e demonstra certa preocupação com os aspectos ambientais utilizando-se de elementos que favorecem o condicionamento térmico passivo, como a utilização de elementos vazados para permitir a circulação de ar (cobogós), quebra-sóis para proteção das fachadas ensolaradas, simplicidade da forma volumétrica e pilotis que favoreciam o controle da insolação e ventilação. Também, neste período, em decorrência das exigências das políticas educacionais, verifica-se o aumento da demanda por construções de novos espaços escolares, o que levou a padronização, racionalização e normatização projetiva e construtiva (AZEVEDO, 2002).

Em 1950 foram concretizadas as ideias de Anísio Teixeira, um personagem importante na história da educação no Brasil, sobre a escola classe e a escola parque, em Salvador. Enquanto na primeira os alunos teriam todo o atendimento para a educação tradicional, na segunda, seriam atendidas outras necessidades, como atividades socializantes, aulas de arte, esportes e cursos profissionalizantes. Esses conceitos inspiraram futuramente outras propostas de projeto.

Na década de 60, segundo Nascimento (2012, apud FDE, 1998, p. 25), o arquiteto Sami Bussab reconhece que foram construídas obras escolares notáveis, porém se fazia arquitetura pela arquitetura, com grandes vãos e pátios amplos, mas tudo sem sistematização. Em outras palavras, sem a preocupação de se fazer uma arquitetura realmente comprometida com a educação, a fim de proporcionar condições ambientais adequadas para o pleno desenvolvimento dos ideais pedagógicas daquele momento.

Na década de 70, com a implantação da Lei de Diretrizes e Base (1971), para o ensino de primeiro e segundo graus, como era denominado, houve a necessidade de uma nova interpretação física e espacial dos prédios e da rede de edificações escolares. Assim o programa arquitetônico teve que ser adequado para o desenvolvimento das novas atividades didáticas oriundas da reforma do ensino.

Nos anos 80, destaca-se a construção dos chamados CIEPs (Centro Integrado de Educação Pública), cujo objetivo era oferecer educação pública de qualidade e em grande escala para a população mais carente, em período integral, das 8 horas às 17 horas, os quais foram inspirados nas escolas parque de Anísio Teixeira. O projeto previa a utilização de peças pré-moldadas, proporcionando a redução de custo e tempo para a execução da obra (RIBEIRO, 1986).

Em 1987, foi criada a Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), órgão instituído no Estado de São Paulo, que cuidava, e ainda está em vigor, dos assuntos relativos à educação, dando seguimento ao trabalho realizado pela CONESP (Companhia de Construções de São Paulo). Atualmente, tem responsabilidade pela construção de novas escolas, seja por iniciativa própria ou a partir de convênios firmados com Prefeituras Municipais. Também investe em obras de ampliação e adequação das escolas já existentes, de acordo com a demanda e as necessidades apresentadas em cada região do Estado, além de disponibilizar equipamentos e mobiliários destinados à educação (FDE, 1998).

No final da década de 80 e início de 90, Ventura (2003) observa que há o aprimoramento das técnicas construtivas das edificações escolares e o surgimento de novos componentes. Também se começa a perceber a importância da adaptação dos espaços escolares para atendimento das novas demandas pedagógicas. Porém sobre essa questão, relacionada à padronização das escolas, torna-se importante destacar que a utilização de soluções padronizadas, adotadas pelo Estado e regulamentações locais, ainda está muito distante daquilo que pode ser dito como aceitável. Além disso, ainda não contemplam a diversidade de métodos de aprendizado que conseqüentemente demandam diferentes requisitos espaciais (SANOFF, 1996).

Nos anos 2000, o Ministério da Educação – MEC, através do Fundo de Fortalecimento da Escola – FUNDESCOLA, apresenta a Série de Cadernos Técnicos I (nº 4, vol. I, 2002), com o objetivo de colaborar para a melhoria qualitativa do sistema educacional apresentando informações técnicas e recomendações a respeito de projetos e espaços educativos adequados às necessidades do processo de ensino-aprendizagem.

Na atualidade, destaca-se o crescente interesse por questões relacionadas à qualidade de vida no ambiente construído, sendo principalmente abordadas na área da arquitetura. Também aponta-se a necessidade de um olhar mais atento às relações entre o usuário e o ambiente físico, a fim de contribuir para a contínua investigação pela qualidade da educação. Neste sentido, este trabalho de pesquisa também busca colaborar neste campo do conhecimento. Tendo em vista que poderá informar sobre o desempenho de diferentes sistemas construtivos frente sua adequação, térmica, lumínica e acústica.

2.2 Conforto Ambiental no Ambiente Escolar

A noção de conforto se baseia fundamentalmente em fatores físicos e psicológicos do homem. Seja conforto térmico, visual ou lumínico, acústico, funcional ou o relacionado à qualidade do ar, o conforto sempre se caracteriza como uma sensação experimentada por um indivíduo frente a um dado espaço. Essa sensação pode variar de pessoa a pessoa de acordo com o seu tipo de vida, sua atividade, sua idade, e pode ser extremamente trabalhosa e complexa a sua quantificação, quando se consideram todos os parâmetros envolvidos nessa questão. Sem dúvida, o conforto ambiental está ligado a uma resposta do indivíduo a parâmetros físicos ambientais e pessoais.

Considera-se que o conforto ambiental, enquanto disciplina e compreendendo o estudo das condições térmicas, acústicas, luminosas e energéticas e os fenômenos físicos a elas associados, deve ser encarado como um dos condicionantes da forma e da organização do espaço.

O conceito de conforto ambiental em Arquitetura está ligado à questão de proporcionar ao usuário de uma edificação, as condições básicas necessárias de habitabilidade, utilizando-se racionalmente os recursos disponíveis (FROTA, 1995). A habitabilidade, neste contexto, refere-se à capacidade do projeto ou do espaço edificado de se adequar às necessidades dos usuários. (BELL 1990 apud ORNSTEIN, et al., 1995).

A relevância do conforto ambiental em relação ao bom desempenho das atividades no espaço laboral depende em primeiro lugar, do projeto do edifício e de suas adequações às atividades dos usuários (KOWALTOWSKI, 2011). Segundo Gifford (1997), os usuários de uma nova edificação devem ser consultados durante o desenvolvimento do projeto para que a relação complexa do ambiente e do usuário seja apropriadamente ajustada às soluções do projeto.

O convívio diário dos usuários em instituições de ensino, principalmente alunos e professores, demanda a qualidade dos espaços didáticos para alcançar-se o bom desempenho escolar. Segundo Fanger (1970, p. 14), o rendimento intelectual, manual e perceptivo da pessoa é mais elevado se a mesma estiver em conforto térmico. Da mesma forma, é necessário ter-se o nível de iluminação considerado correto, sem grandes contrastes de luz que obrigue a forçar a vista, nem ofuscamento produzido por zonas de iluminação exagerada em relação ao resto do

local, nem reflexos que produzam distúrbios visuais (CORBELLA; YANNAS, 2003). Também se faz indispensável o atendimento das condições adequadas de conforto acústico, pois o ruído intenso e ininterrupto causa tensão nervosa e reduz as resistências físicas do homem, inibindo a concentração mental (FREGONESI; LOPES, 2006).

Os estudos sobre o desempenho das edificações iniciam por volta da década de 70, considerando-se principalmente, as patologias dos fechamentos e estruturas, os aspectos mais abrangentes de salubridade das edificações, o conforto ambiental, incluindo questões técnicas, de iluminação e de acústica, e ainda o dimensionamento de ambientes mínimos necessários.

O arquiteto João Filgueiras Lima – Lelé, reconhecido pelos projetos arquitetônicos de instituições de ensino, como o Centro de Atenção Integral à Criança - CIAC's, na década de 90, não deixou de se preocupar com as questões que envolvem o conforto ambiental das edificações. Sempre defendeu a importância de se criar ambientes de ensino com boas condições de conforto térmico, lumínico e acústico para que seja alcançado um bom desempenho escolar (LATORRACA, 2000).

Segundo Kowaltowski (2011), é em torno da década de 90, que se estabelecem indicadores de conforto ambiental para edificações escolares, administrada pela Fundação de Desenvolvimento para a Educação – FDE, em São Paulo, cujos requisitos mínimos ainda estão em vigor. Porém, nos últimos 30 anos, também é possível verificar a padronização da arquitetura escolar, defendida principalmente por questões econômicas, considerando a produção em massa, a redução do custo de projeto e seu tempo de elaboração. Entretanto esta proposta nem sempre atende as situações locais específicas, resultando em espaços de ensino com problemas graves de conforto. O principal aspecto ignorado nesta situação é a implantação, o que pode comprometer o desempenho ambiental tanto nos aspectos térmico e lumínico - pela desconsideração quanto a melhor orientação solar e direção dos ventos - quanto no aspecto acústico, tendo em vista que setores com necessidade de maior concentração, como salas de aula, podem ficar voltados para locais movimentados e com ruídos excessivos.

Nesta direção, Nogueira e Nogueira (2003) afirmam que são diversos os fatores ligados às características arquitetônicas e edificatórias que proporcionam um baixo rendimento na aprendizagem, tais como iluminação inadequada, ruído, cores e

excesso de calor nas salas de aula. Assim, é importante que se dê relevância a incorporação dos condicionantes térmicos, lumínicos e acústicos e sua relação com o consumo de energia da edificação, na busca pelo atendimento das condições adequadas de conforto ambiental no ambiente escolar, espaço este de trabalho, considerado também como um espaço de transformação social.

2.3 Conforto Térmico

O corpo humano possui um sistema termorregulador, onde a temperatura interna do organismo tende a permanecer constante, independentemente das condições do clima. As funções do metabolismo geram calor interno. Também há trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente externo, através de determinados processos, que podem dar-se por meio de radiação, condução, convecção, ou ainda, evaporação (GONZÁLEZ, 1997).

No sistema de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, a pele é o principal órgão termorregulador, sendo através dela que se efetua este processo. É regulada pelo fluxo sanguíneo que a percorre, quanto maior o fluxo sanguíneo, mais elevada será a sua temperatura.

O ser humano possui uma zona de respostas fisiológicas e comportamentais em função das condições a que estiver submetido e de acordo com a atividade que está desenvolvendo (LAMBERTS; XAVIER, 2002). Segundo a ASHRAE (1993), podemos dizer que o ser humano sente conforto térmico, quando o balanço de todas as trocas de calor ao qual está exposto o corpo for zero e a temperatura da pele estiver dentro de certos limites.

O conforto térmico é essencial para o desenvolvimento pleno das atividades dos usuários em qualquer atividade. Portanto, em sala de aula, espaço de aprendizagem e que requer concentração, este é um aspecto que não pode deixar de ser atendido. Situações que causam a falta de conforto, como as temperaturas extremas, a falta ou excesso de ventilação, a umidade excessiva combinada a temperaturas elevadas, a radiação térmica provocada por superfícies aquecidas, são prejudiciais e afetam psicologicamente as pessoas, levando ao estado de apatia e desinteresse para a realização das atividades o que compromete o desenvolvimento das atividades didáticas (KOWALTOWSKI, 2011).

O conforto térmico depende de variáveis ambientais, que são: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar; e ainda, das variáveis pessoais: atividade física e vestimenta (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Para Szokolay (1980), o fator mais importante para a determinação do conforto térmico é a temperatura, dentre os demais já citados. E complementa afirmando que existem outros fatores que não podem ser quantificados e que influenciam nas preferências térmicas dos indivíduos, como a idade, o sexo, a forma do corpo e as condições de saúde.

2.3.1 Índices e Zonas de Conforto Térmico

Vários estudos, em diferentes países, foram realizados para se alcançar índices de conforto térmico, a fim de se estabelecer as condições em que o indivíduo expressa a satisfação térmica com o ambiente que o envolve (GONZÁLEZ et al., 1986).

Um dos instrumentos adotados para delimitar o conforto, desenvolvido por Yaglou e Houghton, em 1923, é o índice denominado de Temperatura Efetiva, que em síntese traduz a sensação térmica. Reuniram em um único valor os efeitos da temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. A Temperatura Efetiva de conforto está compreendida entre 22,3° e 25,3°C, aproximadamente (GONZÁLEZ, 1997), e este é considerado com um índice subjetivo.

Outro índice de conforto muito utilizado por pesquisadores é o Voto Médio Estimado ou PMV (*Predicted Mean Vote*). Foi desenvolvido por Fanger, entre 1967 e 1972, em um estudo com estudantes norte-americanos e dinamarqueses de diferentes idades e sexos, com o uso de câmaras climatizadas. Este índice é representado por uma equação geral onde estão resumidos todos os processos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente e consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade do homem em relação ao frio e ao calor. O valor zero representa a situação de conforto, ou seja, a neutralidade térmica, quando o indivíduo não sente a necessidade de que o ambiente esteja nem mais frio nem mais quente. Os valores negativos representam a sensação de frio e os positivos de calor. Depois juntamente com outro autor, Rohles, desenvolveu o conceito de

Percentual de Pessoas Insatisfeitas ou PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), (FANGER, 1972).

Os valores representados na escala, conforme o exemplo na figura 21, correspondem a uma correlação do percentual de pessoas insatisfeitas (PPD), para cada combinação dos sete níveis de satisfação ou insatisfação (PPV).

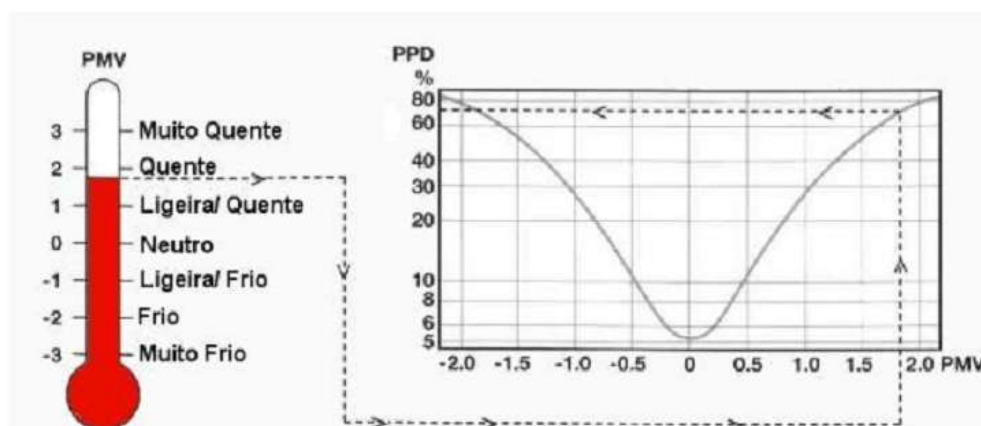


Figura 21 - Gráfico PMV X PPD

Fonte: MORELLO, 2005, p.34.

Em 1963, o pesquisador Olgay desenvolveu um diagrama bioclimático que relaciona de forma gráfica as variáveis ambientais e o conforto. É possível localizar sobre a carta qualquer condição climática, quando se conta com os dados de temperatura e umidade. Na região central deste gráfico, encontra-se a zona de conforto. Caso os dados fiquem fora desta área, tornam-se necessárias medidas corretivas. Segundo Frota e Schiffer (2003), quando os pontos estiverem acima da zona de conforto, Olgay propõe a ventilação como estratégia, e abaixo da mesma, recomenda o aquecimento dos ambientes por radiação solar. As temperaturas máxima e mínima são obtidas somando $2,78^{\circ}$ à temperatura média da região que está sendo avaliada, considerando as umidades relativas, máxima e mínima 80% e 20%, respectivamente (GONZÁLES, 1997).

Posteriormente, em 1969, Givoni desenvolveu uma carta bioclimática com a intenção de corrigir algumas limitações do diagrama de Olgay. Segundo Givoni (1992), Olgay baseia-se somente nas condições externas, enquanto que os cálculos de Givoni consideram as temperaturas internas da edificação. A Carta de Givoni propõe estratégias construtivas para adequação da arquitetura, o que possibilita orientações sobre a estratégia bioclimática a ser utilizada no projeto de

edificações. Com os dados de temperatura externa e umidade relativa, considerando os principais períodos climáticos da região em estudo, é possível conhecer estratégias para nove zonas de atuação, que respectivamente são: zona de conforto, zona de ventilação, zona de resfriamento evaporativo, zona de massa térmica para resfriamento, zona de ar condicionado, zona de umidificação, zona de massa térmica para aquecimento, zona de aquecimento solar passivo e zona de aquecimento artificial (LAMBERTS et al., 1997).

Mais tarde, Givoni sugeriu uma expansão dos limites máximos de conforto para países em desenvolvimento, por considerar que as pessoas que moram nestas condições, e sob o efeito de clima quente e úmido, suportam condições de temperatura e umidade superiores. Assim a Carta de Givoni passa a apresentar limites para países desenvolvidos, de clima temperado, e limites para países em desenvolvimento, de clima quente e úmido. Para o Brasil, estudos sobre várias metodologias bioclimáticas (GOULART et al., 1994), revelaram que o trabalho de Givoni de 1992, para países em desenvolvimento, é o mais adequado às condições brasileiras, figura 22 (LAMBERTS et al., 1997).

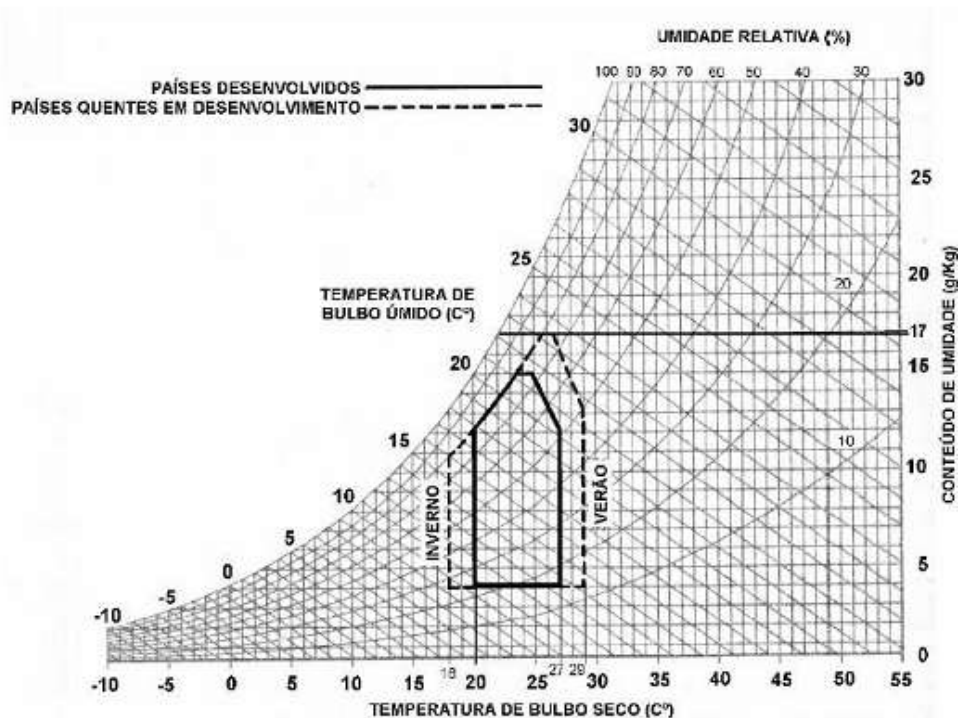


Figura 22 - Carta Bioclimática de Givoni – 1992

Fonte: CURCIO, 2011, p.35.

Segundo os estudos de Givoni, os limites de conforto no interior das edificações varia entre 18° e 29° C. Para os países desenvolvidos esse limite fica estabelecido entre 18° e 25°C no inverno, e 20° e 27°C no verão, levando em conta que a temperatura máxima é aceita em condições de baixa umidade (inferior ao conteúdo de vapor de 10 a 12 g/kg). Para altas umidades, o limite final de temperatura decresce progressivamente, com o limite máximo de umidade absoluta de 15 g/kg. Já para os países em desenvolvimento, elevou em 2° C o limite superior de temperatura, alterando-a para 27°C, no inverno e 29°C no verão, com situação de umidade relativa inferior a 50% e velocidade do ar de 2m/s. O autor também afirma que em edificações não condicionadas e naturalmente ventiladas, os seus usuários aceitam usualmente uma variação maior de temperatura (MORELLO, 2005).

A NBR 15 220 (ABNT, 2005c) – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 03 - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social adotou como método para a classificação bioclimática, o proposto por Givoni (1992), do qual adaptaram uma carta bioclimática a partir da sugerida pelo autor.

Assim, são numerosos os autores que determinaram zonas de conforto térmico, entre tantos, os acima expostos. Quando se comparam as diferentes zonas de conforto térmico propostas por esses autores, se observa que:

- em geral, os limites inferiores de temperatura de bulbo seco variam entre 21 e 23,5 °C e os limites superiores entre 26 e 29,5 °C;
- com relação à umidade relativa, aparecem variações entre 20 e 30% como limites inferiores com valores de 4 e 7 mmhg de pressão de vapor e como limites superiores, valores entre 60 e 80% de umidade relativa e 14 e 17 mmhg de pressão de vapor.

Outro aspecto importante nesta questão é a observação de que sobrepondo-se todas as zonas de conforto propostas por diferentes autores, se encontra o mesmo ponto central a 25 °C de temperatura de bulbo seco e 55% de umidade relativa, cujos valores são muito aproximados aos valores recomendados pelo estudo feito por ASHRAE e o Instituto de Pesquisa Ambiental da Universidade do Estado de Kansas, nos Estados Unidos, valores esses de 24,5°C de temperatura de bulbo seco e entre 20 e 60% de umidade relativa (GONZÁLEZ, 1997).

Parece ser que as condições de conforto térmico não variam muito para a maioria dos indivíduos, nem de um autor para outro, nem de um lugar para o outro. As diferenças nas condições que se percebe como de conforto parecem apresentar relação direta com a idade, o sexo e a aclimação do indivíduo (GONZÁLEZ, 1986).

Visto a particularidade e as condições individuais como determinantes da sensação de conforto térmico, nada mais adequado, no caso das avaliações de condições térmicas ambientais, que se introduza a opinião do usuário do ambiente em análise como metodologia a ser alcançada neste estudo.

2.3.2 Normatização

2.3.2.1 ASHRAE

A norma internacional ASHRAE Standard 55-2004 - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers trabalha com a situação de edificações naturalmente ventiladas, conhecido também como o Modelo Adaptativo. Os modelos adaptativos surgiram com base em estudos que revelaram a tendência natural de adaptação dos usuários às mudanças climáticas no ambiente, ou seja, se ocorre uma alteração que produza desconforto, as pessoas reagem de modo a restaurar o conforto (NICOL; HUMPHREYS, 2004). Considerando ainda, que quando o ser humano tem a opção de modificar as condições do ambiente, por meio de dispositivos de controle, certamente buscará compensar as condições térmicas menos confortáveis (FERIARDI; WONG, 2004). Assim a questão da adaptabilidade foi introduzida considerando uma faixa de conforto térmico que relaciona a temperatura média do ar externo com um intervalo de temperatura operativa interna, onde o usuário também se encontra em conforto de acordo com as possibilidades de adaptação ou aceitabilidade dos usuários às condições do estresse térmico.

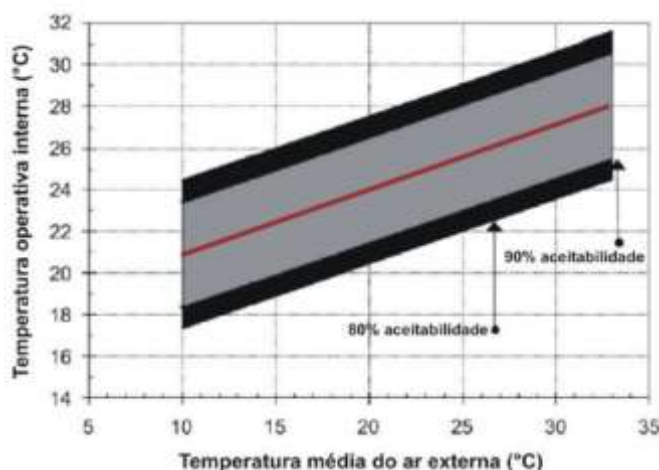


Figura 23 - Gráfico Conforto Adaptativo proposto pela ASHRAE Standart 55-2004

Fonte: adaptado da ASHRAE, 2004.

A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, onde um indivíduo trocaria a mesma quantidade de calor por convecção e radiação que em um ambiente não uniforme real. O cálculo da temperatura operativa representa o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média (ABNT, 2008).

De acordo com De Dear et al. (1997) três mecanismos de adaptação são utilizados pelo corpo humano para defender-se dos efeitos do clima: ajustes comportamentais, ajustes fisiológicos e os ajustes psicológicos. O primeiro corresponde às modificações conscientes ou inconscientes das pessoas, também conhecidos como os ajustes pessoais (roupa, atividade, postura), ajustes tecnológicos ou ambientais (abrir ou fechar janelas, ligar ventiladores, proteger os olhos com óculos escuros) e os ajustes culturais. Os fisiológicos são aqueles que incluem todas as mudanças nas respostas fisiológicas das pessoas resultantes da exposição a fatores ambientais e térmicos, acarretando a uma diminuição gradual na tensão criada por tal exposição. Por último, os ajustes psicológicos referem-se às percepções e reações das informações sensoriais, onde a percepção térmica é diretamente atenuada por sensações e expectativas ao clima interno.

Para a adoção do modelo adaptativo, os ambientes devem obedecer aos seguintes requisitos da ASHRAE 55 (2004):

- Os espaços devem estar equipados com janelas operáveis que se abrem para o exterior;
- as condições térmicas dos ambientes devem ser reguladas principalmente pelos ocupantes através da abertura e fechamento das janelas;
- a reação térmica dos ocupantes deve depender em parte, do clima externo;
- atividade física próxima a sedentária – 1.0 met a 1.3 met;
- os ocupantes podem livremente adaptar a sua vestimenta às condições térmicas internas e externas;
- limites de umidade e velocidade do ar não são necessárias.

Segundo a ASHRAE Handbook Fundamentals (2009), para 90% de aceitabilidade da situação de conforto, considera-se uma variação de + 2,5 e - 2,2 °C em relação à temperatura operativa de conforto, podendo esta ser obtida através da equação 1:

$$t_{oc} = 18,9 + 0,255 t_{ex} \quad (1)$$

onde:

t_{oc} = temperatura operativa de conforto

t_{ex} = temperatura externa

2.3.2.2 ISO 7730

Outra norma internacional é a ISO 7730 - *International Organization for Standardization - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort* recomendada para edificações que utilizam o condicionamento ativo e com condições de conforto estáticas. Faz uso do PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) para estimar a sensação de conforto térmico. Segundo Nicol (2004), pelo fato de não atender os princípios adaptativos não representa a melhor solução para avaliação do nível de conforto, pois estaria negligenciando temperaturas em que as pessoas estariam em conforto.

A ISO 7730 utiliza o PMV e o PPD, desenvolvido por Fanger, nos seus parâmetros de conforto e recomenda que locais onde há ocupação humana, termicamente moderados, o PPD deve ser inferior a 10%, correspondendo a um

intervalo de PMV de -0,5 a +0,5, onde a pessoa pode estar submetida a neutralidade, conforme mostrado anteriormente na figura 21 (MORELLO, 2005).

2.3.2.3 NBR 15.220

Dentre as normas brasileiras, torna-se relevante citar a NBR 15.220 (ABNT, 2005c) – Desempenho Térmico de Edificações, que é constituída de cinco partes e apresenta na Parte 3, o zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o Brasil em oito zonas, conforme figura 24. Para cada zona bioclimática são apresentadas estratégias de condicionamento passivo e diretrizes construtivas, que tratam das vedações externas, ou seja, paredes e cobertura, estabelecendo valores admissíveis para: Transmitância Térmica (U), Atraso Térmico (ϕ) e Fator Solar (FS), assim como os procedimentos de cálculo destas propriedades. Também utiliza-se da Carta Bioclimática sugerida por Givoni (1992).

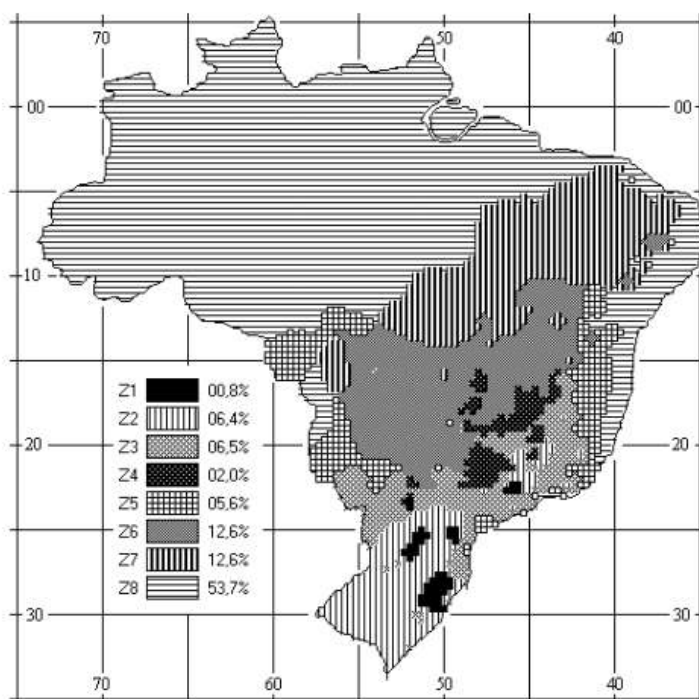


Figura 24 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: NBR 15.220, 2004.

No caso em estudo, Pelotas/RS, encontra-se na Zona Bioclimática 2, e as recomendações da norma para esta cidade podem ser observadas na tabela 12.

Tabela 12 – Resumo das recomendações para a Zona Bioclimática 2.

Zona Bioclimática 2		
Aberturas	Aberturas para ventilação Médias	15% < A < 25% A (% área do piso)
	Sombreamento	Permitir sol durante o inverno
Vedação Externa Paredes Leves	U – W/m ² .k	≤ 3,0
	φ - horas	≤ 4,3
	FS - %	≤ 5,0
Vedação Externa Cobertura Leve Isolada	U – W/m ² .k	≤ 2,0
	φ - horas	≤ 3,3
	FS - %	≤ 6,5
Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo	Verão	Ventilação cruzada
	Inverno	Aquecimento solar da edificação
	Nota: o condicionamento passivo será insuficiente no período mais frio do ano	Vedações internas pesadas (inércia térmica)

2.3.2.4 NBR 15.575

A norma brasileira 15.575 (ABNT, 2013b) – Edificações habitacionais – Desempenho, contém 6 partes, cujo foco está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto a sua atuação em uso e não na determinação de como os sistemas são edificados. Esta norma faz referência a NBR 15.220 – Parte 3, sobre o zoneamento bioclimático brasileiro e as estratégias de condicionamento térmico passivo. Também estabelece um procedimento normativo dividido em dois procedimentos: procedimento 1, dito simplificado (normativo), que prevê a verificação do atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de coberturas e vedações, estabelecidos nas Partes 4 e 5, desta norma; e o procedimento 2, que refere-se às medições *in loco*, trata da verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na Parte 1 desta norma, por meio de medições em edificações ou em protótipos em tamanho real, além da possibilidade de uso da simulação computacional para avaliação do desempenho térmico.

O anexo A da norma brasileira 15.575, Parte 1, (ABNT, 2013b) apresenta recomendações sobre o período de medição e estabelece que o dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de verão ou de inverno; no mínimo, um dia com características semelhantes a esse dia. A própria norma estabelece o dia típico de projeto para algumas regiões, e caso a cidade avaliada não conste na lista, deve-se adotar o dia típico da cidade mais próxima. Indica, como regra geral, que deve-se trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. O dia típico de projeto, para efeito da avaliação por medição, é representado apenas pelos valores de temperatura externa. Os equipamentos utilizados nas medições devem seguir os procedimentos da ISO 7726 - Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities (ISO,1996).

As recomendações sobre os níveis mínimos de desempenho térmico, por meio de medições, para as zonas bioclimáticas brasileiras, estão presentes na Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), e na Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas, considerando o método simplificado. As considerações para a zona bioclimática 2, podem ser observadas na tabela 13.

Tabela 13 - Resumo dos Critérios para avaliação de desempenho térmico mínimo de paredes externas e cobertura, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013b).

Zona Bioclimática 2 – Desempenho Mínimo		
Requisitos	Critérios	
Fachadas e paredes		
Adequação de paredes externas	U – W/m².k	≤ 2,5
	CT – kJ/ m².K	≥ 130
Aberturas para a ventilação	Áreas mínimas de aberturas para ventilação A (% da área do piso)	Aberturas médias A ≥ 7% da área do piso
Coberturas		
Isolação térmica	U – W/m².k	≤ 2,30
U – Transmitância Térmica; CT – Capacidade Térmica; α – Coeficiente de Absorção – Não especifica.		

2.3.3 Zonas de Conforto Térmico – Comparação das Metodologias

Com base nos diversos estudos aqui referenciados foi possível elaborar a tabela 14, que apresenta a comparação das metodologias disponíveis para a determinação de zonas de conforto térmico, calculadas para a região de Pelotas.

Tabela 14 - Comparação das metodologias disponíveis para a determinação das zonas de conforto.

Índice - conforto	Tmin - °C	Tmax - °C	Observações
Temperatura Efetiva	22,3	25,3	-
Fanger	-	-	PMV = - 0,5 PMV = + 0,5 PPD = 10%

Zonas de conforto	T - °C	T - °C	Observações
Olgay	20,2 – 25,8 (UR: 20 – 50%)	19,6 – 24,7 (UR: 50 – 80%)	-
Givoni	18,0 – 25,0 (P. Des.) 18,0 – 27,0 (P. Em Des.) Inverno	20,0 – 27,0 (P. Des.) 20,0 – 29,0 (P. Em Des.) Verão	UR < 50% e Var=2m/s (Em Des.)

Normas	Inverno	Verão	-
ASHRAE	20,0 – 24,7	22,5 – 27,2	-
NBR 15.575	T _{imax} ≤ (T _{emax} – 2°C)	T _{imin} ≤ (T _{emin} + 5°C)	Nível (I)

P. Des. = Países Desenvolvidos

P. Em Des. = Países em Desenvolvimento

Temperatura Média Externa: Inverno = 13,2°C; Verão = 22,9°C.

Dados da Estação Agroclimatológica: Capão do Leão – RS (EMBRAPA). Ver Anexo A.

A tabela acima evidencia que há uma pequena variação entre os limites de temperatura de conforto encontrados.

2.4 Conforto Lumínico

O conforto lumínico é alcançado quando o indivíduo apresenta boa capacidade visual, quando o nível de iluminação necessário à tarefa é adequado, quando o contraste é controlado, no sentido de permitir a visão sem forçar a vista, quando não há ofuscamento produzido por zonas de iluminação excessivas em relação ao nível de iluminação geral do local, nem reflexos que produzam distúrbios visuais. Um ambiente luminoso adequado é aquele que satisfaz as necessidades de informações visuais dos seus usuários (CORBELLA; YANNAS, 2003). Segundo Lima (2010), o olho humano se adapta a situações extremas de luz, numa proporção

de 100.000 para 1, desde a luz do sol até quantidades mínimas de luz, por exemplo, a luz de uma noite de lua cheia. A tabela 15 apresenta exemplos de iluminância produzidas por diversas fontes.

Tabela 15 - Exemplos de iluminância.

Descrição	Nível de Iluminância (lux)
Céu descoberto (verão)	100.000
Céu encoberto (verão e inverno)	20.000
Plano de trabalho em recinto bem iluminado	1.000
Iluminação Pública - Vias	20 a 40
Noite de lua cheia	0.25

Assim, as condições necessárias para que os usuários possam realizar suas tarefas visuais com o máximo de precisão visual e com o menor esforço, segundo Lamberts et al. (2007), depende de alguns requisitos, que são: a iluminância suficiente, a uniformidade da iluminação, a ausência de ofuscamento e a modelagem dos objetos.

O primeiro requisito, a iluminância, representa o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, situada a uma determinada distância da fonte, por unidade de área. Na prática, ela representa a quantidade de luz dentro de um ambiente e pode ser medida com auxílio de equipamentos adequados.

Já com relação à uniformidade da iluminação ou a distribuição espacial da luz de um ambiente de trabalho, recomenda-se que não deve apresentar zonas com diferenças muito acentuadas de nível de iluminação.

Outro fator importante é a ausência do ofuscamento, identificado como a sensação produzida pela luminância no campo visual quando esta é suficientemente maior que a luminância a qual os olhos estão adaptados, podendo causar incômodo, desconforto, ou perda no desempenho visual e visibilidade.

Por último, a modelagem dos objetos, ou seja, a sensação da tridimensionalidade é percebida quando se trabalha com sombras, que são importantes para definir a forma e a posição dos objetos.

Além das condições ideais de iluminação, hoje dá-se a preferência pelo uso da iluminação natural, por seus benefícios à saúde dos usuários e pela economia frente ao uso da iluminação artificial. Segundo Lamberts et al. (1997), é possível conferir aos ambientes a quantidade de luz natural necessária para o

desenvolvimento das atividades, diminuindo o uso da iluminação artificial, por meio de um projeto eficiente.

Nos estudos de Bertolotti (2007), o autor cita entre outros, o manual da Lesna (2000) que recomenda a iluminação natural em escolas, mas não especifica os níveis mínimos de iluminação para aplicações específicas e tarefas visuais. Em ambientes de aprendizagem, cada tarefa exige um determinado nível de iluminância, e geralmente adota-se o nível necessário para a leitura de um texto escrito a lápis. Também apresenta informações sobre a refletância, onde recomenda que as paredes próximas às janelas devam apresentar alto nível de refletância a fim de se evitar o contraste com as janelas, pois pode ocasionar ofuscamento, que pode ser evitado impedindo-se a incidência direta de radiação solar sobre as superfícies das tarefas a serem desenvolvidas, usando-se como proteção, cortinas, por exemplo. Já os tetos devem ser preferencialmente da cor branca para refletir a luz para as superfícies horizontais. E os pisos precisam ser de material opaco com refletância próximo de 30%.

Em estudo recente, Kowaltowski (2011) revelou os principais problemas em ambientes escolares com baixos níveis de iluminação. Observou que muitas salas apresentaram ofuscamento na lousa, em quase todos os horários; problemas de insolação e alto nível de claridade nas áreas da sala de aula que estão próximas às janelas. Também constatou que o ofuscamento do quadro, apresenta como melhor solução o uso de dispositivos de proteção externos às janelas, como o plantio de árvores, toldos de material claro, ou ainda, brise-soleil móvel na parte externa de aberturas envidraçadas.

Por último, reafirmando a importância do conforto lumínico, Alvarez (1995) diz que as atividades de sala de aula exigem a percepção visual adequada, estando relacionada diretamente a quantidade de luz suficiente e de qualidade. Freire (1996) complementa que para o atendimento do nível de iluminação adequado em sala de aula, é necessário que o ambiente seja iluminado de forma uniforme, quer dizer, sem reflexos indesejáveis e contrastes excessivos, e ainda, não apresentar ofuscamento. É com base nestes requisitos que estão sendo desenvolvidos os estudos que tratam de conforto lumínico, e, portanto, serão tratados nesta pesquisa.

2.4.1 Normatização

2.4.1.1 NBR ISO/CIE 8995

A norma ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior (ABNT, 2013a), especifica as condições de iluminância para diversos ambientes e situações de trabalho, de modo a garantir o conforto e o adequado desempenho visual dos usuários. Dispõe sobre os valores de iluminância recomendadas para a área de tarefa e para o seu entorno imediato. Tal iluminância corresponde a iluminância mantida (\bar{E}_m) que equivale ao valor limite da iluminância média da superfície especificada. De acordo com essa norma, a área de tarefa corresponde à área parcial em um local de trabalho onde a tarefa está sendo realizada. Já o entorno imediato é considerada a área mínima de 0,5m de largura ao redor de uma área de trabalho.

Sobre a luz natural, informa que esta pode fornecer parte ou toda a iluminação para a execução das tarefas visuais. Também recomenda o uso de dispositivos de controle da luz do sol, como persianas e brises, na medida em que a incidência solar direta sobre a superfície de trabalho ou sobre o campo de visão pode prejudicar os usuários dos ambientes. Além disso, indica que o fator de luz natural no interior dos ambientes, não deve ser inferior a 1% no plano de trabalho a 3m da parede da janela e a 1m das paredes laterais, principalmente porque ocorre a diminuição gradativa da luz natural conforme o distanciamento da esquadria no interior dos ambientes com janelas laterais.

Para as construções educacionais, considerando-se uma sala de aula com arranjo flexível das mesas de estudo, a área de trabalho equivale à área do ambiente com uma faixa marginal de 0,5m de largura. Nesta condição, recomenda a iluminância mantida (\bar{E}_m) de 300 lux para as áreas de tarefas, no caso de escolas primárias e secundárias, e de 500 lux para aulas noturnas e educação de adultos. Já para o entorno imediato, estabelece que a iluminância não deva ser inferior a 200 lux.

A norma ISO/CIE 8995 também estabelece a uniformidade da iluminância, que corresponde à razão entre o valor mínimo e o valor médio, ressaltando que a tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível. Recomenda que na área da tarefa, esta não pode ser inferior a 0,7, enquanto que a uniformidade da iluminância no entorno imediato não pode ser menor que 0,5.

2.4.1.2 NBR 15.215

A NBR 15.215-3 - Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de Cálculo para a Determinação da Iluminação Natural em Ambientes Internos (ABNT, 2005a), utiliza como referência o conceito de *Daylight Factor* (DF), recomendada pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação). De acordo com essa norma os dados medidos pelo Luxímetro, fornecidos em lux, podem ser apresentados em CIN (Contribuição de Iluminação Natural). O CIN corresponde à relação entre a iluminação natural num determinado ponto num plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminação simultânea num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa como uma percentagem. O CIN aplica-se a qualquer condição de céu, inclusive não uniforme e sua fórmula é dada pela equação 2.

$$CIN = \frac{E_p}{E_{Hext}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Onde:

CIN = Coeficiente de contribuição de luz natural (%)

E_p = Nível de iluminância disponível em um ponto P sobre uma superfície horizontal no interior da edificação (lux)

E_{Hext} = é o nível de iluminância disponível sobre uma superfície horizontal no exterior livre de qualquer obstrução (lux)

Neste estudo, para a avaliação do coeficiente de contribuição de iluminação natural (CIN), serão considerados como satisfatórios os valores entre 2% e 5%. Estes valores estão previstos em normativas internacionais, dentre elas, a norma argentina IRAM AADL j 20-02 – *Iluminación natural em edificios. Condiciones generales y requisitos especiales* (IRAM, 1967).

A medição do CIN é realizada em função da quantidade de pontos que devem ser avaliados em cada sala, cujo cálculo é dado pela equação 3, com a ressalva de que os pontos devem estar distantes no mínimo 0,50m da parede.

$$K = C.L / Hm . (C+L) \quad (3)$$

Onde:

K = Quantidade mínima de pontos

C = Comprimento do ambiente em metros (m)

L = Largura do ambiente em metros (m)

Hm = é a distância vertical em metros entre a superfície de trabalho e o topo da janela, em metros (m), este valor é retirado da tabela presente nesta norma.

A NBR 15.215-4 - Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição (ABNT, 2005b), indica métodos para a verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos. Remenda o uso do equipamento Luxímetro para a verificação dos níveis de iluminância no interior dos recintos, podendo ser avaliados em ambientes reais ou em modelos físicos em escala reduzida.

Esta norma também recomenda que quando não há possibilidade de realização dos levantamentos no local a ser avaliado ao longo do ano, estes devem ocorrer em períodos representativos do ano, sugerindo dias próximo do solstício de inverno e do solstício de verão.

2.4.1.3 NBR 15.575

Em relação à iluminação natural, a NBR 15.575 (ABNT, 2013b) também estabelece os níveis de iluminância mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) requeridos nas habitações. Os valores devem ser igual ou maiores que 60 lux (Mínimo), 90 lux (Intermediário) e 120 lux (Superior) para os ambientes: sala de estar, dormitório, copa/ cozinha e área de serviço. Da mesma forma, informa sobre os níveis exigidos de Fator de Luz Diurna (FLD) para as dependências já citadas. Os valores do FDL devem ser igual ou maiores que 0,5% (Mínimo), 0,65% (Intermediário) e 0,75% (Superior).

2.5 Conforto Acústico

Segundo Fregonesi e Lopes (2006, p. 03), em termos técnicos, o ruído é um tipo de energia secundária proveniente de processos ou atividades e que se propaga no ambiente em forma de ondas, desde o ponto produtor até o receptor a uma

determinada velocidade e diminuindo sua intensidade com a distância e o meio físico. De acordo com os autores, o ruído intenso e ininterrupto causa tensão nervosa e reduz as resistências físicas do homem, inibindo a concentração mental, ratificando a importância do atendimento do conforto acústico nos ambientes.

O projeto acústico deve prever o isolamento e a absorção acústica. O primeiro refere-se à capacidade de certos materiais formarem uma barreira, impedindo que a onda sonora ou ruído passe de um ambiente para outro. Já a absorção acústica trata do fenômeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras num mesmo ambiente, diminuindo o nível de reverberação. Nesse caso, deseja-se, além de diminuir os níveis de pressão sonora, melhorar o nível de inteligibilidade, que pode ser definida como a porcentagem de sons que um ouvinte consegue entender no ambiente.

O primeiro passo na elaboração do projeto acústico é a definição da função do ambiente a ser avaliado. Cada recinto, de acordo com sua utilização, requer valores adequados de níveis de pressão sonora e de reverberação para permitir o conforto acústico e/ou eliminar as condições nocivas à saúde. Níveis de pressão sonora muito baixos podem tornar o recinto monótono e cansativo, induzindo as pessoas às condições de inatividade e sonolência (SILVA, 2002).

Para compreendermos o bom desempenho acústico dos espaços, torna-se necessário entender como se dá a propagação do som em recintos fechados. O som pode ser refletido, absorvido ou transmitido em proporções que dependem da dimensão, da forma e do material dessa superfície onde incide. Quando a onda sonora se distribui em todas as direções, por todo o ambiente, com igual energia, diz-se que a sala tem boa difusão. Assim as superfícies de tetos, pisos, paredes, além de objetos e móveis, são responsáveis pela forma como o som se difunde, influenciando na uniformidade do campo sonoro.

A permanência do som no ambiente como consequência de sucessivas reflexões é o som reverberante. Deste modo, a reverberação é, portanto, o resultado de reflexões ocorridas uma ou mais vezes no ambiente. Já o tempo decorrido para que um som deixe de ser percebido, depois de cessada a emissão da fonte, chama-se tempo de reverberação, e é uma das principais características para o desempenho acústico de uma sala. Ele depende não somente da frequência sonora, mas também do volume da sala e da absorção total do ambiente. O tempo de

reverberação corresponde ao tempo que o som leva para sofrer uma queda de 60 dB depois de cessada a fonte.

Certamente, as características de uma sala, seja sua forma, volume, características de absorção de seus revestimentos e materiais que a constituem, influenciam enormemente sobre a qualidade do som, assim como sobre sua intensidade. A boa difusão de uma sala é alcançada não só pela forma irregular e difusora das superfícies, mas também pela aplicação balanceada dos materiais de construção e revestimentos, e como cada material apresenta capacidade própria de absorção sonora, sua distribuição influi na reverberação de uma sala. Quanto maior a quantidade de material absorvente, menor o tempo de reverberação ou quanto menor a capacidade de absorção sonora dos materiais de um ambiente, maior o tempo de reverberação dessa sala. O tempo de reverberação pode ser calculado através da fórmula empírica de Sabine (CARVALHO, 2010), equação 4:

$$T = 0,161 \cdot V / AT \quad (4)$$

Onde:

T = Tempo de Reverberação (s)

V = Volume do recinto (m³)

AT = Absorção total do recinto em Sabine metro (Sm)

$$AT = \sum S1.\alpha1 \quad (5)$$

A equação 5 corresponde ao somatório de todas e cada uma das superfícies que se encontram no ambiente (S1) multiplicada pelo coeficiente de absorção ($\alpha1$) do material que compõe cada uma das superfícies.

Para o condicionamento acústico adequado de um ambiente, como uma sala de aula, por exemplo, deve-se conhecer o Tempo de Reverberação Ótimo que é apresentado na bibliografia, usualmente em ábacos e gráficos, como o apresentado na figura 25, e que é função do tipo de atividade ou da natureza da sala e do volume do ambiente em questão.

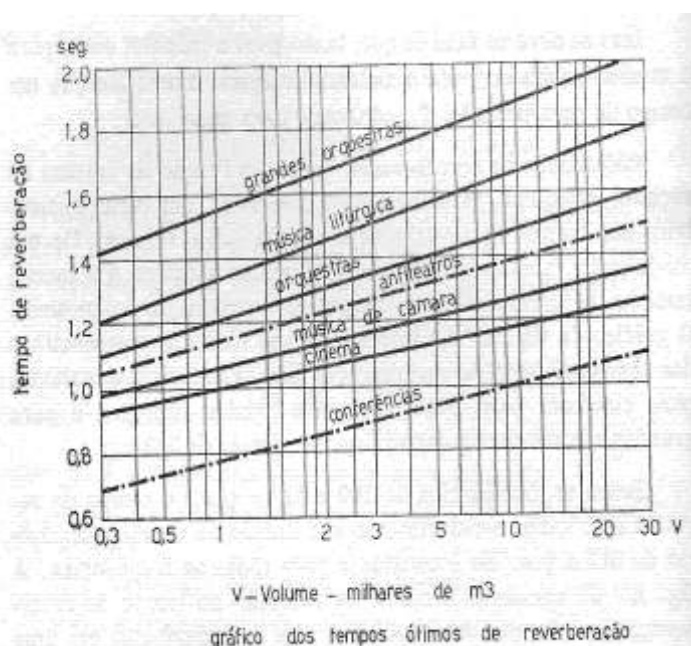


Figura 25 - Gráfico Tempo Ótimo de Reverberação.

Fonte: CARVALHO, 2010.

O Tempo de Reverberação de uma sala também é função da frequência, tendo em vista que o coeficiente de absorção das superfícies revestidas e o número de usuários variam consideravelmente devido a este fator. Desta forma, o tempo de reverberação de um recinto precisa ser calculado para diferentes frequências, sendo seu cálculo recomendado para 125Hz, 500Hz e 2000Hz, representando respectivamente as regiões de baixa, média e alta frequências.

Em ambientes escolares, mas especificadamente, salas de aula teórica, considera-se que o Tempo de Reverberação para as frequências entre 125Hz e 250Hz, deve ser menor que 1,2 segundo, enquanto que para as frequências dentre 250Hz e 4000Hz deve ficar entre 0,8 segundos e 1,0 segundo (TADEU, 2000 apud SOUZA et al, 2009).

Do ponto de vista da boa acústica, uma sala fechada deveria apresentar um Tempo de Reverberação (TR) da ordem de 0,5s, e quando o TR supera este valor, percebe-se uma falta de inteligibilidade da mensagem oral (SILVA, 2002).

Outro elemento importante é o coeficiente de absorção acústica, que representa a porcentagem de som que é absorvido, ou ainda que deixa de ser refletido, em relação ao som incidente, cujo valor é dado em tabelas para os mais

diferentes materiais. Pode variar de 0 a 1, considerando que os materiais menos absorventes e mais refletores apresentam valores de absorção próximos a 0, geralmente são os materiais impermeáveis, de pouca porosidade, como pedras, azulejos e resinas. Os mais absorventes têm valores de absorção próximo de 1. Estes são utilizados, normalmente, para que se obtenham Tempos de Reverberação adequados, eliminando ecos e para a redução de campos reverberantes (CARVALHO, 2010).

Também devemos nos preocupar com o nível de isolamento acústico dos elementos construtivos. E, embora não se conheça a frequência dos sons, pode-se obter analiticamente o isolamento acústico de um elemento construtivo, com resultados muito próximos da realidade através das expressões:

$$R = 16,6 \times \log(m) + 2 \text{ dB} \quad (6)$$

$$R = 36,5 \times \log(m) - 41 \text{ dB} \quad (7)$$

Onde:

R = Índice de redução sonora (dB)

m = Massa por unidade de superfície de cada uma das paredes (kg/m²)

A primeira fórmula se utiliza para o cálculo de elementos com menos de 150kg/m², enquanto que a segunda, é empregada para se calcular elementos com mais de 150 kg/m². Já o cálculo do isolamento acústico global dos elementos construídos, por exemplo, de uma parede, pode ser obtida pela fórmula 8:

$$R_g = 10 \times \log \frac{R_c + R_j}{\frac{S_c}{R_c/10} + \frac{S_j}{R_j/10}} \quad (8)$$

Onde:

R_g = Isolamento global (dB)

S_c = Superfície ou área da parte cega do elemento construtivo (m²)

S_j = Superfície ou área da janela ou abertura (m²)

R_c = Isolamento da parte cega

R_j = Isolamento da janela ou abertura

Para Freire (1996), a prevenção e o controle do ruído nos espaços de uso escolar estão associados à preocupação, na fase de projeto, da escolha do lugar, da seleção de materiais adequados a cada tipo de ambiente, além de recomendar que as janelas não fiquem voltadas para ruas movimentadas. Segundo o autor, as interferências do ruído podem causar dificuldades na comunicação oral em sala de aula, levando ao aumento do nível normal da voz, acarretando a necessidade de repetições e interrupções das aulas, e conseqüentemente, prejudicando o bom desempenho do aluno, e até mesmo problemas de saúde relacionados à voz do docente.

Por último, o cuidado com os níveis de ruídos permitidos em salas de aula é essencial para não prejudicar o processo de ensino e aprendizagem, e, devem estar compreendidos entre os valores recomendados pelas normativas.

2.5.1 Normatização

2.5.1.1 NBR 10.151

A NBR 10.151 (2000), Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento, determina as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em determinados locais. Além de especificar o método para a medição de ruídos, a aplicação de correções sobre os níveis medidos e a comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores. Também adverte que em situação de ruídos provenientes de fenômenos naturais, como chuva e trovões, não devem ser efetuadas as medições. Ainda assegura que o tempo de medição será escolhido de forma a caracterizar melhor o ruído em questão, podendo envolver uma única amostra ou uma sequencia delas.

Com relação às medições externas, devem ser realizadas em pontos localizados acima de 1,2m do piso e 2,0m do limite da propriedade e de qualquer outra superfície refletora. Caso não seja possível, deve-se descrever detalhadamente, no relatório, a situação da medição. Sobre as medições internas, estas devem ser efetuadas distantes no mínimo 1m de qualquer superfície, seja piso, paredes, teto ou móveis. Os níveis de pressão sonora devem ser medidos em pelo menos três pontos, sendo o resultado obtido através da média aritmética

desses valores; preferencialmente estes pontos de medição devem distar 0,5m um do outro. Todo este processo deve ser efetuado em condições de utilização normal do ambiente.

2.5.1.2 NBR 10.152

A NBR 10.152 (1987) – Níveis de ruído para o conforto acústico, por apresentar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico para diversos tipos de ambientes. O nível recomendado para as escolas situa-se entre 40 e 50 dB (decibels); acima desse valor máximo, torna-se difícil a compreensão da mensagem proveniente do professor, principal locutor neste ambiente.

2.5.1.3 NBR 15.575

A NBR 15.575 (ABNT, 2013b) informa valores estipulados para a isolamento acústica de modo a proporcionar condições razoáveis de desempenho, considerando ruídos externos da ordem de 55 a 60 dB. Já para locais com a presença de fontes de ruídos importantes, como rodovias, aeroportos, entre outros, a normativa estabelece que devem ser realizados levantamentos no local.

A norma também dispõe de uma estimativa simplificada sobre o grau de inteligibilidade, ou seja, a capacidade de entendimento do que está sendo falado em um recinto, comparando-se com outro ambiente adjacente, em função do grau de isolamento acústico entre eles. Assim, apresenta as seguintes classificações para os valores de isolamento sonoro: 35 dB (claramente audível), 40 dB (audível, mas entende com dificuldades), 45 dB (audível, não entende) e igual ou maior que 50 dB (não audível).

Além disso, informa sobre os três métodos de verificação do som aéreo. No método de engenharia, os dados são obtidos em campo, caracterizando de forma direta o isolamento global da edificação em relação ao som aéreo da vedação externa. O método simplificado é menos preciso que o anterior e nos permite obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa. Já com o método de precisão torna-se possível a determinação do isolamento sonoro de componentes e elementos construtivos, provendo valores de referência de cálculo para o

desenvolvimento de projetos, sendo identificado como índice de redução sonora ponderado (R_w).

Ainda, com relação às medições efetuadas em campo, a normativa comenta que a presença de frestas nas coberturas e fachadas, proporciona uma redução considerável de desempenho acústico na envoltória das edificações. Afirma que a presença de frestas pode reduzir em mais de 30% a isolação acústica.

2.6 A Percepção Ambiental do Usuário

A percepção humana, segundo Florensa e Roura (1995), é um fenômeno muito complexo e sua compreensão é essencial para que se possa inserir na arquitetura, o ponto de vista ambiental. O ser humano recebe informações do meio através dos órgãos chamados receptores e cada um deles é sensibilizado para estímulos específicos. Os receptores do meio externo são os olhos, o ouvido, o olfato, o gosto e o tato. Sendo que os olhos e os ouvidos são aqueles que permitem perceber com mais precisão as características do espaço.

Os autores Rodrigues e Delgado (1998) descrevem o processo de percepção como a atribuição de significado a estímulos internos, como a fome e a sede e externos, como o frio e o calor. A percepção ambiental pode ser encarada como um processo que permite a interação do homem e o ambiente que o envolve, fornecendo possibilidades ao indivíduo de influenciar ou atuar sobre o ambiente, como também ser por ele influenciado.

Segundo Gifford, (1997), a percepção ativa do espaço físico ocorre porque o ambiente possui atrativos e configurações próprias para a sua manipulação, portanto, a participação do usuário é considerada fundamental para o desempenho eficiente do espaço, pois ele passa a atuar na solução de problemas em relação ao local, por meio de seus conhecimentos adquiridos e experiências sobre o ambiente ocupado. Somado a isto, Sommer (1969), recomenda estimular questionamentos e decisões sobre o ambiente social, servindo como base de conhecimento para que se atinjam os objetivos de conforto e satisfação do usuário em questão.

As pesquisas que objetivam abranger, na forma de diretrizes de projeto, a percepção que os usuários têm de um determinado ambiente, desde um recinto, até mesmo uma cidade ou região, é abarcada pelos estudos da Relação Ambiente – Comportamento (RAC). Por meio deste, busca-se estudar se o comportamento de

cada pessoa inserida num dado local serve para estabilizar todo o sistema construído de componentes humanos, não humanos e os ciclos de controle (ORNSTEIN; BRUNA; ROMERO; 1995). A avaliação do ambiente físico pode contribuir para minimizar falhas, a falta de comunicação e problemas técnicos entre os usuários e o profissional responsável pelo projeto (ORNSTEIN, 1995).

Dessa forma, a avaliação dos ambientes deve sempre prever as necessidades dos usuários, que normalmente são expressas pelos requisitos de conforto ambiental, principalmente nos seus aspectos térmicos, lumínicos e acústicos, pois constitui um dos elementos da arquitetura que mais influência o bem estar dos ocupantes de uma edificação (KOWALTOWSKI et al., 2006).

A percepção do usuário também é um dos aspectos considerados nos estudos de Avaliação Pós-Ocupação (APO), que é caracterizado por ser um procedimento sistematizado de avaliação de desempenho do ambiente construído, após algum tempo de sua ocupação, concentrando-se principalmente no ocupante e nas suas necessidades para avaliar a influência e as consequências das decisões de projeto no desempenho da edificação construída (RHEINGANTZ, 2009).

Nas escolas, o público-alvo são os alunos, porém estão submetidos às mesmas condições ambientais que os professores, e, portanto, tratando-se de salas de aula, são os principais envolvidos em pesquisas que abordam a satisfação do usuário. São diversos os instrumentos indicados para avaliar o ambiente construído, envolvendo o seu usuário, como: Walthrough, Mapa Comportamental, Poema dos Desejos, Mapeamento Visual, Seleção Visual, Entrevista, Questionário, Matriz das Descobertas e Observação Incorporada (RHEINGANTZ, 2009). Destaca-se para esta pesquisa o uso do questionário, por ser considerado de grande utilidade quando se deseja descobrir regularidades entre grupos de usuários por meio das respostas relativas a um conjunto de questões pertinentes.

2.7 Preocupação com a Conservação da Energia

Cada vez mais nos deparamos com problemas relacionados ao conforto ambiental, cujas soluções nem sempre levam em consideração o alto consumo energético e o seu consequente impacto ambiental.

Em nosso país, a preocupação com a conservação de energia teve início em 1985, quando foi instituído o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, com o objetivo de promover a racionalização da produção e consumo de energia elétrica, de forma a eliminar os desperdícios e de reduzir os custos e os investimentos setoriais.

A eficiência energética, que pode ser encarada como o acesso a um serviço com redução do gasto de energia (LAMBERTS et al., 1997), passou a ser uma preocupação constante de toda sociedade. Na área da arquitetura, a consideração deste aspecto passa a ser essencial, tendo em vista que as edificações contribuem de forma significativa no consumo energético (MIZGIER, 2010), tanto na fase construtiva como também para posteriormente, garantir-se o conforto dos usuários nas edificações. Keeler e Burke (2010) afirmam que a relação existente entre a energia consumida pela edificação, o uso dos ambientes construídos e os problemas ambientais do planeta é indiscutível.

Para reduzir o consumo de energia e os impactos ambientais do projeto e da construção da arquitetura, primeiro é necessário pensar na adequação da edificação ao clima. Para tanto, recomenda-se a verificação das características climáticas da região, assim como as condições do entorno imediato, do movimento solar e dos materiais da edificação (KELLER; BURKE, 2010).

Segundo Grala (2006), levar em consideração os recursos naturais, destacando-se o vento, o sol e a biomassa, como energias alternativas, conferem ao projeto uma perspectiva de economia de energia, de autonomia e independência, considerações importantíssimas dadas às circunstâncias da atualidade.

Kowaltowski (2011) recomenda o uso de estratégias bioclimáticas para as edificações escolares, apresentadas na NBR 15.220 (ABNT, 2005c). Dentre as várias possibilidades de soluções passivas para o atendimento do conforto térmico, destaca-se o aproveitamento da incidência solar para o aquecimento no interior dos ambientes.

Para o atendimento do conforto lumínico nas salas de aula, visando também à redução do consumo energético, preconiza-se o uso da iluminação natural, adequadamente projetada, seja por janelas, claraboias, prateleiras ou túnel de luz (KOWALTOWSKI, 2011). Para a complementação da iluminação natural nos

espaços escolares, e para o bom desempenho lumínico naqueles ambientes que abrigam atividades no período noturno, recomenda-se o uso de lâmpadas eficientes.

Contudo, de acordo com Silva (1994), é importante salientar que o nível ótimo de conforto ambiental às vezes pode não ser atingido somente através de meios passivos, mas através de sua combinação com os meios ativos, e soluções integradas também podem proporcionar reduções no consumo de energia.

2.8 Estado da Arte no Campo da Pesquisa

No Brasil, diversos estudos sobre o conforto ambiental no ambiente escolar vêm sendo realizados nos últimos anos. Especificamente em salas de aula, as pesquisas compreendem desde avaliações dos aspectos térmicos, lumínicos e acústicos em conjunto, como também avaliações mais específicas de apenas um dos parâmetros de conforto.

Estas pesquisas, na sua maioria, revelam as condições de conforto ambiental nos espaços de ensino em diferentes regiões do nosso país e indicam soluções para o atendimento da sensação de bem-estar dos seus usuários, de acordo com o aspecto avaliado. A seguir serão apresentadas, de maneira breve, os principais assuntos e observações gerais sobre pesquisas recentes que abordam aspectos de conforto ambiental em salas de aula, destacando-se principalmente, o método adotado por cada autor, iniciando-se pelos estudos que abordam as avaliações dos três aspectos de conforto considerados neste trabalho: conforto térmico, lumínico e acústico.

A pesquisadora Ochoa (2010) avaliou o conforto térmico, lumínico e acústico de quatro salas de aula da Universidade de Goiás, situada no Câmpus de Goiânia. Seu trabalho contemplou observações sobre o comportamento dos usuários ao longo de um ano. Além disso, aplicou um questionário aos alunos e professores para a verificação de sua satisfação frente às variáveis estudadas, e realizou medições técnicas no período entre junho de 2009 e outubro de 2010, completando mais de um ano de medições. Realizou os levantamentos em dois prédios do Câmpus, considerando duas salas em cada edificação. Posteriormente verificou os dados experimentados com os parâmetros de normativas. Por último, através do cruzamento dos resultados da avaliação da satisfação dos usuários com as medições técnicas, a autora concluiu que novos estudos necessitam ser realizados,

de forma a determinar-se uma correlação mais adequada entre os limites de conforto definidos pelas normas técnicas e aqueles avaliados a partir da satisfação do usuário.

Em outra pesquisa, a autora Gemelli (2009) avaliou o nível de satisfação dos usuários, de uma edificação sustentável. Para a verificação da satisfação dos usuários alunos e professores, adotou dois métodos de pesquisa. Aos alunos aplicou um questionário de opinião e a cinco professores mais a Diretora da escola, realizou um grupo focal, que consiste em reunir um grupo de pessoas e realizar uma entrevista sobre os assuntos relacionados ao tema de pesquisa. Ambos permitiram a avaliação da satisfação dos usuários nas salas de aula, referente aos aspectos de conforto térmico, lumínico e acústico. Também realizou medições técnicas, a fim de apresentar as condições ambientais das salas avaliadas. As medições de conforto térmico ocorreram no período compreendido entre 10 de maio e 16 de maio, e mais tarde, de junho a dezembro, no ano de 2008, conforme a disponibilidade dos equipamentos para a captação de dados. De modo geral, a autora demonstrou a importância da adoção de estratégias sustentáveis e bioclimáticas como alternativa para a conquista do bom desempenho ambiental.

Em outro estudo, Dias (2009) deteve-se na exposição da necessidade de obtenção do conforto térmico e acústico em Escolas de Tempo Integral (ETIs) – Palmas, Tocantins. Para tanto, coletou dados de temperatura, umidade e de níveis de ruído, em períodos ditos críticos, no interior de três salas de aulas no andar térreo e de mais três no pavimento superior, além da sala dos professores. Também aplicou um questionário aos professores e demais funcionários da escola, com questões relacionadas ao conforto térmico e acústico. Para análise do conforto térmico adotou como parâmetro o intervalo de conforto definido por Givoni (1992) e a NBR 15.220 (ABNT, 2005), fazendo uso da carta bioclimática, também proposta pelo mesmo autor. Além disso, realizou medições acústicas e os dados, posteriormente, foram comparados a NBR 10.152 (ABNT, 1992). Em seguida analisou o projeto arquitetônico, considerando a implantação, a forma e a disposição, os materiais aplicados e as aberturas, paralelamente com os fatores climáticos da cidade de Palmas. Por fim, cruzou as informações coletadas com os parâmetros pré-estabelecidos pelas normativas vigentes. Com base nestes resultados e amparado nos estudos de outros autores, elaborou sugestões para os projetos arquitetônicos de escolas de tempo integral para a cidade em estudo.

Já a pesquisadora Santos (2008) fez avaliações em duas salas de aula de uma escola estadual situada na cidade de Cuiabá-MT, com o objetivo de verificar o desempenho térmico e lumínico dos ambientes, bem como identificar estratégias e alternativas que pudessem minimizar o desconforto das salas de aula. O desempenho térmico das unidades escolares foi analisado através da Carta Bioclimática de Givoni, sendo identificadas as horas em desconforto, bem como as estratégias bioclimáticas mais adequadas para obtenção do conforto. Foram também caracterizados os microclimas externo e interno, o índice de insalubridade e também se investigou dados de sensações e preferências térmicas. As coletas de dados térmicos foram realizadas em quatro períodos representativos das estações: primavera, verão, outono e inverno. Para coleta de dados lumínicos utilizou luxímetros, sendo que os pontos internos escolhidos atenderam ao critério de maior exigência de iluminação em relação ao quadro negro. Foram coletados dados de iluminância horários, em determinados dias, nas quatro estações do ano, em pontos interno e externo aos ambientes, buscando-se verificar se a iluminação disponível em sala de aula encontrava-se dentro dos limites propostos pela NBR 5413 (ABNT, 1992). Neste trabalho, os resultados apresentados, em geral, foram relativos à edificação e a adaptação desta ao clima local.

No trabalho realizado por Yao et. al (2010) foi avaliado o conforto térmico de salas de aula da Universidade em Chongqing, na China, cidade que apresenta características climáticas de inverno frio e verão quente. Os autores trabalharam com ambientes naturalmente condicionados, durante o período de março de 2005 a maio de 2006. Verificaram a percepção dos usuários através do método de Fanger, por meio dos índices PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Verificaram que os ambientes avaliados não apresentavam as condições de conforto adequadas para ambiente de ensino, nos meses mais extremos de frio e calor, estando fora da faixa de conforto estabelecida pela ASHRAE 55-2004, segundo os requisitos do modelo adaptativo. Também constataram a importância da adaptação comportamental e psicológica dos usuários para adequação ao ambiente térmico.

Na pesquisa de Abdelatia et. al (2010), os autores avaliaram a condição de iluminação natural em uma sala de aula considerada tradicional na Líbia, França. Adotaram como parâmetro o *Daylight Factor*, sendo que os valores do fator de luz natural foram calculados através do software DIAL – Europa. Também realizaram

avaliações em um modelo de sala de aula em escala reduzida. Consideraram o intervalo de tempo entre 8 horas e 15 horas, nos dias 22 de junho e 22 dezembro, solstícios de verão e inverno, respectivamente. Concluíram que a sala de aula estudada não atende as condições de conforto lumínico desejável para ambientes de ensino.

Em outro estudo, os autores Su et al. (2013) estudaram a qualidade acústica de oito universidades em Harbin, na China. Através de questionários e medições *in loco*, avaliaram as características das fontes de som no interior e no exterior dos ambientes de ensino, além da satisfação dos usuários em relação à qualidade acústica dos recintos. Verificaram que as universidades estão seriamente prejudicadas, durante o dia, pelas estradas circundantes, externas às instituições em estudo, com níveis de ruídos acima de 60 dB, em 87% das medições. Também constataram que a satisfação com a condição acústica, em geral, foi considerada baixa, sendo que os alunos satisfeitos corresponderam a somente 28% do total avaliado.

A seguir, são apresentadas as tabelas 16, 17, 18 e 19, com o resumo dos parâmetros de análise ambiental estudados pelos autores anteriormente citados, separadas por avaliações de conforto térmico, conforto lumínico e conforto acústico. Através das tabelas é possível identificar os parâmetros de conforto estudados por cada autor, destacando-se em negrito, aqueles que avaliaram os três aspectos.

Tabela 16 – Avaliação de Desempenho Ambiental – Parâmetros Físicos: Conforto Térmico.

PARÂMETROS FÍSICOS DE ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO						
Autores	Tar	UR	Var	TMrad	Localização	Ano
GEMELLI	X	X			Viamão - RS	2010
OCHOA	X	X			Goiás - GO	2010
DIAS	X	X			Palmas - TO	2009
SANTOS	X	X	X	X	Cuiabá - MT	2008

Tar – Temperatura do ar,
UR – Umidade Relativa,
Var – Velocidade do ar
TMrad – Temperatura Média radiante

Tabela 17 – Avaliação de Desempenho Ambiental - Método: Conforto Térmico.

MÉTODO DE ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO						
Autores	Fanger	Graus-Hora	ASHRAE	Givoni	Localização	Ano
GEMELLI		X		X	Viamão - RS	2010
OCHOA		X		X	Goiás - GO	2010
DIAS				X	Palmas - TO	2009
SANTOS				X	Cuiabá - MT	2008
YAO, et al	X		X		Chongqing, China	2010

Tabela 18 - Avaliação de Desempenho Ambiental - Métodos: Conforto Lumínico.

MÉTODOS DE ANÁLISE DO CONFORTO LUMÍNICO						
Autores	NBR 5413	NBR 15.215	FLD	Simulação Computacional	Localização	Ano
GEMELLI	X	X			Viamão - RS	2010
OCHOA	X	X	X		Goiás - GO	2010
SANTOS	X				Cuiabá - MT	2008
FERREIRA				X	Minas Gerais - MG	2006
ABDELATIA, et al.			X	X	Líbia - FRANÇA	2010
FLD – Fator de Luz Diurna						

Tabela 19 – Avaliação de Desempenho Ambiental - Métodos: Conforto Acústico.

MÉTODOS DE ANÁLISE DO CONFORTO ACÚSTICO						
Autores	NBR 10.151 10.152	Parâmetro - China	Tempo Reverberação	Questionário	Cidade	Ano
GEMELLI	X		X		Viamão - RS	2010
OCHOA	X				Goiás - GO	2010
DIAS	X		X		Palmas - TO	2009
SU, et al.		X		X	Harbin - CHINA	2013

As pesquisas aqui apresentadas evidenciaram a importância da participação do usuário nos estudos de conforto ambiental no ambiente escolar, complementando as avaliações realizadas através de medições técnicas. Também possibilitaram a verificação dos procedimentos mais frequentemente adotados para obtenção de dados para avaliação dos aspectos de conforto térmico, lumínico e acústico. Muitos dos trabalhos também apresentaram propostas de melhorias para o ambiente construído, levando em consideração a eficiência energética, em várias das

situações avaliadas. De modo geral, é possível afirmar que os estudos destes autores contribuíram para o desenvolvimento e a definição da metodologia a ser utilizada nesta pesquisa, que será delineada no próximo capítulo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa de avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico do ambiente escolar, no Câmpus Pelotas Visconde da Graça - CaVG, e obtenção dos dados que atendessem aos objetivos propostos foram definidas as seguintes etapas de trabalho:

- Revisão bibliográfica dos conceitos relacionados ao assunto da pesquisa e dos estudos já realizados, com similar enfoque;
- Escolha do objeto de estudo;
- Levantamento físico das salas de aula;
- Definição das salas de aula representativas para as análises;
- Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico dos ambientes em estudo, em situação de inverno, abordadas em duas dimensões: medições das variáveis físicas ambientais e avaliação da resposta perceptiva dos usuários frente a determinadas condições físico-ambientais;
 - A medição das variáveis físicas ambientais incluiu medições periódicas de conforto térmico, lumínico e acústico, com instrumentos pertinentes a cada variável estudada, e atendendo às normas procedimentais (a NBR 15.575, para as medições térmicas; a NBR 15.215-4, para as medições lumínicas; e, a NBR 10.151, para as medições acústicas);
 - A verificação da resposta perceptiva dos usuários compreendeu observações *in loco* e a aplicação de um questionário de opinião aos usuários das salas de aula.
- Avaliação do atendimento de conforto térmico baseados nos critérios da NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações e aos parâmetros de desempenho térmico estabelecidos na norma NBR 15.575 – Edificações habitacionais – Desempenho.
- Avaliação do atendimento de conforto lumínico de acordo com os critérios determinados na NBR 8995 – Parte 1 – Iluminação de ambientes de trabalho;

- Avaliação do atendimento do conforto acústico de acordo com os critérios estabelecidos na NBR 10.152 – Níveis de ruído para conforto acústico;
- Comparação dos resultados obtidos do cruzamento das respostas dos usuários e das medições *in loco* com os valores definidos pelas normativas;
- Recomendações de estratégias passivas arquitetônicas para as futuras edificações do CaVG.

3.1 Coleta de Dados

Para cumprir com os objetivos desta pesquisa, de avaliar o conforto térmico, lumínico e acústico das salas de aula do Câmpus Pelotas Visconde da Graça a fim de se estabelecer recomendações de estratégias passivas arquitetônicas para as futuras edificações nesta instituição, optou-se pelo desenvolvimento de uma pesquisa exploratória através de duas abordagens: resposta perceptiva dos usuários e medições das variáveis físicas ambientais.

O principal objetivo desta pesquisa, o lançamento de recomendações passivas arquitetônicas para as futuras edificações do Câmpus Pelotas Visconde da Graça, direcionou a escolha pela adoção conjunta das duas abordagens, já que, de forma inequívoca, acredita-se que as edificações devam atender às necessidades reais dos seus usuários. Os estudos realizados nesse campo de pesquisa também indicaram essa abordagem conjunta como a mais adequada às avaliações do ambiente físico.

Por outro lado, pretendia-se que o cruzamento das informações obtidas através da opinião dos usuários e das medições das variáveis físicas ambientais tornaria possível averiguar se os valores tomados como referências pelas normativas estariam de acordo com a realidade deste estudo de caso. Desta forma, verificou-se que a opinião dos usuários deveria exercer um papel de fundamental importância para esta pesquisa, porque além de serem eles os principais agentes interessados neste contexto, têm ainda o poder de controle sobre o meio em que convivem diariamente, com o fim de alcançar o estado de conforto ambiental, condição necessária para o pleno desenvolvimento de qualquer atividade laboral.

Outra situação que também estimulou a opção pelas avaliações através das duas abordagens foi o fato de que este trabalho também possibilitaria a verificação do comportamento ambiental de construções edificadas com técnicas construtivas

de períodos distintos, e conseqüentemente, diferentes tipologias arquitetônicas. Considerou-se que a partir deste encontro de dados, se obteriam resultados significativos para o lançamento de recomendações passivas arquitetônicas com vistas às futuras edificações desta instituição educacional.

O trabalho teve início com uma observação simples e geral da escola, partindo-se para uma investigação mais específica envolvendo os espaços didáticos, onde descobriu-se que naquele momento haviam sete edificações que continham espaços que estavam sendo usados como salas de aula. Em seguida, partiu-se para o levantamento físico dos mesmos, para posterior definição das salas de aula representativas para o estudo. Porém, no decorrer da pesquisa, a escola sofreu a interdição de três prédios em função de problemas estruturais. Esta situação resultou na relocação dos setores desabrigados para outros prédios, foi necessária a utilização de algumas salas de aula para abrigar funções administrativas, e em consequência disto, apenas cinco prédios possuíam o uso de salas de aula.

A partir desta realidade, optou-se por realizar avaliações em salas de aula que haviam sido projetadas para esta finalidade. Assim, foram selecionados o Prédio 63 de 1923 e o Prédio 102 de 2010 para análise de conforto térmico, lumínico e acústico. Posteriormente, após o levantamento físico de cada edificação, foram eleitas as salas 11 e 14 do Prédio 63 e as salas 01 e 02 do Prédio 102. Para a seleção das salas de aula da construção mais antiga, consideraram-se as diferenças de orientação solar e a semelhança da forma e da área dos ambientes. Já no prédio mais atual, pelo fato de possuir uma planta simétrica e comportar quatro salas de aula com dimensões idênticas, selecionaram-se apenas duas salas, cujas diferenças apreciadas tratam da quantidade e posição de suas janelas.

Assim, após a verificação das características individuais das edificações em estudo, tornou-se possível estabelecer as comparações dos resultados das avaliações de desempenho: térmico, lumínico e acústico. Portanto, compararam-se os resultados entre as salas 11 e 14 do Prédio 63 e entre as salas 01 e 02 do Prédio 102, ou seja, entre as salas da mesma edificação. Além desta, foi realizada a comparação dos resultados da sala 11, do Prédio 63, e da sala 01, do Prédio 102, por se tratarem de ambientes localizados na extremidade das edificações em estudo. E, ainda, compararam-se os resultados da sala 14, do Prédio 63, com os da sala 02, do Prédio 102, neste caso, pelo fato de serem espaços intermediários dos prédios em análise.

3.2 Medições das Variáveis Físicas Ambientais

A avaliação quantitativa compreendeu as medições técnicas de conforto térmico, lumínico e acústico, através de instrumentos adequados, nas salas de aula escolhidas para este trabalho. Todos os instrumentos de medição, lotados no Laboratório de Conforto e Eficiência Energética da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPel (LabCEE), foram devidamente calibrados antes do início das medições e os procedimentos seguiram as normativas pertinentes ao referido aspecto de conforto avaliado. Esta técnica de coleta de dados nos permitiu verificar as reais condições físicas do ambiente.

3.2.1 Medições das Variáveis de Conforto Térmico

Para a avaliação do conforto térmico, foram utilizados sensores ligados aos equipamentos HOBO da Onset Computer Corporations, modelo H08-003-02, para as medições internas e externas. Os sensores foram programados para tomar dados com início da coleta para o dia 18 de junho e com leitura num intervalo de 15 minutos. Os mesmos foram retirados das salas dia 06 de julho, do corrente ano. Ao final da coleta de dados, estas informações foram transmitidas para um microcomputador por meio do programa BOXCAR. Foram medidas as variáveis temperatura do ar e umidade relativa, tendo em vista que esses valores são determinantes na condição de conforto do usuário.

3.2.1.1 Posição dos Sensores

As medições térmicas foram realizadas através de 05 sensores ligados aos equipamentos HOBO, um instalado no meio externo e os demais no interior de cada sala em estudo. A figura 26 apresenta a localização dos sensores nos prédios 63 e 102.



Figura 26 - Planta Baixa dos prédios 63 e 102, respectivamente, com a localização dos sensores.

A localização do sensor externo foi definida em função da necessidade de proteção deste equipamento contra intempéries. Desta forma, foi escolhido o Prédio 63 pelo fato de este possuir beiral de 80 cm. O mesmo foi instalado na altura de 4,20m em relação à calçada externa, na fachada com menor incidência solar, sudoeste. A localização dos sensores internos seguiu o critério de parede oposta ao quadro em posição mediana, e com altura compatível com os requisitos normativos da NBR 15.575 (ABNT, 2013b), 1,20m em relação ao piso interno.

3.2.1.2 Critérios de Avaliação

Para análise de conforto térmico, como referência de valores, optou-se pelo Modelo Adaptativo (ASHRAE, 2004), da Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992) e do diagrama de Olgay (GONZÁLES, 1997). A tabela 20 mostra os intervalos de temperaturas de conforto térmico definidos pela ASHRAE, Givoni e Olgay.

Tabela 20 – Intervalo de temperaturas de conforto térmico, segundo ASHRAE, Givoni e Olgyay.

Referências	Conforto Térmico T. Mín – T. Max (°C)	Limites UR (%)
ASHRAE	19,5 – 24,2 (manhã) 20,7 – 25,4 (tarde)	-
Givoni	18 – 27	30 - 50
Olgyay	20,2 – 25,8	20 - 50
	19,6 – 24,7	50 - 80

Os intervalos definidos pela ASHRAE e por Givoni foram escolhidos após a revisão bibliográfica, sendo o primeiro selecionado porque se teve como objetivo analisar o comportamento da edificação que proporcione condicionamento de forma passiva, ou seja, sem o uso de equipamentos de condicionamento ambiental. Já o segundo, por fazer parte das normativas brasileiras indicadas para a avaliação de desempenho energético. Também se tomou como referência, a faixa de conforto estabelecida por Olgyay, principalmente pelo fato de este possibilitar o cálculo do intervalo de temperatura de conforto específico para a cidade em estudo, Pelotas - RS.

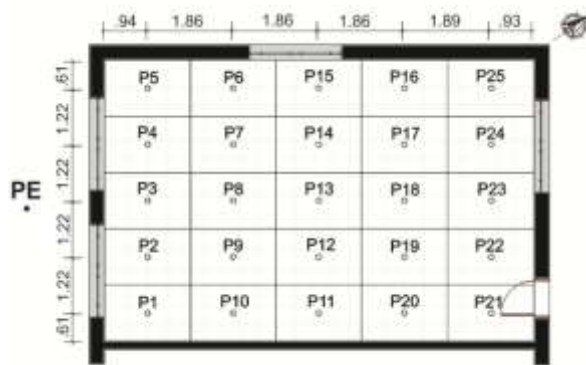
3.2.2 Medições das Variáveis de Conforto Lumínico

Para as medições lumínicas foram utilizados luxímetros LUTRON LX 1108. Neste procedimento foi realizada a marcação, no interior de cada sala de aula, de 25 pontos para a colocação dos aparelhos, número este calculado a partir das regras estabelecidas pela NBR 15.215-4 (ABNT, 2005b). Posteriormente, em função da disponibilidade dos equipamentos, fez-se o uso de quatro instrumentos simultaneamente, em ciclos onde um aparelho foi posicionado externamente e três internamente, na altura do plano de trabalho (76cm). Para as medições, de leitura instantânea, estabeleceu-se um intervalo de duas horas, iniciando às 8 horas e com término às 18 horas. Quatro pessoas trabalharam no levantamento de dados, tomando informações de três pontos internos e de um ponto de medição externo. Foi dedicado um dia de medições para cada sala de aula avaliada. Os dados medidos são fornecidos em lux, pelo equipamento, e foram utilizados para a verificação da sua compatibilidade do nível de iluminância das salas de aula analisadas e os níveis mínimos estabelecidos pela NBR 8995 (ABNT, 2013a). Também se verificou o nível

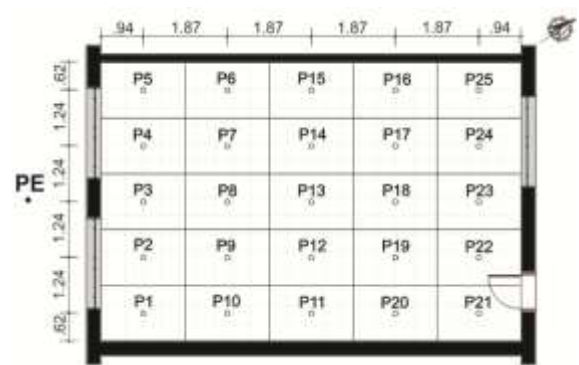
de CIN (Contribuição de Iluminação Natural), relativos aos pontos da sala verificados.

3.2.2.1 Posição dos Luxímetros

A marcação dos pontos de medição no interior de cada sala avaliada e do ponto externo (PE), este último distante a 90cm do prédio, podem ser observadas nas figuras 27 e 28.



Sala 11

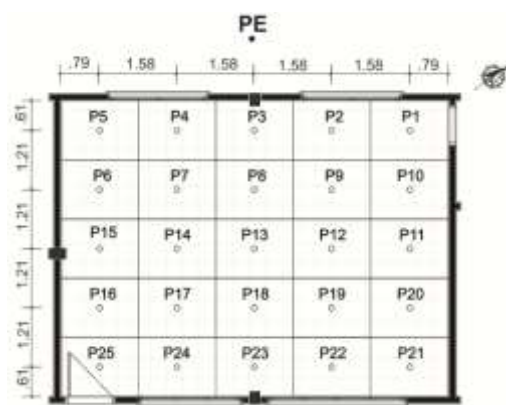


Sala 14

Figura 27 - Marcação dos pontos de medição nas salas de aula 11 e 14 do Prédio 63.



Sala 01



Sala 02

Figura 28 - Marcação dos pontos de medição nas salas de aula 01 e 02 do Prédio 102.

A escolha da posição do ponto externo seguiu o critério, fachada com maior vão de aberturas.

3.2.3 Medição das Variáveis de Conforto Acústico

Em relação ao conforto acústico, foram utilizados quatro medidores de nível sonoro marca Lutron, modelo SL 4012, também conhecido como Decibelímetro. As medições foram realizadas no momento da aplicação do questionário, em condições normais de uso dos ambientes.

No dia 27 de junho, do corrente ano, no interior de cada sala de aula, coletou-se dados de três pontos internos, marcados previamente, para posterior verificação da média dos valores. Para cada ponto, obteve-se 10 medições, cujo valor final foi à média destes valores. O equipamento ficou distante no mínimo 1,00m em relação a qualquer superfície. Foram tomados dados de dois pontos externos em relação a cada ambiente avaliado. Para esse fim, o equipamento foi posicionado a 1,20m de distância do piso e a 2,00m em relação a qualquer superfície refletora. Todos os procedimentos descritos estão de acordo com a NBR 10.151 (ABNT, 2000). Posteriormente, os valores encontrados nas medições internas e externas foram comparados ao mínimo estabelecido pela NBR 10.152 (ABNT, 1987). Também foram calculados o Tempo de Reverberação de cada sala avaliada para que se procedesse à sugestão das possíveis correções acústicas internas.

3.2.3.1 Posição dos Decibelímetros

As medições acústicas foram realizadas no mesmo dia e horários da aplicação dos questionários, 27 de junho, às 10 horas e às 16 horas, respectivamente. Nestes momentos, foi solicitado aos usuários das salas avaliadas, que permanecessem em silêncio e assim permaneceram. Portanto eles responderam ao questionário em silêncio até o final das medições acústicas. Também se manteve as portas e as janelas fechadas, conforme situação normal de uso dos ambientes. A figura 29 apresenta a posição dos equipamentos, decibelímetros, no interior (PI1, PI2 e PI3) e no exterior (PE1, PE2, PE3 e PE4) das salas em estudo, nos prédios 63 e 102, respectivamente.

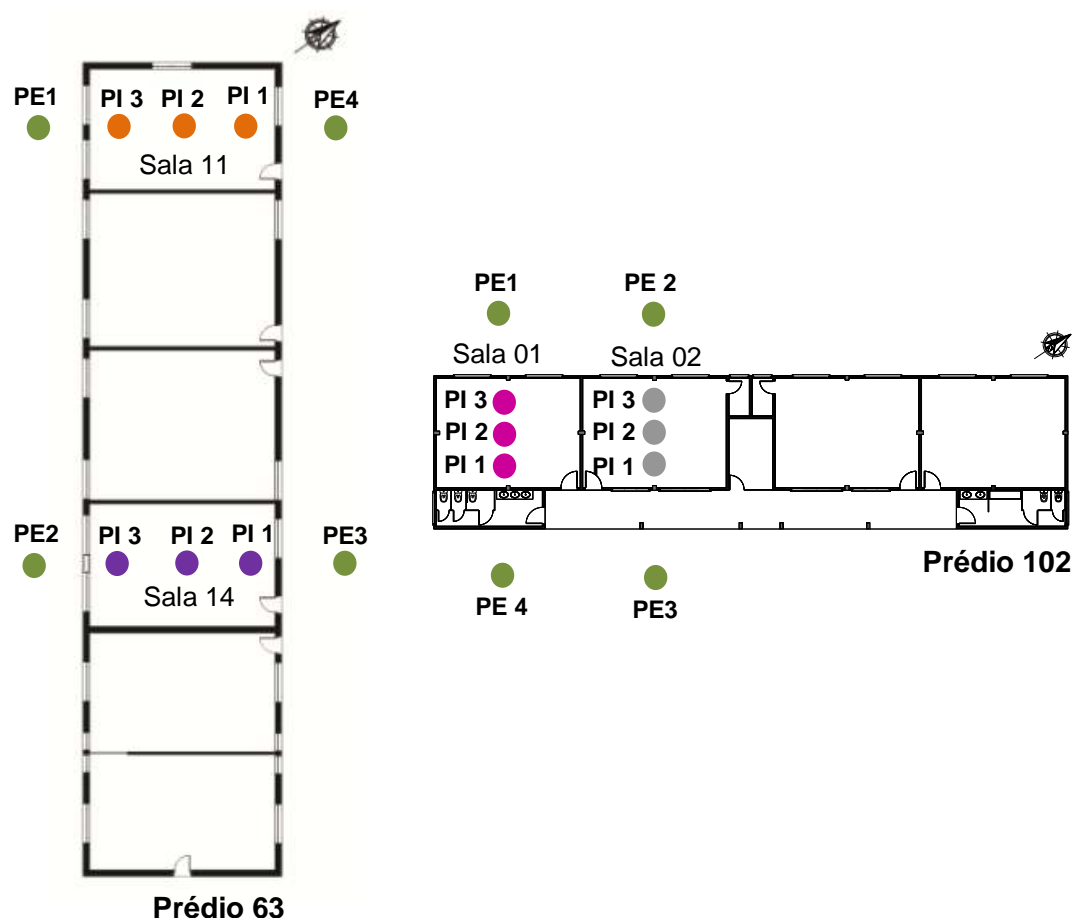


Figura 29 – Planta Baixa dos prédios 63 e 102, respectivamente, com localização dos pontos de medição.

3.3 Percepção dos Usuários

A avaliação sobre a resposta perceptiva dos usuários frente ao ambiente compreendeu os aspectos de conforto térmico, lumínico e acústico das salas de aula estudadas.

Para a elaboração do questionário também realizaram-se observações simples a fim de coletar, de forma espontânea, os fatos relacionados aos aspectos de conforto térmico, lumínico e acústico que normalmente ocorrem naquelas salas de aula previamente definidas, como também informações sobre o seu entorno imediato. Esta técnica contribuiu significativamente para a formulação das questões, considerando o objetivo de realizar o cruzamento destas informações com os dados dos levantamentos técnicos.

Foram elaboradas questões fechadas divididas nas três categorias de análise: conforto térmico, conforto lumínico e conforto acústico, visando-se a apresentação das perguntas de maneira clara, objetiva e com o uso de uma linguagem simples, evitando-se sempre o emprego de termos técnicos. Também foram livremente formuladas duas questões abertas para que os usuários pudessem expressar quais aspectos, contribuíram para as condições de conforto ou desconforto nos espaços avaliados. O questionário também perguntava sobre alguns dados pessoais dos respondentes, como por exemplo, a idade e o sexo.

No início do mês de novembro do ano de 2012 foi aplicado o questionário piloto aos alunos do curso de Agroindústria e também ao professor presente naquele momento na sala de aula 01 do Prédio 102, totalizando 13 respondentes. O questionário piloto foi aplicado no início do terceiro período da tarde, em torno das 15:30 horas. Após a verificação das respostas a esse questionário, optou-se pela reformulação da pergunta 02, referente ao aspecto de conforto lumínico. A versão final do questionário pode ser observada no Apêndice C deste trabalho de dissertação.

A aplicação do questionário definitivo aos usuários das salas de aula selecionadas ocorreu no dia 27 de junho de 2013, nos turnos da manhã e da tarde, das 10 horas e das 16 horas, respectivamente, ambos os horários no terceiro período escolar, momento em que se supôs que os alunos já estivessem aclimatados com o ambiente. Uma equipe de quatro pessoas, previamente treinadas para desempenhar essa atividade, aplicou os questionários, uma pessoa por sala.

3.4 Período para a coleta de dados

Tomando-se como referência a simultaneidade das avaliações, já que se previa o cruzamento das informações sobre a opinião dos usuários com as informações oriundas das medições das variáveis físicas ambientais, para a escolha do período de coleta de dados, considerou-se principalmente, a possibilidade e a necessidade de monitoramento da temperatura do ar e umidade relativa, variáveis referentes à análise do conforto térmico. A coleta destes dados aconteceu durante um período pré-definido em função da programação e colocação dos equipamentos de medição. Neste caso, tornou-se difícil prever o dia que apresentaria as características de um dia típico de projeto, situação sugerida pela de norma 15.575

(ABNT, 2013b) para avaliação das variáveis de conforto térmico. Portanto, foi definido que o período mais adequado para a realização das avaliações seriam os meses que apresentassem as condições mais severas no inverno.

Pretendia-se neste trabalho, obter-se dados que pudessem atestar o conforto térmico em condição de inverno e de verão. Entretanto, o estudo centrou-se no período de inverno, por dois principais motivos. Em Pelotas, análises bioclimáticas conduzidas através dos diagramas de Givoni (GIVONI, 1992) e Olgyay (GONZÁLES,1997), comprovam que há mais momentos fora da zona de conforto, por frio e não por calor. Isso significa dizer que o inverno causa mais desconforto que o verão. A figura 30 mostra o gráfico das necessidades horários para Pelotas, de acordo com os critérios climáticos de Olgyay.

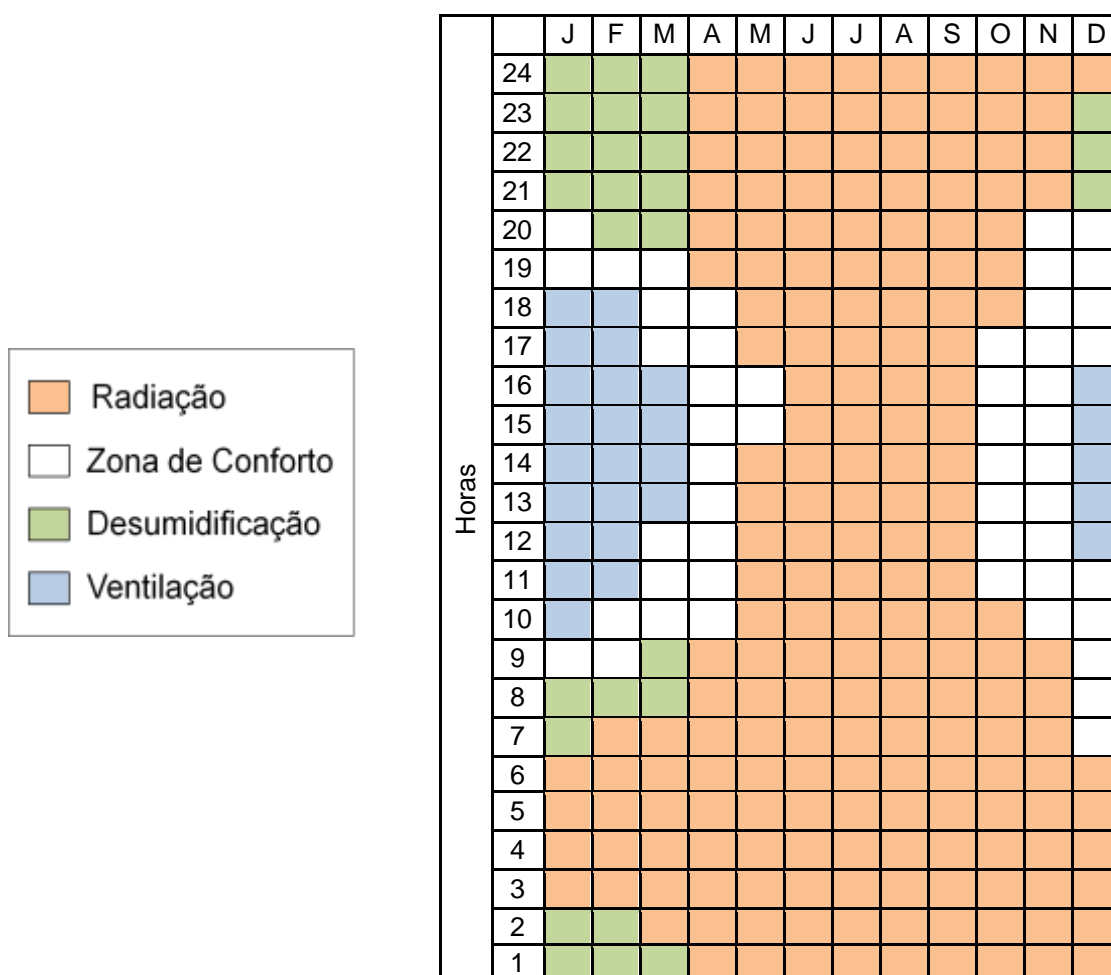


Figura 30 – Gráfico das necessidades horárias para Pelotas – Olgyay.

O gráfico apresenta as horas de um ciclo diário nas ordenadas e os meses correspondentes na abscissa, relacionando estes dados com as necessidades climáticas definidas através do diagrama de Olgyay. Constatou-se que em apenas 17,6% do período avaliado, os usuários estariam em condição de conforto térmico, enquanto que, em mais de 67% do tempo avaliado, verificou-se que há a necessidade da incidência de radiação solar nas edificações para se alcançar a tal condição. Portanto, há necessidade de maior preocupação em promover o aquecimento passivo nos ambientes.

O outro motivo refere-se ao fato de que nos meses de verão, dezembro, janeiro e fevereiro, tradicionalmente acontecem as férias escolares, período com menor número de usuários nas salas, portanto época de difícil coleta de opinião daqueles que utilizam os espaços em estudo.

Assim, o período de coleta de dados, envolveu o mês de junho do ano de 2013. Pois verificou-se que os meses do período de inverno que apresentam as temperaturas médias mínimas são junho e julho, com valor de 8,6°C, segundo os dados observados nas normais climatológicas do período de 1971 a 2000 (ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA – EMBRAPA/ UFPEL, 2012), ver Anexos B e C.

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4.1 Resultados – Conforto Térmico

A seguir foram apresentados os dados de temperatura do ar e umidade relativa dos prédios 63 e 102, respectivamente. Além da comparação destes dados, com os valores estabelecidos pela ASHRAE, Givoni e Olgyay, como intervalos de conforto térmico. Os prédios 63 e 102, respectivamente, também foram avaliados segundo os requisitos da NBR 15.220 e da NBR 15.575. Posteriormente, realizou-se a avaliação da resposta perceptiva dos usuários das salas avaliadas. Por último, obteve-se a comparação entre a resposta perceptiva dos usuários e a medição das variáveis físicas ambientais.

4.1.1 Resultado das Medições e da Verificação dos Requisitos Normativos

4.1.1.1 Resultado das Medições Térmicas

Os dados de temperatura e umidade relativa das quatro salas avaliadas, no intervalo de uma semana, de 27/06 a 03/07 de 2013, nos períodos das 8 às 12 horas, e das 14 às 18 horas, são apresentadas nas figuras 31 e 32.

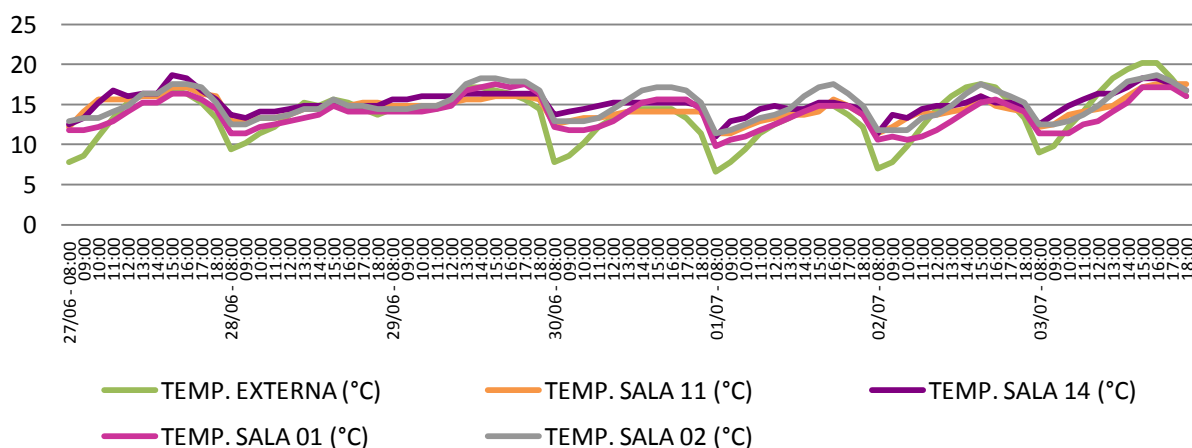


Figura 31 – Gráfico das temperaturas: externa, salas 11 e 14 (Prédio 63), salas 01 e 02 (Prédio 102).

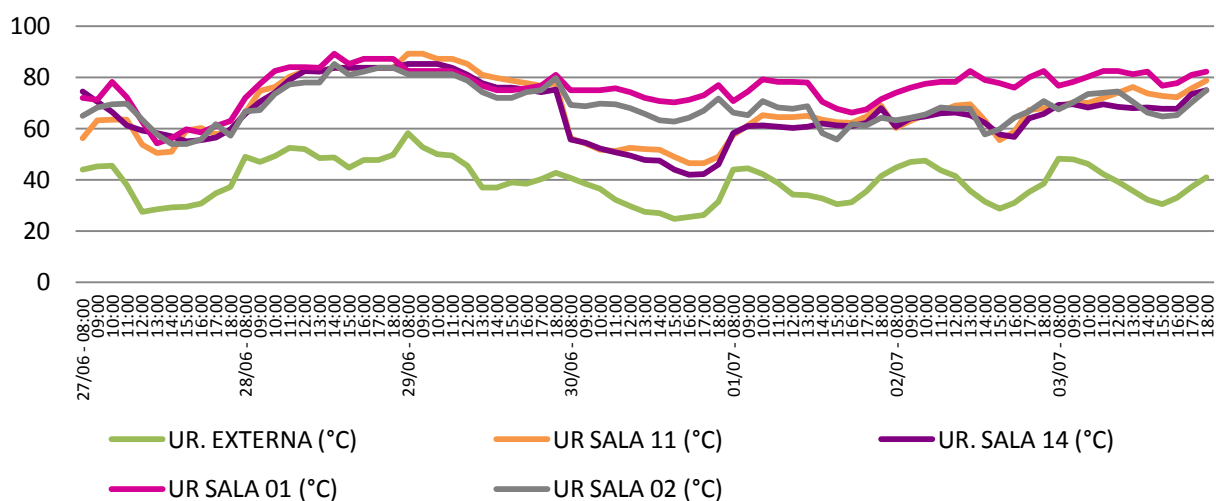


Figura 32 – Gráfico das umidades relativas: externa, salas 11 e 14 (Prédio 63), salas 01 e 02 (Prédio 102).

Através do gráfico apresentado na Figura 31, dentro do intervalo de tempo considerado, verifica-se que a sala 11, do Prédio 63, apresentou temperaturas inferiores às da sala 14 do mesmo prédio, na maior parte do tempo, com diferenças em torno de 2°C. A sala 01, do Prédio 102, apresentou temperaturas inferiores às da sala 02, com diferenças em torno de 1°C. As temperaturas internas nas salas 01 e 02 foram muito semelhantes.

Ao se comparar os dados dos ambientes localizados nas extremidades das edificações, verificou-se que a sala 11, do Prédio 63, apresentou temperaturas superiores às da sala 01, do Prédio 102, pela manhã, com diferenças alcançando mais de 3°C. À tarde, a situação se inverteu, a sala 11 apresentou temperaturas mais baixas, em torno de 1°C. Já no caso comparativo das salas intermediárias das edificações em estudo, a sala 02 do Prédio 102, apresentou temperaturas inferiores, às da sala 14, do Prédio 63, pela manhã. Essa diferença foi de aproximadamente 2°C. Enquanto que a tarde foi a sala 14 do Prédio 63 que apresentou temperaturas mais baixas, em torno de 2°C, em relação à sala 02 do Prédio 102.

No gráfico apresentado na Figura 32, verifica-se que durante todo o tempo a umidade relativa externa é inferior em relação à umidade relativa interna das salas avaliadas, com valores de 30 e 50%, respectivamente. As salas 11 e 14 do Prédio 63 apresentaram valores semelhantes, variando ao longo do tempo de 50 a 80% seus valores de umidade. Quanto às salas 01 e 02 do Prédio 102, a variação de

umidade relativa deu-se entre 55% e 90%. Quando se compara a umidade relativa das salas localizadas nas extremidades das edificações, salas 11 (Prédio 63) e 01 (Prédio 102), esta última apresentou valores maiores na maior parte do tempo, com diferenças entre 5 e 10%. Com relação às salas 14 (Prédio 63) e 02 (Prédio 102), intermediárias nas edificações, foi possível identificar que a sala 02 apresentou umidade relativa superior à sala 14, principalmente no período da manhã, em torno de 5%. À tarde a situação se inverteu. Provavelmente esta situação ocorreu em função da massa de vegetação no entorno do Prédio 102, que pela manhã propicia a umidade relativa alta no interior dos ambientes. Já no turno da tarde, com a incidência solar direta nesta edificação, na fachada noroeste, onde estão localizadas as janelas de maior vão, observou-se que a umidade relativa interna é mais baixa.

Para a avaliação dos resultados acima apresentados também foram consideradas as observações referentes às características construtivas e do entorno imediato dos prédios 63 e 102.

Na comparação do comportamento térmico das salas 11 e 14 do Prédio 63 com o das salas 01 e 02 do Prédio 102, verificou-se que o prédio mais antigo (Prédio 63) apresentou as temperaturas internas mais altas. Destaca-se a diferença de 3,46°C ocorrida no período da manhã, no dia 27, quando a temperatura da sala 11 (Prédio 63) apresentou-se superior à da sala 01 (Prédio 102). Ambas salas estão localizadas na extremidade das edificações e possuem a fachada noroeste diretamente exposta ao meio externo. Acredita-se que as paredes externas da sala 11, do Prédio 63, de maior capacidade térmica, possibilitaram menor perda de calor para o ambiente externo. No Prédio 63, embora o forro de pinho de 1 cm de espessura não apresente propriedades isolantes, a câmara de ar no desvão, de acentuada inclinação (47%) e cobertura de telhas francesas diminui as perdas de calor por meio da cobertura.

Outro fator importante é a orientação solar do Prédio 63, que também possui janelas na fachada nordeste, possibilitando assim, logo no início da manhã, a radiação solar no interior das salas, e consequentemente, o aquecimento passivo dos ambientes. Considera-se esta característica importante, tendo em vista que as menores temperaturas registradas corresponderam ao período da manhã.

Em relação ao Prédio 102, verificou-se que a sala 02, localizada em posição intermediária à edificação, apresentou temperaturas mais elevadas em relação à sala 01. Atribuiu-se esta questão ao fato de que este ambiente apresenta apenas

uma fachada, noroeste, totalmente exposta ao exterior, enquanto que a sala 01 apresenta duas fachadas nesta condição. Esta condição, provavelmente contribua para manter a sala 02 com temperaturas superiores, porque há menos perda de calor para o meio externo.

Também se observou que o fato de as salas 01 e 02 do Prédio 102 possuírem a fachada noroeste totalmente exposta ao meio externo, durante a tarde recebem radiação solar que favoreceu o aquecimento passivo destes ambientes. À noite a situação se inverteu, já que as paredes de menor espessura e o vidro contribuíram para a perda de calor para o exterior, e conseqüentemente, pela manhã, a sala estava mais fria do que à tarde.

Sobre a implantação do Prédio 63, o fato do mesmo possuir mais edificações no seu entorno e maior área pavimentada, provavelmente proporcionou uma condição de temperaturas mais elevadas. O Prédio 102, por sua vez, situa-se em meio a grande área com gramado e poucas edificações no seu entorno. Essa escassez de superfície de absorção contribuiu para o entorno com temperaturas mais baixas.

Sobre a unidade relativa, em relação ao Prédio 63, mais antigo, os valores no interior das salas 11 e 14 foram muito próximos. Também se verificou pouca diferença entre os valores desta variável nas salas 01 e 02 do Prédio 102, mais novo. Porém quando se compara as salas do Prédio 63 em relação ao Prédio 102, a umidade relativa deste último prédio é superior ao do primeiro. Esta situação pode ser facilmente percebida pela manhã, quando os vidros das janelas das salas 01 e 02 apresentam muita condensação. No prédio 63, durante toda a manhã a fachada nordeste, que recebe insolação direta, não há condensação nos vidros. Provavelmente esta condição decorre das particularidades do entorno imediato de ambos prédios em estudo. No caso do Prédio 63, embora tenha na orientação sudoeste uma massa de vegetação perene, apresenta mais edificações no seu entorno e maior área pavimentada, e, portanto, há uma condição climática com valores mais baixos de umidade relativa. Tal condição é diferente em relação ao Prédio 102, onde há uma grande área verde (cobertura de gramínea) no entorno imediato e poucas edificações ao seu redor.

4.1.1.2 Avaliações de Conforto Térmico segundo ASHRAE, Givoni e Olgyay

Em posse dos dados térmicos obtidos por medição *in loco*, procedeu-se a verificação da adequação da situação medida às condições de conforto propostas aos diversos autores.









Segundo o modelo adaptativo proposto pela ASHRAE (2004), para que se considere 90% de aceitabilidade da situação de conforto, é necessário verificar a média de temperatura externa. Desta forma, no dia da aplicação dos questionários, 27 de junho, a média de temperatura externa no turno da manhã, entre 8 e 12 horas, correspondeu a 11,15°C, enquanto que a média de temperatura externa no período da tarde, entre 14 e 18 horas, foi de 15,75°C. Através destes dados, alcançaram-se os valores da temperatura operativa de conforto nos dois turnos. Assim, segundo a ASHRAE (2004) se obteve os intervalos de temperaturas entre 19,5°C e 24,2°C no período da manhã, e entre 20,7°C e 25,4°C no período da tarde.

A faixa de conforto proposta por Givoni e adotada como referência na NBR 15.220, para Pelotas, apresenta valores entre 18°C e 27°C com umidade relativa entre 30 e 80%.

Por último, os valores de temperatura de conforto, segundo Olgyay, para Pelotas encontram-se entre 20,2°C e 25,8°C com umidade relativa entre 20 e 50%.

Verificou-se que no dia 27 de junho, entre os períodos das 8 às 12 horas e das 14 às 16 horas, as temperaturas nas salas avaliadas não atenderam aos intervalos de conforto citados anteriormente. A tabela 21 apresenta os valores dos intervalos de temperaturas estabelecidos pela ASHRAE, Givoni e Olgyay, e, em forma de diagrama, demonstra-se o não atendimento da condição de conforto de conforto térmico nas salas estudadas.

Tabela 21 – Resumo da verificação das salas 11 e 14 (Prédio 63) e das salas 01 e 02 (Prédio102) de acordo com os intervalos de temperaturas de conforto, segundo: ASHRAE, Givoni e Olgyay.

Referências	Conforto Térmico T. Mín – T. Max (°C)	Limites UR (%)	Prédio 63 T. (°C) Sala 11 e 14	Prédio 102 T. (°C) Sala 01 e 02
ASHRAE	19,5 - 24,2 (manhã) 20,7 - 25,4 (tarde)	-		
Givoni	18 - 27	30 - 50		
Olgyay	20,2 - 25,8 19,6 - 24,7	20 - 50 50 - 80		
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <div> Atendido</div> <div> Não atendido</div> </div>				

Esta situação nos revela que os ambientes escolares estudados necessitam de mecanismos e estratégias que proporcionem aquecimento interno, para que seja atendida a condição de conforto térmico aos seus usuários.

4.1.1.3 Avaliações de conforto térmico – Segundo a NBR 15.575 e NBR 15.220

A fim de verificar-se se salas analisadas atendem aos requisitos normativos estabelecidos pela NBR 15.220 (ABNT, 2005c) e pela NBR 15.575 (ABNT, 2013b), calcularam-se os valores de: Área de Abertura para a ventilação (%), Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (CT), Atraso Térmico (ϕ) e Fator Solar (%) de cada edificação, mostrados na tabela 22.

Tabela 22 - Comparação entre os Requisitos normativos e os dados calculados para os Prédios 63 e 102.

Requisito	NBR 15.220	NBR 15.575	Prédio 63	Prédio 102
Área Útil de Ventilação - A (%)	$15\% \leq A \leq 25\%$	$A \geq 7\%$	Sala 11 = 6,59% Sala 14 = 4,87%	Sala 01 = 6,68% Sala 02 = 14,69%
Transmitância Térmica U (w/m².k)	Paredes $U \leq 3,0$	Paredes $U \leq 2,5$	Paredes $U = 1,95$	Paredes $U = 2,24$
	Cobertura $U \leq 2,0$	Cobertura $U \leq 2,3$	Cobertura Verão $U = 2,04$ Cobertura Inverno $U = 2,38$	Cobertura Verão $U = 2,05$ Cobertura Inverno $U = 2,40$
Capacidade Térmica CT (Kj/m².k)	–	$CT \geq 130$	Paredes $CT = 537,12$	Paredes $CT = 185,55$
Atraso Térmico ϕ (horas)	Paredes $\phi \leq 4,3$	–	Paredes $\phi = 10,46$	Paredes $\phi = 3,86$
	Cobertura $\phi \leq 3,3$		Cobertura Verão $\phi = 0,80$	Cobertura Verão $\phi = 5,12$
Fator Solar FS (%)	Paredes $FS \leq 5,0$	–	Paredes $FS = 2,34$	Paredes $FS = 2,07$
	Cobertura $FS \leq 6,5$		Cobertura Verão $FS = 5,77$	Cobertura Verão $FS = 5,02$
Estratégia de Condicionamento Passivo	VERÃO Ventilação cruzada	–	VERÃO Ventilação cruzada Sala 11 e 14	VERÃO Ventilação cruzada Sala 02
	INVERNO Aquecimento Solar/ Vedações Internas Pesadas		INVERNO Aquecimento Solar/ Vedações Internas Pesadas	INVERNO Aquecimento Solar

Através dos resultados apresentados verifica-se que no Prédio 102, apenas a sala 02, atende aos requisitos de área de ventilação da NBR 15.575. Esta edificação apresenta maior área de ventilação que o Prédio 63, mais antigo. Esse resultado aparece, principalmente, em função do tipo de abertura característica das épocas edificatórias, ou seja, as janelas do Prédio 63 são do tipo basculante de ferro com menor possibilidade de ventilação, quando comparadas às aberturas do Prédio 102, que apresenta janelas do tipo maxim-ar, com maior área de abertura para ventilação.

Com relação à Transmitância Térmica das paredes, verifica-se que o Prédio 63 apresenta valores menores, portanto, sugere melhor desempenho térmico, já que apresenta maior resistência às trocas térmicas entre o meio externo e interno. Esse

fato é justificado pela presença do tijolo maciço que compõe paredes de maior espessura, que proporcionam maior isolamento térmico. Entretanto, para as coberturas das edificações em estudo, a diferença entre os valores de Transmitância térmica encontrada foi muito pequena. Esse fato ocorre porque a cobertura do Prédio 63, mais antiga, adota como solução construtiva a telha cerâmica, de bom desempenho térmico, porém possui forro de lambri de madeira, de baixo poder de isolamento. Já a cobertura do Prédio 102, característica das construções atuais, apresenta o telhado de fibrocimento sobre laje de concreto. No conjunto, a debilidade térmica do fibrocimento é minorada pela presença da laje de concreto, e assim com as devidas compensações, as duas coberturas acabam por apresentar valores semelhantes de Transmitância térmica.

Sobre a Capacidade Térmica das paredes, o Prédio 63, mais antigo, apresenta melhor resultado, pelo poder de acumulação maior do tijolo maciço frente ao tijolo furado que compõe as paredes do Prédio 102. Maior capacidade térmica consequentemente leva à condição de um Atraso térmico maior. Porém, em relação ao Atraso térmico da cobertura, verifica-se que somente o Prédio 102, atual, tendo como componente da cobertura uma laje de concreto, atende ao requisito da NBR 15.220, enfatizando-se que essa cobertura apresenta um valor de Atraso térmico muito superior ao do Prédio 63.

Para os valores de Fator Solar, constata-se que o Prédio 102, apresenta o menor valor, tanto no que diz respeito à avaliação das paredes, quanto da cobertura.

Assim, tratando-se das estratégias de condicionamento passivo, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas, sugeridas para a Zona Biclímática 2, na NBR 15.220, onde Pelotas se insere, observa-se que o Prédio 63, mais antigo, parece ser o mais adequado. Para uma melhor visualização dos dados apresentadas as tabelas 23 e 24, referente a cada uma das normas estudadas e optou-se por apresentar em forma de diagrama, o atendimento ou não aos requisitos normativos.

Tabela 23 - Resumo do cumprimento das diretrizes recomendadas – NBR 15.220

































































Requisitos	NBR 15.220	Prédio 63		Prédio102	
Área Útil de Ventilação A (%)	$15\% \leq A \leq 25\%$	Sala 11 	Sala 14 	Sala 01 	Sala 02 
Transmitância Térmica U (w/m².k)	Paredes $U \leq 3,0$				
	Cobertura $U \leq 2,0$				
Atraso Térmico ϕ (horas)	Paredes $\phi \leq 4,3$				
	Cobertura $\phi \leq 3,3$				
Fator Solar FS (%)	Paredes $FS \leq 5,0$				
	Cobertura $FS \leq 6,5$				
Estratégia de Condicionamento Passivo	VERÃO Ventilação cruzada	Sala 11 	Sala 14 	Sala 01 	Sala 02 
	INVERNO Aquecimento Solar/ Vedações Internas Pesadas	Sala 11 	Sala 14 	Sala 01 	Sala 02 
 Atendido  Não atendido					

Tabela 24 - Resumo do cumprimento das diretrizes recomendadas – NBR 15.575.

Requisitos	NBR 15.575	Prédio 63		Prédio102	
Área Útil de Ventilação A (%)	$A \geq 7\%$	Sala 11 	Sala 14 	Sala 01 	Sala 02 
Transmitância Térmica U (w/m².k)	Paredes $U \leq 2,5$				
	Cobertura $U \leq 2,3$ Verão/ Inverno	Sala 11 	Sala 14 	Sala 01 	Sala 02 
Capacidade Térmica CT (Kj/m².k)	$CT \geq 130$ Paredes				
<div> Atendido</div> <div> Não atendido</div>					

Embora a NBR 15.575 tenha sido elaborada para edifícios habitacionais, a tendência é que se transforme em indicativo de qualidade edificatória, sobretudo de edifícios institucionais, como é o caso do objeto deste estudo. A tabela 25 mostra o atendimento ou não aos requisitos da NBR 15.575 referente às temperaturas internas dos ambientes, no dia da aplicação do questionário, considerando os níveis de desempenho mínimo, intermediário e superior propostos pela norma.

Tabela 25 – Comparação entre os requisitos de temperatura interna, segundo a NBR 15.575, e os dados medidos para os prédios 63 e 102.

Nível de Desempenho	Critério	Prédio 63		Prédio 102	
		Tint. Sala 11 M (15,62°C)/ T (17,14°C)	Tint. Sala 14 M (15,23°C)/ T (16,76°C)	Tint. Sala 01 M (12,16°C)/ T (16,38°C)	Tint. Sala 02 M (13,32°C)/ T (17,52°C)
Mínimo	$T_{int} \geq T_{ext} + 3^{\circ}\text{C}$ M (13,99°C) T (19,99°C)	 	 	 	 
Intermediário	$T_{int} \geq T_{ext} + 5^{\circ}\text{C}$ M (15,99°C) T (21,38°C)	 	 	 	 
Superior	$T_{int} \geq T_{ext} + 7^{\circ}\text{C}$ M (17,99°C) T (23,38°C)	 	 	 	 
Tint = Temperatura interna; Text = Temperatura externa; M=Manhã; e, T=Tarde					

As salas 11 e 14 do Prédio 63, apresentaram valores de temperatura interna que atendem ao requisito de nível mínimo de desempenho térmico, no turno da manhã. Porém, para os níveis intermediário e superior, em ambos turnos, as salas dos prédios 63 e 102, não satisfazem estes requisitos normativos.

4.1.2 Avaliação da Resposta Perceptiva do Usuário

A avaliação da percepção do usuário frente às condições ambientais do ambiente escolar, sob ponto de vista térmico, envolveu a aplicação de um questionário de opinião, aplicado no dia 27 de junho do corrente ano, nos turnos da manhã e da tarde, às 10 horas e 16 às horas, respectivamente.

As respostas ao questionário foram organizadas em tabelas para facilitar a sua visualização. As tabelas 26, 27, 28 e 29, apresentam os resultados correspondentes aos aspectos de conforto térmico, observados pelos usuários nas salas 11 e 14 (Prédio 63), e nas salas 01 e 02 (Prédio 102).

No Prédio 63, constatou-se que a sala 14 é considerada pelos usuários, mais fria em relação à sala 11, nos turnos da manhã e da tarde. Verificou-se também que 100% dos usuários perceberam a presença de sol nas salas avaliadas, no turno da manhã. Porém à tarde esta situação somente é percebida na sala 11. Ambas as salas são frias, e em ambos os recintos mais da metade dos usuários percebeu a entrada de vento, sobretudo no turno da manhã, gerando como consequência o desconforto térmico. Com relação ao Prédio 102, a sala 02 foi avaliada como a mais fria pela manhã, quando comparada à sala 01. Porém à tarde, em ambas as salas houve predominância da sensação de conforto. Atribui-se esta circunstância à presença de sol no turno da tarde e a ausência de vento nestes ambientes.

Ao se comparar as salas localizadas nas extremidades dos prédios 63 e 102, verificou-se que a sala 01, do Prédio 102, é mais fria em relação à sala 11, do Prédio 63, durante a manhã. Porém à tarde a situação é inversa. Da mesma forma, ao se confrontar os resultados das salas intermediárias, de ambas as edificações, pela manhã a sala 02, do Prédio 102, foi eleita a mais fria. À tarde, a sala 14, do Prédio 63, apresentou menores temperaturas.















Nestas comparações torna-se evidente que as salas do Prédio 102 são consideradas mais frias pela manhã e as salas do Prédio 63, à tarde. Tal condição pode estar relacionada à orientação solar do Prédio 102, que recebe radiação solar direta, à tarde, através das janelas da fachada noroeste. Em relação ao comportamento das salas do Prédio 63, se deve levar em consideração a elevada capacidade térmica, das suas paredes externas em tijolos maciços com espessura de 33 cm, que retém o calor acumulado durante o dia e que, portanto, durante a manhã devem proporcionar temperaturas mais elevadas. Entretanto, possuindo a área dos ambientes e o pé-direito mais alto em relação às salas do Prédio 102, consequentemente apresentam volumes maiores a serem aquecidos. Também, observou-se infiltração de ar pelas janelas do tipo basculante de ferro, no Prédio 63. Provavelmente estas condições contribuíram para que as salas do prédio mais antigo apresentassem temperaturas mais baixas no período da tarde.

Também é importante considerar o efeito dos ventos no entorno das edificações em estudo. No caso do Prédio 63, através da implantação, observou-se que existem barreiras no seu entorno imediato, tratam-se das árvores de grande porte na fachada sudoeste e pelas próprias construções vizinhas muito próximas. Já no Prédio 102, verificou-se que este não apresenta barreiras naturais que amenizem

a incidência de ventos indesejáveis no mesmo. Nem barreiras construídas de modo a proteger a edificação. Tal efeito pode estar contribuindo para o aumento da sensação de frio, por parte dos usuários, do Prédio 102.

A fim de facilitar a compreensão sobre a discussão dos resultados, foi elaborada a tabela 30, que apresenta de forma resumida as variáveis consideradas na comparação dos prédios na avaliação do conforto térmico.

Tabela 30 – Resumo das variáveis consideradas na comparação dos prédios - Conforto Térmico.

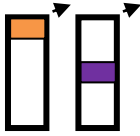


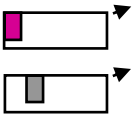


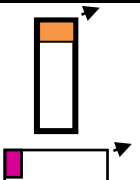


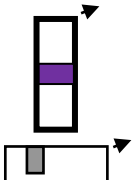


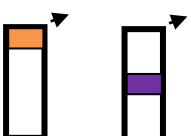



Prédio	Sistema construtivo	Fachadas expostas ao exterior	Tipologia das esquadrias	Orientação solar	Obstrução externa	Proteção - ventos
63	 Mais adequado	 Maior exposição	 Menos adequada	 Mais adequada	 Maior grau	 Maior grau
102	 Menos adequado	 Menor exposição	 Mais adequada	 Menos adequada	 Menor grau	 Menor grau
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <div> Mais adequado</div> <div> Menos adequado</div> </div>						

Os resultados da comparação entre o prédio 63 (1923) e o prédio 102 (2010) evidenciam que o prédio mais antigo apresentou mais características arquitetônicas passivas que favorecem ao bom desempenho térmico da edificação.

4.1.3 Comparação entre a Resposta Perceptiva dos Usuários e a Medição das Variáveis Físicas Ambientais – Conforto Térmico

Os dados referentes ao aspecto de conforto térmico, obtidos nos momentos da aplicação dos questionários, foram comparados aos resultados das medições. Estas informações foram organizadas, de modo resumido na tabela 31.

Tabela 31 – Comparação entre os resultados dos questionários e das medições *in loco* – Conforto Térmico.

Prédios/ Salas	Percepção dos Usuários	Medições <i>in loco</i> - Sensores	Comparação
	MANHÃ Sala 14 + FRIA	MANHÃ Sala 14 + FRIA (T11>T14) → Diferença (0,39°C) UR11= 63, % UR14=64,3%	
	TARDE Sala 14 + FRIA	TARDE Sala 11 + FRIA (T11<T14) → Diferença (1,14°C) UR11=60,2% UR14=58,2%	
	MANHÃ Sala 02 + FRIA	MANHÃ Sala 01 + FRIA (T01<T02) → Diferença (1,16°C) UR01=78,2% UR02=69,5%	
	TARDE Sala 01 e 02 CONFORTÁVEL	TARDE Sala 01 + FRIA (T01<T02) → Diferença (1,14°C) UR01=58,5% UR02=55,6%	
	MANHÃ Sala 01 + FRIA	MANHÃ Sala 01 + FRIA (T11>T01) → Diferença (3,46°C) UR11= 63,5% UR01=78,2%	
	TARDE Sala 11 + FRIA	TARDE Sala 01 + FRIA (T11>T01) → Diferença (0,76°C) UR11=60,2% UR01=58,5%	
	MANHÃ Sala 02 + FRIA	MANHÃ Sala 02 + FRIA (T14>T02) → Diferença (1,91°C) UR14=64,3% UR02=69,5%	
	TARDE Sala 14 + FRIA	TARDE Sala 02 + FRIA (T14>T02) → Diferença (0,76°C) UR14=58,2% UR02=55,6%	
 Sala 11 Sala 14 Prédio 63		 Sala 01 Sala 02 Prédio 102	
			
Correspondeu		Não correspondeu	
T – Temperatura das salas: 11 e 14 (Prédio 63), 01 e 02 (Prédio 102)			
UR – Umidade Relativa das salas: 11 e 14 (Prédio 63), 01 e 02 (Prédio 102)			

Em relação ao Prédio 63, a sala 14 foi considerada mais fria pelos usuários, no período da manhã, e da mesma forma, a temperatura no interior deste ambiente também se apresentou menor em relação à sala 11. Já à tarde, embora na sala 11 se tenha o registro de menor temperatura, esta não foi considerada mais fria pelos usuários. Mas, como a diferença de temperaturas foi de apenas, 1,14°C,

provavelmente esta ocorrência se deva à presença de sol no interior da sala 11, que pode ter influenciado a opinião do usuário.

No Prédio 102, a sala 02 foi avaliada como mais fria pela manhã, embora os resultados numéricos apontassem a sala 01 com temperatura menor. Neste caso, a diferença de $1,16^{\circ}\text{C}$ pode ser considerada pequena. À tarde, predominou a opção nem fria, nem quente, indicando uma condição de conforto, tanto na sala 01 quanto na sala 02. Da mesma forma, a diferença de temperatura ($1,14^{\circ}\text{C}$), indicando a sala 01 mais fria, também pode ser considerada pequena.

Na comparação entre as salas localizadas nas extremidades dos prédios 63 e 102, pela manhã, a opinião dos usuários correspondeu ao resultado das medições, ou seja, a sala 01 (Prédio 102) foi verificada como a mais fria. Já à tarde, a sala 11 (Prédio 63) foi considerada mais fria, embora a sala 02 (Prédio 102) tenha apresentado menor temperatura, porém de mínima e quase imperceptível diferença, de $0,76^{\circ}\text{C}$. Resultados semelhantes ocorreram nas salas intermediárias dos prédios estudados. Pela manhã a sala 02 (Prédio 102) foi indicada como a mais fria na opinião dos usuários e também apresentou menor valor de temperatura como resultado das medições. À tarde, a sala 14 (Prédio 63) foi percebida como a mais fria, mas as medições indicaram a sala 02 com temperaturas mais baixas. Porém como já foi dito nas considerações anteriores as diferenças foram tão pequenas que podem ser consideradas imperceptíveis para a avaliação dos usuários.

4.2 Resultados – Conforto Lumínico

A seguir foram apresentadas as características físico-espaciais importantes para a avaliação do conforto lumínico. Além dos resultados das medições lumínicas expostos em CIN (Contribuição de Iluminação Natural). Os prédios 63 e 102, respectivamente, também foram avaliados segundo os requisitos da NBR 8995-1. Posteriormente, realizou-se a avaliação da resposta perceptiva dos usuários das salas avaliadas. Por último, obteve-se a comparação entre a resposta perceptiva dos usuários e a medição das variáveis físicas ambientais.

4.2.1 Características Físico-espaciais das Salas de Aula

A fim de se avaliar o nível de aproveitamento da iluminação natural das salas de aula 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102, levantaram-se algumas características físico-espaciais das referidas salas, que podem ser observadas na tabela 32.

Tabela 32 - Características físico-espaciais das salas dos prédios 63 e 102.

Prédio	Salas	Parede/Cor (Refletância)	Piso/Cor (Refletância)	Teto/Cor (Refletância)	Esquadrias Tipo/ Material/ Cor (Refletância)
63	11/ 14	Alvenaria rebocada / Branca (66%)	Piso Cerâmico/ Branca (66%)	Forro madeira /marrom (21,9%)	Porta/ Madeira/ Azul (26,7%) Janela/ Ferro/ Marrom (29,2%)
102	01/ 02	Alvenaria rebocada/ Areia (64,3%)	Piso Cerâmico/ Branca (66%)	Laje rebocada/ Areia (64,3%)	Porta/ Madeira/ Branca (88,9%) Janelas/ alumínio/ Natural (85%)

Posteriormente foram apuradas as características físicas das janelas das salas estudadas, apresentadas na tabela 33. Nas figuras 33 e 34, são exibidas imagens das janelas tipo dos prédios 63 e 102.

Tabela 33 – Características físicas das janelas das salas 11 e 14 do Prédio 63, e das salas 01 e 02 do Prédio 102.

Prédio/ Sala	Dimensões (m) larg x alt /peitoril	Orientação solar	Área neta de vidro (m ²) / Transmitância	Relação área de janela/área do piso
Prédio 63 Sala 11	1,99 x 1,50/ 1,48	1 un. Nordeste	9,4/ 85%	20%
		1 un. Noroeste		
		2 un. Sudoeste		
Prédio 63 Sala 14	1,99 x 1,50/ 1,48	1 un. Nordeste	7,05/ 85%	15%
		2 un. Sudoeste		
Prédio 102 Sala 01	2,00 x 1,60/0,90	2 un. Noroeste	4,40 / 85%	13%
Prédio 102 Sala 02	2,00 x 1,60/0,90	2 un. Noroeste	7,20 / 85%	21%
	2,80 x 0,80/1,56	1 un. Sudeste		
	2,00 x 0,80/ 1,56	1 un. Sudeste		



Figura 33 - Janelas tipo das salas 11 e 14 do Prédio 63.



Janela 01



Janela 02

Figura 34 - Janelas tipo das salas 01 e 02 do Prédio 102. A primeira presente em ambas salas, e a segunda, presente apenas na sala 02.

Verificou-se que as salas 11 e 14 do Prédio 63, apresentaram maior potencial de refletância em relação às salas 01 e 02 do Prédio 102. Com relação às salas que possuem maior área de vidros (área neta), ou seja, o elemento construtivo que permite a iluminação natural, aponta-se em ordem decrescente: a sala 11 (Prédio 63), a sala 02 (Prédio 102), a sala 14 (Prédio 63) e a sala 01 (Prédio 102). Quanto à porcentagem das áreas de janelas em relação às áreas de piso dos ambientes, se observou que no Prédio 63, a sala 11 possui maior área de janelas em relação à sala 14. Já no Prédio 102, observou-se que a sala 02 apresenta maior área de aberturas.

Como instrumento de análise e compreensão dos resultados das medições lumínicas, foram desenvolvidas imagens externas dos prédios 63 e 102, através do programa Google SketchUP, que permite a visualização das sombras em diferentes momentos pré-estabelecidos. Adotou-se como referência de insolação, o mês de junho nos horários das medições: 8 horas, 10 horas, 12 horas, 14 horas, 16 horas e

18 horas, respectivamente. Na figura 35, estão representadas as fachadas nordeste, noroeste e sudoeste, respectivamente, do Prédio 63.



08 horas



10 horas



12 horas



14 horas



16 horas



18 horas

Figura 35 - Insolação e sombra nas fachadas nordeste, noroeste e sudoeste às 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas, do mês de junho, Prédio 63.

Na figura 36 são apresentadas duas imagens da fachada sudeste, e outra imagem que permite a visualização das fachadas noroeste e sudoeste, respectivamente, do Prédio 102.



08 horas



10 horas



12 horas



14 horas



16 horas



18 horas

Figura 36 – Insolação e sombra nas fachadas sudeste, noroeste e sudoeste às 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas, do mês de junho, Prédio 102.

Embora se tenha realizado observação *in loco*, as imagens acima apresentadas possibilitaram a validação do comportamento da incidência solar, nos horários correspondentes aos períodos das medições.

Verificou-se que o Prédio 102, recebe sombreamento da edificação vizinha às 8 horas da manhã. Também observou-se que a vegetação localizadas próximo às orientações noroeste e sudoeste, não proporcionam sombreamento no Prédio 102.

4.2.2 Resultado das Medições e da Verificação dos Requisitos Normativos

4.2.2.1 Resultado das Medições Lumínicas

As avaliações lumínicas nas salas de aula 11 e 14 do Prédio 63 foram realizadas nos dias 15 e 16 de junho deste ano, respectivamente. Foram capturadas imagens do céu nos horários das medições: 8 horas, 10 horas, 12 horas, 14 horas, 16 horas e 18 horas. Nos dias 15 e 16, o céu estava claro pela manhã e parcialmente encoberto à tarde (Figuras 37 e 38).



Figura 37 – Condições do céu no dia da medição (15/06/2013) na sala 11.



Figura 38 - Condições do céu no dia da medição (16/06/2013) na sala 14.

Os dados obtidos nas medições na sala de aula 11 podem ser observados na figura 39.

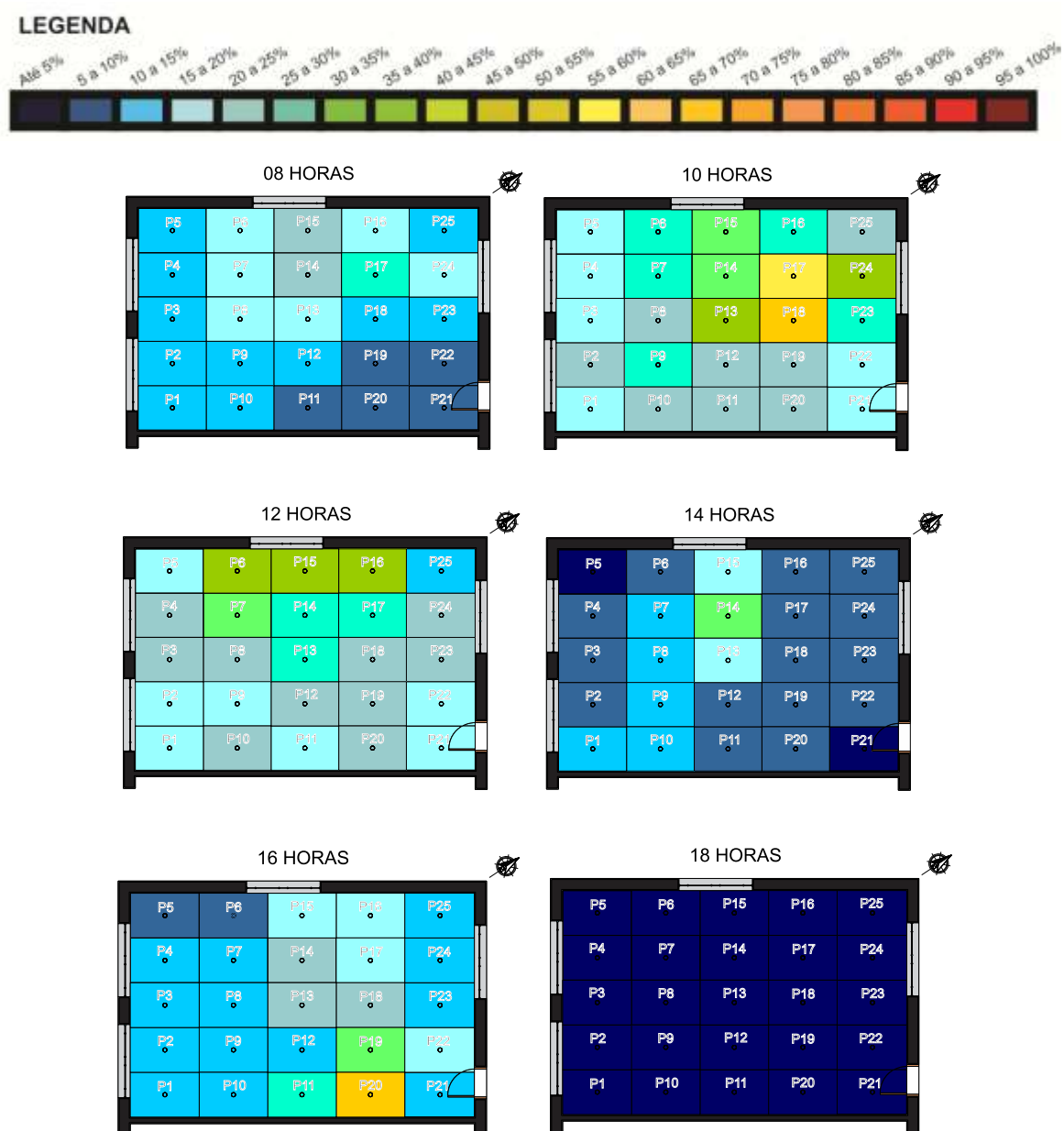


Figura 39 - CIN às 8, 10, 12, 14, 16 e 18h para a sala 11 do Prédio 63 (esquema gráfico sobre planta baixa).

Os dados obtidos nas medições na sala de aula 14 podem ser observados na figura 40.

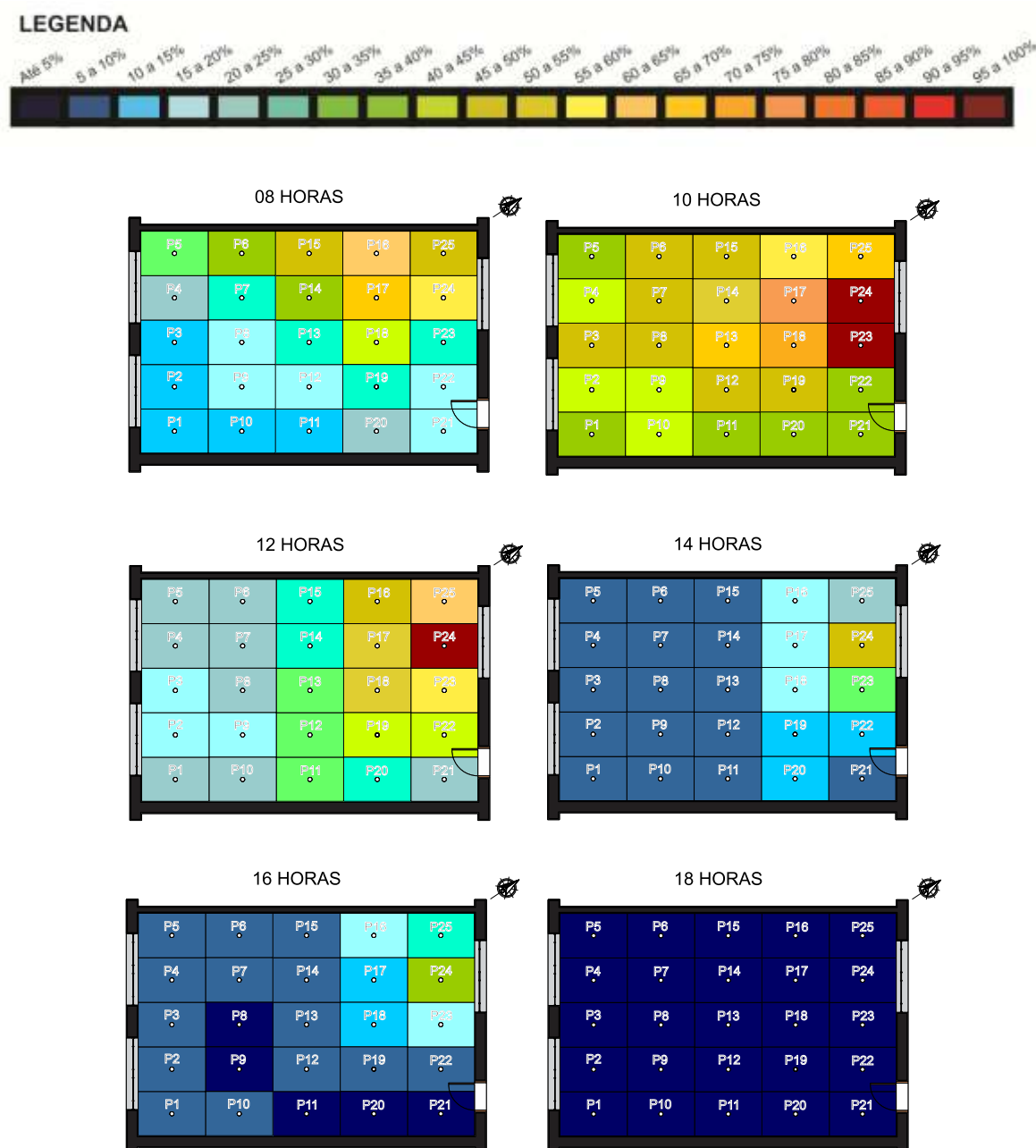


Figura 40 - CIN às 8, 10, 12, 14, 16 e 18h para a sala 14 do Prédio 63 (esquema gráfico sobre planta baixa).

As avaliações lumínicas nas salas de aula 01 e 02 do Prédio 102 foram realizadas nos dias 22 e 23 de junho deste ano, respectivamente. Foram capturadas imagens do céu nos horários das medições: 8 horas, 10 horas, 12 horas, 14 horas, 16 horas e 18 horas. No dia 22, o céu estava claro e sem nuvens pela manhã e a tarde. No dia 23, o céu estava parcialmente encoberto no início manhã, e ao longo do dia, permaneceu claro, praticamente sem nuvens (ver Figuras 41 e 42).

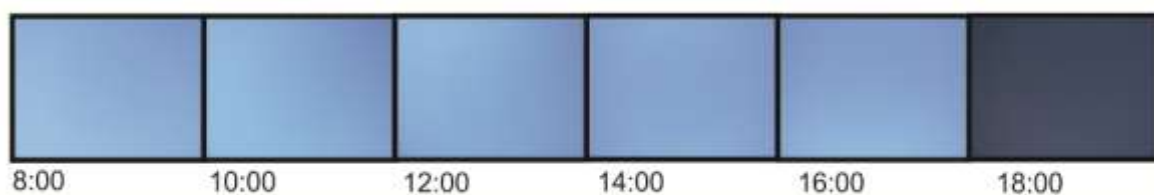


Figura 41 - Condições do céu no dia da medição (22/06/2013) na sala 01.

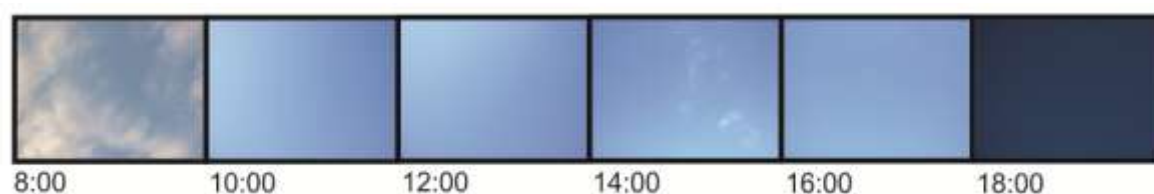


Figura 42 - Condições do céu no dia da medição (23/06/2013) na sala 02.

Os dados obtidos nas medições na sala de aula 01 podem ser observados nas figuras 43 e 44.

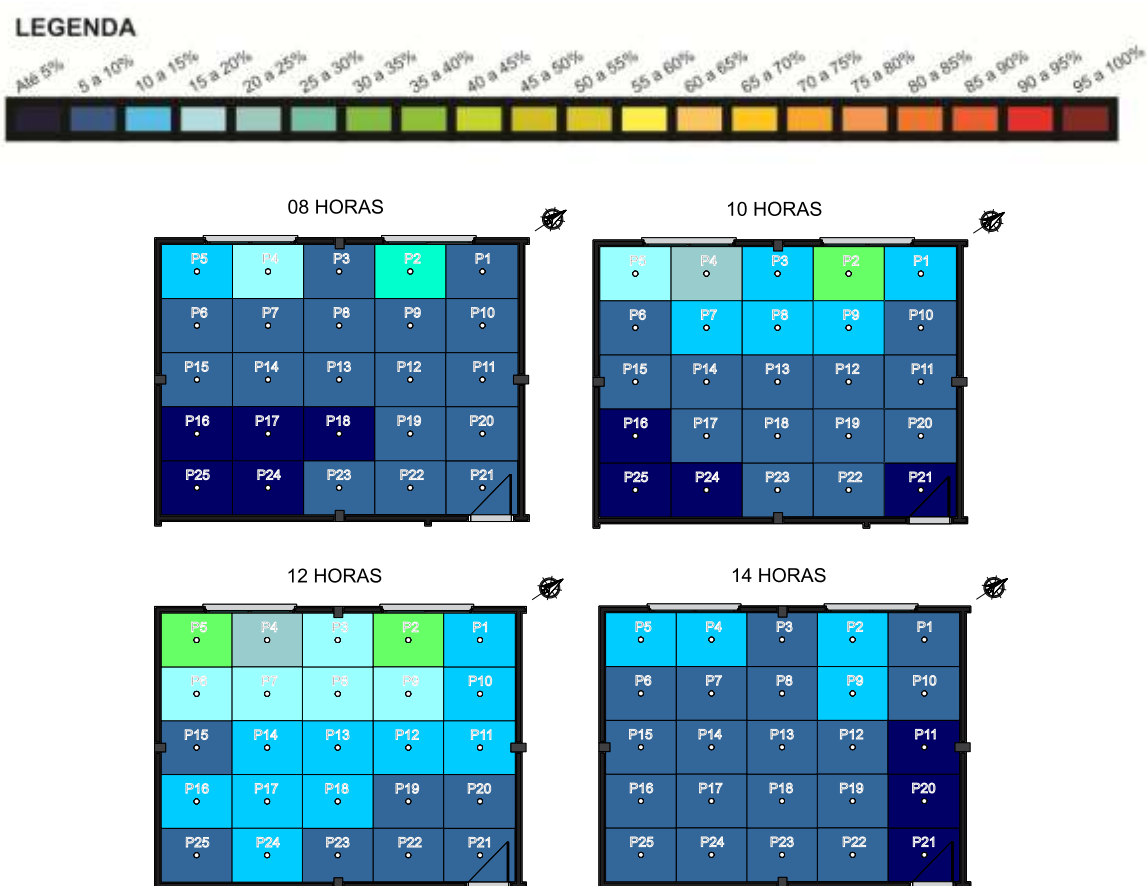


Figura 43 - CIN às 8, 10, 12 e 14h para a sala 01 do Prédio 102 (esquema gráfico sobre planta baixa).

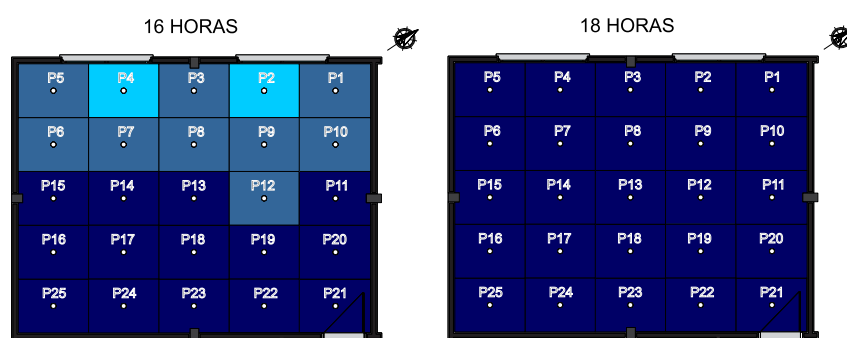


Figura 44 - CIN às 16 e 18h para a sala 01 do Prédio 102 (esquema gráfico sobre planta baixa).

Os dados obtidos nas medições na sala de aula 02 podem ser observados nas figuras 45 e 46.

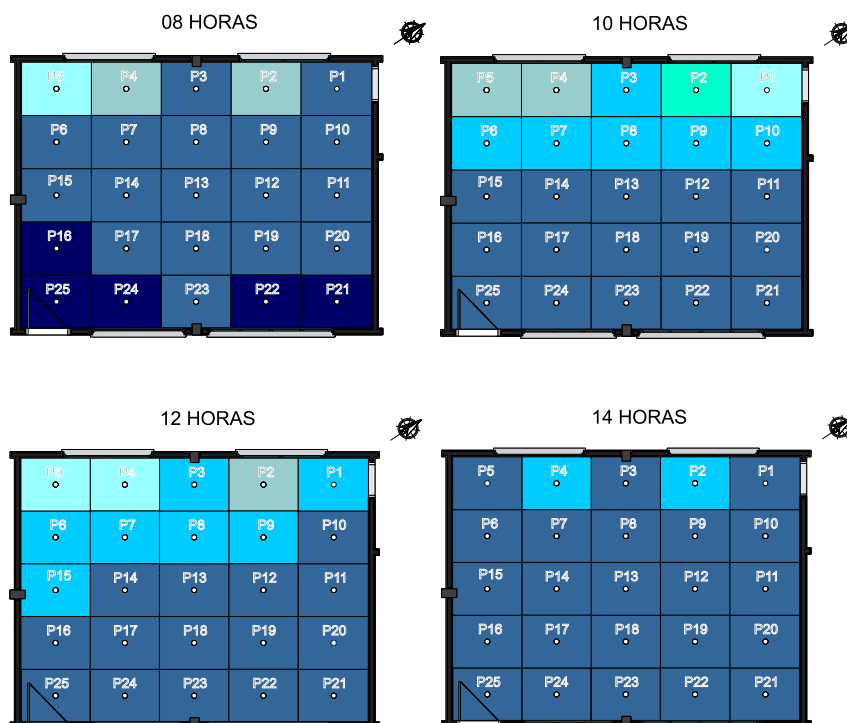
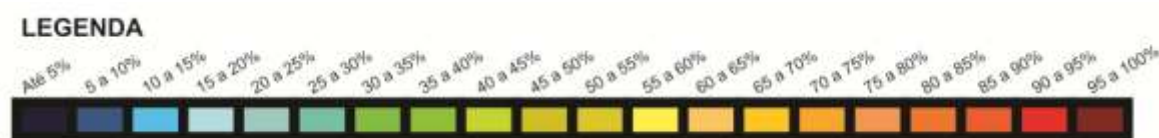


Figura 45 - CIN às 8, 10, 12 e 14h para a sala 02 do Prédio 102 (esquema gráfico sobre planta baixa).



Figura 46 – CIN às 16 e 18h para a sala 02 do Prédio 102 (esquema gráfico sobre planta baixa).

No Prédio 102, mantiveram-se as persianas abertas nos horários das 8, 10 e 12 horas, já nos horários das 14, 16 e 18 horas, as persianas foram fechadas, situação em condições normais de uso em dias com incidência solar direta na fachada noroeste das salas 01 e 02. Manteve-se no local, o mobiliário pertinente a cada sala avaliada. Assim, no Prédio 63, nas salas 11 e 14, além da mesa e da cadeira do professor, haviam 24 cadeiras estofadas com braço. Já no Prédio 102, nas salas 01 e 02, havia a mesa e a cadeira do professor, porém com apenas 20 cadeiras estofadas com braço.

Para a verificação dos resultados das medições lumínicas, tomou-se como referência as seguintes classificações de Contribuição de Iluminação Natural (CIN): abaixo de 1%, CIN muito baixo; 1 a 2%, CIN baixo; 2 a 4%, CIN moderado; 4 a 7%, médio; 7 a 12%, CIN elevado; e acima de 12%, CIN muito elevado, conforme parâmetros usuais internacionais.

Com relação aos resultados verificados no Prédio 63, observou-se que a sala 11 possui maior aproveitamento de iluminação natural quando comparada a sala 14. A sala 11 apresentou 82% dos pontos avaliados acima de 5% de Contribuição de Iluminação Natural (CIN), enquanto que na sala 14 se obteve 80% dos pontos acima desta porcentagem. Já no Prédio 102, verificou-se que a sala 02 apresentou melhor condição de aproveitamento da iluminação natural em relação à sala 01. Neste caso, na sala 02, obteve-se 74% dos pontos medidos acima de 5% de Contribuição de Iluminação Natural (CIN), enquanto que na sala 01, alcançou-se a porcentagem de 68% de CIN.

Comparado-se as salas localizadas nas extremidades das edificações, a sala 11, do Prédio 63, apresentou melhor aproveitamento da iluminação natural, em relação a sala 01, do Prédio 102. Da mesma forma, tratando-se das salas

intermediárias às edificações em estudo, a sala 14 do Prédio 63, demonstrou melhor condição lumínica em comparação à sala 02 do Prédio 102.

Nas avaliações lumínicas, precisamos lembrar o fato de que as salas do Prédio 102 possuem persianas internas, enquanto que o Prédio 63 não apresenta esta condição. Por este motivo, no Prédio 102, caso não fossem fechadas as persianas, haveria incidência solar direta no interior da sala no período da tarde, devido à orientação noroeste das janelas. Tal condição provavelmente elevaria o nível de aproveitamento da iluminação natural no interior dos recintos, nos horários das 14 e 16 horas, podendo causar ofuscamento, além de não revelar na real condição de uso, o nível de iluminância das salas de aula em dias ensolarados.

Também devemos considerar que se mantiveram os mobiliários nas quatro salas avaliadas, e por se tratarem-se de móveis de cores escuras, preto e azul, o percentual de refletância do piso branco de 66%, foi consequentemente reduzido em todas as salas estudadas.

Constatou-se também que o fato de a sala 14 apresentar pontos com melhor aproveitamento da iluminação natural, em relação à sala 11, teve como principal influência, o entorno imediato. Na sala 11, pela manhã, momento de maior incidência solar na fachada nordeste, há projeção de sombra das edificações do seu entorno. Já na sala 14, nesta mesma orientação, não existe obstrução por sombreamento. Ainda sobre a sala 14, também se observou que embora se tenha apenas uma janela na fachada nordeste, houve maior percentual de contribuição de iluminação natural nos pontos próximos desta esquadria nos períodos da tarde, em relação à fachada sudoeste, que possui, entretanto, duas janelas. Destaca-se principalmente o período das 16 horas, momento em que ocorre incidência solar na fachada sudoeste, e mesmo assim, apresentou menor percentual de aproveitamento da luz natural, próximo destas esquadrias. Contribuiu para este fato, a presença de vegetação perene na fachada sudoeste, que consequentemente proporciona o sombreamento sobre ela.

Observou-se que durante o período das 18 horas, não houve contribuição de iluminação natural em ambas salas avaliadas, pelo início da noite no inverno. Este fato pode ser evidenciado nas imagens que mostram a variação da incidência solar nas edificações dadas (ver Figuras 35 e 36). Observou-se que nos pontos de medição localizados na região mediana da sala 14 do Prédio 63, que apresentam janelas apenas nas fachadas opostas, houve menor percentual de contribuição de

iluminação natural (CIN). Esta condição indica a necessidade de previsão de iluminação artificial nesta porção intermediária da sala, a fim de manter a uniformidade da luminosidade no ambiente.

4.2.2.2 Avaliações de Conforto Lumínico – Segundo a NBR 8995 - 1

A verificação da adequação do nível de iluminação das salas avaliadas, representadas por valores de iluminância em lux, são apresentadas nas tabelas abaixo. Os resultados grifados em cinza representam os valores inferiores a 300 lux, ou seja, não atendem ao requisito da NBR 8995-1 (ABNT, 2013a), sobre os valores de iluminância mantida recomendado para salas de aula. A seguir são apresentadas as tabelas 34, 35, 36 e 37, com os resultados das medições das salas 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102, respectivamente.

Tabela 34 – Resultados das medições da sala 11 – Prédio 63

Horas Pontos	RESULTADOS EM LUX – SALA 11					
	08	10	12	14	16	18
01	157,2	752	1020	1517	881	0,0
02	168	888	891	1317	831	0,0
03	147,2	799	1183	1203	770	0,0
04	210,2	789	1069	1044	550	0,0
05	178,9	709	852	555	444	0,0
06	236,4	1195	1849	825	456	0,0
07	292,4	1092	1841	1349	631	0,0
08	254,5	919	1212	1339	754	0,0
09	194,3	1015	1050	1199	675	0,0
10	200,3	896	1047	1147	571	0,0
11	129,5	940	975	461	1371	0,0
12	179,6	975	1021	922	684	0,0
13	257,2	1453	1254	2084	1204	0,0
14	367	1383	1426	3756	1434	0,0
15	369	1340	1810	2042	1029	0,0
16	330,1	1088	1810	620	862	0,0
17	430	2350	1341	999	969	0,0
18	202,1	2786	1168	849	1184	0,0
19	162	880	1192	752	1903	0,0
20	146,2	823	1075	636	3920	0,0
21	86,8	725	810	375,3	686	0,0
22	109,4	772	1077	448	824	0,0
23	187,2	1177	1436	672	719	0,0
24	310,9	1463	1867	731	762	0,0
25	244,5	974	943	442	425	0,0

Valores Grifados em cinza – Inferiores a 300 lux

A sala 11 do Prédio 63 apresentou 70% dos pontos medidos com valores iguais ou acima de 300 lux. A sala 14 apresentou apenas 30% dos pontos com resultado iguais ou acima de 300 lux. Este resultado pode ser atribuído ao número de aberturas, à orientação solar dessas aberturas e à obstrução causada pela vegetação. A sala 11 possui uma janela (fachada noroeste) a mais em relação à sala 14, que recebe incidência solar direta no período da tarde. Além disso, observou-se que não existe obstrução por vegetação na fachada sudoeste, situação presente na sala 14.

Da mesma forma, considerando-se os 25 pontos medidos em cada um dos horários de medição, no Prédio 102, a sala 01 apresentou 68% dos pontos com valores iguais ou acima de 300 lux. Enquanto que a sala 02 apresentou 69% dos pontos com resultados superiores a 300 lux. Através destes valores, observou-se que as duas salas apresentam condições de nível de aproveitamento de luz natural, muito semelhantes. Ambas salas não apresentam vegetação ou obstrução por sombreamento de edificações vizinhas.

Ao se comparar as salas localizadas nas extremidades das edificações, a sala 11, do Prédio 63, apresentou maior porcentagem de iluminação, em relação à sala 01, do Prédio 102, com valores iguais ou acima de 300 lux, porém a diferença foi pequena, apenas 2%. Tratando-se das salas intermediárias estudadas, verificou-se que a sala 01, do Prédio 102, apresentou maior porcentagem de valores iguais ou acima de 300 lux, em relação à sala 14, do Prédio 63, porém com uma diferença de 38%.

Acredita-se que o fato da sala 14, do Prédio 63, apresentar muitos pontos com valores de iluminação inferiores ao estipulado pela norma, 300 lux, deve-se ao fato de possuir no seu entorno, vegetação perene na fachada sudoeste. Considera-se que esta condição esteja contribuindo para a considerável diminuição do nível de aproveitamento de iluminação natural, condição diferente da sala 02, do Prédio 102, que não apresenta obstrução externa ao seu redor.

Também foram verificadas as condições de uniformidade da iluminância no interior das salas dos prédios 63 e 102, apresentadas na tabela 38. Os resultados correspondem à média aritmética dos 25 pontos, dividido pelo menor valor de iluminância, nos respectivos horários das medições.

Tabela 39 – Uniformidade da iluminância no interior das salas 11 e 14 do Prédio 63, e das salas 01 e 02 do Prédio 102.

Horário (Horas)	Uniformidade da Iluminância				
	NBR 8995 -1	Prédio 63		Prédio 102	
		Sala 11	Sala 14	Sala 01	Sala 02
08	> 0,7	2,55	3,34	1,82	1,66
10		1,55	1,74	1,87	1,80
12		1,54	1,87	2,46	1,88
14		2,49	2,25	1,56	1,84
16		2,3	3,03	1,78	1,74
18		0,0	0,0	0,0	0,0

As salas 11 e 14 do Prédio 63, e as salas 01 e 02 do Prédio 102, apresentaram valores superiores a 0,7, e, portanto, atendem aos requisitos da NBR 8995 – 1 (ABNT, 2013a), quanto às condições de uniformidade da iluminância no interior das salas, nos horários das medições entre 8 horas e 16 horas. Às 18 horas, o céu já estava escuro, sem insolação.

4.2.3 Avaliação da Percepção do Usuário - Conforto Lumínico

A resposta ao questionário sobre às condições de conforto lumínico das salas estudadas são apresentadas nas tabelas 39, 40, 41 e 42.

Tabela 40 - Resultados do Questionário da Sala 11 (Prédio 63) – Conforto Lumínico.

CONFORTO LUMÍNICO - 16 Usuários (Manhã) e 13 Usuários (Tarde)						
1	Na sua opinião, a luz natural que entra no interior da sala é:	Muito fraca 0% (M) 0% (T)	Fraca 6,3% (M) 7,7% (T)	Nem fraca, nem forte 18,7% (M) 7,7% (T)	Forte 43,7% (M) 46,2% (T)	Muito forte 31,3% (M) 38,4 (T)
2	Como você avalia o nível de iluminação nesta sala:	Muito baixo 6,3% (M) 0% (T)	Baixo 12,5% (M) 0% (T)	Nem baixo, nem alto 31,2% (M) 53,8% (T)	Alto 50% (M) 30,8(T)	Muito alto 0% (M) 15,4 (T)

M – Manhã T - Tarde

No Prédio 63, na sala 11, a luz que entra no seu interior foi considerada forte nos períodos da manhã e da tarde pelos usuários. Além disso, o nível de iluminação foi avaliado como alto pela manhã e confortável à tarde. Este ambiente foi percebido como muito claro pela manhã e claro à tarde. Embora os usuários tenham afirmado que não precisam forçar os olhos para realizar as atividades em sala de aula, 100% dos usuários perceberam reflexos nos dois turnos considerados. Já na sala 14, a luz natural que entra no seu interior foi considerada forte pela manhã e fraca à tarde. Na sala 11, o nível de iluminação foi considerado alto pela manhã e confortável à tarde. Em relação à claridade da sala 14, esta foi definida como clara pela manhã e nem clara, nem escura à tarde. Nos dois turnos foi observada a necessidade de se forçar os olhos para a realização das atividades e a maioria dos usuários percebeu reflexos nocivos.

No Prédio 102, na sala 01, a maioria dos usuários da manhã percebeu a entrada de luz natural no interior deste recinto como fraca e confortável em igual número. Já à tarde predominou a indicação de conforto. Este ambiente foi considerado claro nos dois turnos. Pela manhã, os usuários indicaram que não há necessidade de forçar os olhos para a realização das atividades didáticas, porém à tarde 50% dos usuários indicou a situação inversa. Todos os usuários indicaram a presença de reflexos na sala 01. Na sala 02, pela manhã a entrada de luz natural foi indicada como forte, à tarde, como confortável. Enquanto que, o nível de iluminação foi avaliado como adequado pela manhã e alto à tarde. Nos dois turnos, os usuários consideraram este ambiente claro, e, embora não tenham indicado a necessidade de forçar os olhos para a realização das tarefas diárias, 100% dos usuários apontaram a presença de reflexos.

Ao se comparar os resultados das salas 11 e 01, dos prédios 63 e 102, respectivamente, verificou-se que, nas salas localizadas nas extremidades das edificações, a contribuição de iluminação natural é percebida como confortável. Também é esta a percepção quanto ao nível de iluminação. Ambos ambientes foram considerados claros, situação já esperada pela cor clara das paredes e do piso. Embora o teto da sala 11 seja de cor escura, o fato da sala ter o pé-direito alto de 4m, deve ter minimizado essa influência que poderia ter sido negativa sob o aspecto da distribuição da iluminação no interior das salas. Quanto ao esforço para a realização das atividades em sala de aula, sob a ótica do usuário, a sala 11 (Prédio

63), apresentou melhor condição, tendo em vista que somente na sala 01 (Prédio 102), no período da tarde, esta condição foi percebida.

Possivelmente, a situação acima descrita, aconteceu em função da orientação solar, noroeste, onde há incidência solar direta no ambiente, à tarde. Embora exista dispositivo de proteção interna, persianas verticais, estas estavam danificadas, possibilitando áreas com insolação dentro do ambiente. Também se atribuiu à questões de orientação solar, a presença de reflexos no interior dos ambientes. Esse evento foi percebido por 100% dos usuários da sala 01 (Prédio 102), e por 86,7% dos usuários da sala 11 (Prédio 63).












Quanto à verificação do conforto lumínico nas salas localizadas na região intermediária dos prédios onde se localizam, observou-se que à tarde, a contribuição de iluminação natural da sala 14 (Prédio 63) foi considerada fraca, enquanto que na sala 02 (Prédio 102), foi percebida como confortável. Provavelmente, esta condição também está diretamente relacionada à orientação solar. No prédio mais antigo, na sala 14, não havia insolação direta no momento da aplicação do questionário, 16 horas. Na sala 02 (Prédio 102), neste mesmo horário, havia incidência direta, porém ao manter-se a situação normal de uso, as persianas foram fechadas.

Também se acredita que no Prédio 63, nas salas 11 e 14, o nível de iluminação foi considerado confortável, e ainda, que as salas foram percebidas como espaços claros, pelas cores claras do piso e das paredes, que aumentou o nível de claridade interna das salas.

Outra questão relevante refere-se às salas localizadas na região intermediária das edificações. Na sala 14 do Prédio 63, mais antigo, foi verificada a necessidade de se forçar os olhos quando os usuários observam o quadro, nos momentos das atividades didáticas, no período da manhã e da tarde. No Prédio mais atual, na sala 02, esta situação não foi percebida pela maioria dos usuários deste ambiente, em ambos turnos. Justifica-se esta condição pelo tamanho das janelas e por não haver obstrução por vegetação no exterior da sala 02. Porém, nas duas salas os usuários percebem reflexos no quadro, lembrando que na sala 14 (Prédio 63) não há dispositivos de proteção interna contra a insolação direta, enquanto que na sala 02 (Prédio 102), embora haja esse elemento, como se encontra em precárias condições, possibilita a entrada da radiação solar. Observou-se a necessidade de manutenção das persianas para permitir o bloqueio total dos vãos, com possibilidades de redução dos reflexos indesejados.

A fim de facilitar a compreensão sobre a discussão dos resultados, foi elaborada a tabela 43, que apresenta de forma resumida as variáveis consideradas na comparação dos prédios na avaliação do conforto lumínico.

Tabela 45 – Resumo das variáveis consideradas na comparação dos prédios - Conforto Lumínico.

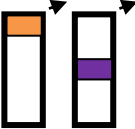




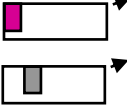









Prédio	Fachadas expostas ao exterior	Tipologia das esquadrias	Cor: piso, teto e paredes	Orientação solar	Obstrução externa
63	 Maior exposição	 Menos adequada	 Menos adequada	 Mais adequada	 Maior grau
102	 Menor exposição	 Mais adequada	 Mais adequada	 Menos adequada	 Menor grau
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div> Mais adequado</div> <div> Menos adequado</div> </div>					

Os resultados da comparação entre o prédio 63 (1923) e o prédio 102 (2010) evidenciam que o prédio mais novo apresentou mais características arquitetônicas passivas que favorecem ao bom desempenho lumínico da edificação.

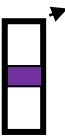





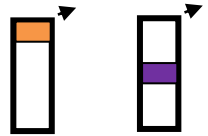



4.2.4 Comparação entre a Percepção dos Usuários e Medições – Conforto Lumínico

Os dados referentes às respostas ao aspecto de conforto lumínico, obtidos através dos questionários, foram comparados aos resultados das medições *in loco*. Estes dados são apresentados na tabela 44.

Tabela 46 – Comparação entre os resultados dos questionários e das medições *in loco* – Conforto Lumínico.

Prédios/ Salas	Percepção dos Usuários	Medições <i>in loco</i> (Valores acima de 300 Lux)	Comparação
	MANHÃ Sala 11 – Luz natural - FORTE/ Nível de iluminação - ALTO Sala 14 – Luz natural - FORTE Nível de iluminação – ALTO	MANHÃ Sala 11 - 74% Sala 14 - 53%	Sala 11 
			Sala 14 
	TARDE Sala 11 – Luz natural - FORTE/ Nível de iluminação - CONFORTÁVEL Sala 14 – Luz natural - FORTE Nível de iluminação - CONFORTÁVEL	TARDE Sala 11 - 66% Sala 14 - 9%	Sala 11 
			Sala 14 
	MANHÃ Sala 01 – Luz natural – FRACA A CONFORTÁVEL/ Nível de iluminação - CONFORTÁVEL Sala 02 – Luz natural - FORTE Nível de iluminação - CONFORTÁVEL	MANHÃ Sala 01 - 69% Sala 02 - 70%	Sala 01 
			Sala 02 
	TARDE Sala 01 – Luz natural - CONFORTÁVEL/ Nível de iluminação - CONFORTÁVEL Sala 02 – Luz natural - CONFORTÁVEL Nível de iluminação - ALTO	TARDE Sala 01 - 66% Sala 02 - 66%	Sala 01 
			Sala 02 
	MANHÃ Sala 11 – Luz natural - FORTE/ Nível de iluminação - ALTO Sala 01 – Luz natural – FRACA A CONFORTÁVEL/	MANHÃ Sala 11 - 74% Sala 01 - 69%	Sala 01 
			Sala 02 
	TARDE Sala 11 – Luz natural - FORTE/ Nível de iluminação - CONFORTÁVEL Sala 01 – Luz natural - CONFORTÁVEL/ Nível de iluminação - CONFORTÁVEL	TARDE Sala 11 - 66% Sala 01 - 66%	Sala 11 
			Sala 01 

Continuação da Tabela 44 - Comparação entre os resultados dos questionários e das medições *in loco* – Conforto Lumínico.

Prédios/ Salas	Percepção dos Usuários	Medições <i>in loco</i> (Valores acima de 300 Lux)	Comparação
 	MANHÃ Sala 14 – Luz natural - FORTE Nível de iluminação – ALTO Sala 02 – Luz natural - FORTE Nível de iluminação - CONFORTÁVEL	MANHÃ Sala 14 - 53% Sala 02 - 70%	Sala 14  Sala 02 
	TARDE Sala 14 – Luz natural - FORTE Nível de iluminação – CONFORTÁVEL Sala 02 – Luz natural - CONFORTÁVEL Nível de iluminação - ALTO	TARDE Sala 14 - 9% Sala 02 - 66%	Sala 14  Sala 02 
 Sala 11 Sala 14 Prédio 63		 Sala 01 Sala 02 Prédio 102	
 Correspondeu		 Não Correspondeu	

As salas 11 e 14 do Prédio 63, apresentaram um nível de iluminação alto de contribuição de iluminação natural na opinião dos usuários, no período da manhã. E, as medições também evidenciam que mais de 50% dos pontos avaliados apresentaram valores de iluminância acima de 300 Lux e, de acordo com o valor estabelecido pela NBR 8995-1. No período da tarde, na sala 14, os usuários continuaram percebendo a sala com bom desempenho lumínico, mas a porcentagem de pontos com iluminação igual ou acima de 300 lux foi inferior a 10%. No Prédio 102, considerando os turnos da manhã, na sala 01, o nível de contribuição de iluminação natural foi considerado de fraco a confortável. Da mesma forma, as medições revelaram que em mais de 60% dos pontos medidos havia nível de iluminação, de acordo com os parâmetros normativos. Já na sala 02, os usuários consideraram o nível de iluminação natural forte, correspondendo aos resultados das medições. No período da tarde, tanto na sala 01 quanto na sala 02, os usuários

consideraram adequado o nível de iluminação natural, ressaltando-se que na sala 02 a iluminação natural foi considerada alto. E, novamente, condizente com os resultados das medições lumínicas, onde 66% dos pontos apresentaram valores de iluminância iguais ou superiores a 300 lux.

Na comparação entre as salas localizadas nas extremidades das edificações, no turno da manhã, a sala 11 do Prédio 63, foi percebida pelos usuários com alto nível de iluminação natural. Na sala 01 do Prédio 102, a opinião dos usuários ficou dividida entre fraca e confortável. No turno da tarde, as respostas indicam que as salas são confortáveis sob o aspecto lumínico. As medições revelaram que mais de 65% dos pontos avaliados, nas salas 11 e 14, atenderam aos requisitos normativos, tanto pela manhã como pela tarde.

Em relação às salas localizadas na região intermediária dos prédios em estudo, verificou-se que os usuários perceberam a sala 14 (Prédio 63) e a sala 02 (Prédio 102) com nível de iluminação natural de alto a confortável, nos turnos da manhã e da tarde.

Observou que não houve correspondência entre a percepção do usuário e as medições, na sala 14, do Prédio 63, no turno da tarde. Acredita-se que a cor branca do piso, das paredes e do quadro, pode ter influenciado a percepção dos usuários, quanto ao aspecto da claridade da sala.

4.3 Resultados – Conforto Acústico

A seguir foram apresentados os valores do isolamento acústico dos componentes construtivos dos prédios 63 e 102. Além dos resultados do condicionamento acústico das salas avaliadas. Assim como, os resultados das medições acústicas. Os prédios 63 e 102, respectivamente, também foram avaliados segundo os requisitos da NBR 10.152. Posteriormente, realizou-se a avaliação da resposta perceptiva dos usuários das salas avaliadas. Por último, obteve-se a comparação entre a resposta perceptiva dos usuários e a medição das variáveis físicas ambientais.

4.3.1 Isolamento Acústico dos Componentes Construtivos

Para a avaliação das condições de isolamento acústico dos componentes construtivos dos prédios 63 e 102, verificaram-se as propriedades físicas dos materiais componentes das coberturas e das paredes, apresentadas na tabela 45.

Tabela 47 - Composição das coberturas e das paredes: Propriedades físicas dos materiais.

Edificação	Elemento	Material	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Massa (k/m ²)
Prédio 63	Cobertura	Telha francesa	0,014	1600	22,4
		Forro de pinho	0,01	500	5,0
		Camada de ar	2,40	1,225	2,94
	Paredes	Tijolo maciço	0,29	1800	522
		Rebocos: Interno e externo	0,02	1800	72
Prédio 102	Cobertura	Telha de fibrocimento	0,006	1800	10,8
		Laje de concreto	0,10	2400	240
		Camada de ar	0,72	1,225	0,88
	Paredes	Tijolo furado	0,09	1600	144
		Rebocos: Interno e externo	0,03	1800	108

A partir destas informações, calcularam-se os níveis de isolamento global das coberturas e das paredes dos prédios 63 e 102, apresentados na tabela 46.

Para a realização dos cálculos foram considerados apenas as paredes cegas e os vãos, que estão em contato direto com o ambiente externo. Assim, no Prédio 63, na sala 11, foram consideradas três fachadas, e na sala 14, apenas duas. No Prédio 102, tanto na sala 01 quanto na sala 02, consideraram-se duas fachadas.

Tabela 48 – Níveis de isolamento acústico global dos elementos construtivos dos prédios 63 e 102.

Edificação	Sala	Cobertura	Paredes	Cobertura+Paredes
Prédio 63	11	26 dB	52 dB	26 dB
	14		51 dB	26 dB
Prédio 102	01	42 dB	41 dB	30 dB
	02		38 dB	28 dB

No Prédio 63, as salas 11 e 14 apresentaram valores muito semelhantes de nível de isolamento acústico das paredes, com a diferença de apenas 1 dB. Da mesma forma, no Prédio 102, também foram pequenas as diferenças entre os resultados de isolamento acústico das paredes das salas 01 e 02, em torno de 3 dB.

Em relação à cobertura, o Prédio 102 apresentou melhor condição de isolamento acústico, com diferença de 16 dB em relação ao Prédios 63.

O fato de o Prédio 63 demonstrar melhor condição de isolamento acústico das paredes, está relacionado à composição de suas paredes de tijolo maciço rebocada, com espessura total de 33cm. Com relação às coberturas, o Prédio 102 apresentou melhor desempenho, em função da presença da laje de concreto rebocada, com espessura de 10cm.

Em relação ao nível de isolamento global, o Prédio 102 demonstrou melhor desempenho. Tal condição deve-se principalmente à existência da laje de concreto, que possui maior massa que o forro de pinho, do Prédio 63.

4.3.2 Condicionamento Acústico das Salas de Aula

Para a análise de condicionamento acústico das salas 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102, fez-se necessário o conhecimento do tempo de reverberação dos ambientes estudados. Na tabela 47, são apresentados os resultados dos tempos de reverberação das salas de aula analisadas (ver Apêndices D, E e F).

Tabela 49 – Resultados dos cálculos do Tempo de Reverberação dos prédios 63 e 102.

Tempo de Reverberação – Frequência de 500 Hz						
Requisitos	Prédio 63		Prédio 102			
	Sala 11	Sala 14	Sala 01		Sala 02	
			Persiana Aberta	Persiana Fechada	Persiana Aberta	Persiana Fechada
Absorção total calculada	19,7965	18,8124	12,557	13,8789	12,6510	13,9742
Absorção ideal	62,18	61,18	38,56		38,56	
Tempo de reverberação calculado (tr)	1,8806	1,9502	1,7198	1,5558	1,3140	1,5452
Tempo ótimo de reverberação (tor)	0,61	0,59	0,56		0,56	
Diferença percentual tr/tor	218,75%	219,71%	207,11%	177,83%	134,64%	175,93%
Tolerância: -10% e + 10%	0,531 - 0,649	0,594 - 0,671	0,504 - 0,616		0,504 - 0,616	

Para o tempo de reverberação calculado, adotou-se como referência a frequência média dos sons usuais, que é em torno de 500 Hz. Também se levou em consideração a situação de janelas e portas fechadas, por ter sido este o padrão de uso das esquadrias no momento da aplicação dos questionários.

No Prédio 63, em relação à absorção total calculada, verificou-se que foram pequenas variações entre as salas 11 e 14, e ainda, que ambas apresentaram valores muito abaixo dos valores de absorção ideal calculado para cada sala de aula. Consequentemente a diferença entre o percentual do tempo de reverberação calculado e o tempo ótimo de reverberação foi elevada, com diferenças percentuais acima de 218%, ligeiramente inferior na sala 11. No Prédio 102, em função da existência de dispositivos de proteção interna (persianas verticais) nas janelas da fachada noroeste, foram consideradas duas situações, uma com as persianas abertas e outra com as persianas fechadas. Os valores de absorção total das salas 01 e 02 também foram baixos em relação aos valores da absorção ideal calculados para estes ambientes. Verificou-se também, que a condição com a persiana fechada apresentou maiores valores de absorção calculada. Da mesma forma, a relação entre o percentual do tempo de reverberação calculado e o tempo ótimo de reverberação foi alta, com resultados superiores a 134%.

Para avaliação dos resultados apresentados, também foram consideradas as dimensões dos ambientes e o seu mobiliário. No caso do Prédio 63, as salas apresentam as dimensões internas maiores em relação às salas do Prédio 102. E, portanto, o prédio mais antigo possui ambientes com maior volume, com diferenças em torno de 96 m³. Quanto ao mobiliário, a diferença correspondeu ao número de cadeiras estofadas com braço. Nas salas do Prédio 63 foram consideradas 24 cadeiras, enquanto que para as salas do Prédio 102, 20 cadeiras, quantidades presentes nas salas estudadas no período da aplicação dos questionários. Verificou-se a necessidade de incrementação de materiais mais absorventes nas salas estudadas, já que nenhuma das salas apresenta tempo de reverberação adequado às atividades pedagógicas. Esse fato pode diminuir substancialmente a inteligibilidade das palavras nestes ambientes.

4.3.3 Resultado das Medições e da verificação dos requisitos normativos

4.3.3.1 Resultado das Medições Acústicas

As medições dos pontos internos e externos seguiram as recomendações da NBR 10.151 (ABNT, 2000). Coletaram-se dados de três pontos, distantes a 1,00m de superfícies refletoras, posicionados na porção intermediária das salas. O resultado do valor interno de cada sala avaliada, correspondeu à média dos valores medidos nos três pontos internos. Nas medições externas, obtiveram-se dados de dois pontos, um próximo da fachada com maior número de vãos e outro próximo da fachada onde está localizada a porta de acesso, espaço esse de circulação dos usuários. Nos locais externos das edificações, o decibelímetro estava localizado a mais de 2,00m de distância em relação às paredes, e a 1,20m de altura do piso. Na tabela 48 são apresentados os resultados das medições acústicas no interior e no exterior das salas 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102, nos turnos da manhã e da tarde, respectivamente.

Tabela 50 - Resultados das medições acústicas das salas 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102, nos turnos da manhã e da tarde.

Prédio/ Salas	Turno - Manhã		Turno - Tarde	
	Média 03 pontos Internos (dB)	Média 04 pontos Externos (dB)	Média 03 pontos Internos (dB)	Média 04 pontos Externos (dB)
Prédio 63 Sala 11	51	53	53	57
Prédio 63 Sala 14	52		55	
Prédio 102 Sala 01	47	52	47	52
Prédio 102 Sala 02	45		41	

Sobre as salas do Prédio 63, os resultados revelaram que há uma pequena diferença em relação aos níveis de ruídos internos apresentados em ambos turnos, tanto na sala 11 quanto na sala 14, em torno de 3 dB. Em relação ao meio externo, também houve pouca variação, sendo o maior nível identificado na sala 11, no turno da tarde, com diferença de 5 dB. No Prédio 102, na sala 01, observou-se que os

valores foram idênticos nos turnos da manhã e da tarde. Na sala 02 se verificou a diferença de 4 dB, em relação aos dois turnos. Sobre a comparação entre os valores internos e externos, verificou-se maior discrepância na sala 02, no turno da tarde, resultando em diferenças de 11 dB de nível sonoro.

Comparando-se as salas localizadas nas extremidades das edificações, verificou-se que a sala 11, do Prédio 63, apresentou níveis de ruídos internos superiores aos da sala 01, do Prédio 102, com variações em torno de 6 dB no turno da tarde. Já em relação aos níveis de ruído aéreos externos, foi o Prédio 102 que apresentou maior nível de ruído. Sobre as edificações localizadas na região intermediária das edificações, também a sala 14 do Prédio 63, apresentou pior situação, com níveis de ruídos superiores aos da sala 02, em ambos turnos, sendo que a diferença maior foi verificada no turno da tarde, diferenças de nível acústico em torno de 14 dB.











Também foi importante considerar a posição dos ventos dominantes, que segundo a Estação Agroclimatológica de Pelotas (ver Anexo C), para o período experimental, indicava a probabilidade de ventos oriundos da orientação sul. Se esta condição ocorreu, provavelmente contribuiu para a propagação dos sons da rua de acesso principal, que possui tráfego de veículos, em direção ao Prédio 63. Em relação ao Prédio 102, na direção sul existem edificações que provavelmente bloqueiam os sons provenientes de ruídos aéreos externos. Observa-se que a movimentação de usuários e a presença de ruídos aéreos externos é superior no entorno do Prédio 63. Também se acredita que as árvores que existem ao redor do prédio mais antigo, também estejam contribuindo para amenizar os ruídos externos, devido à absorção acústica promovida pela vegetação. Os níveis de ruídos aéreos externos medidos em ambas edificações obtiveram valores semelhantes, embora havendo diferenças na intensidade de geração de ruídos no entorno de cada edificação estudada.

As pequenas diferenças observadas entre os níveis de ruído internos e externos, principalmente do Prédio 63, se deram, provavelmente pelo fato de que as janelas do tipo basculante em ferro já não proporcionam a vedação adequada das salas 11 e 14. Também identificou-se que nas salas 01 e 02 do Prédio 102, as janelas apresentavam frestas que diminuíram substancialmente, a condição de isolamento acústico dos ambientes.

4.3.3.2 Avaliações de Conforto Acústico – Segundo a NBR 10.152

A fim de se verificar a adequação das salas 11 e 14 do Prédio 63 e das salas de aula 01 e 02 do Prédio 102 quanto aos níveis de ruído para salas de aula, requeridos pela NBR 10.152, comparam-se os requisitos normativos com os níveis de ruído verificados nas medições acústicas, apresentados na tabela 49.

Tabela 51 – Comparação entre os requisitos da NBR 10.152 e os valores de níveis de ruído verificados no interior das salas 11 e 14, do Prédio 63, e das salas 01 e 02, do Prédio 102.

Requisitos	Prédio 63				Prédio 102			
	Sala 11		Sala 14		Sala 01		Sala 02	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
40 – 50 dB	51 dB	53 dB	52 dB	55 dB	47 dB	47 dB	45 dB	41 dB
								
 Atendido				 Não atendido				

Verificou-se que apenas as salas do Prédio 102, atenderam aos requisitos da NBR 10.152, quanto ao nível de ruído para ambientes de salas de aula. Salienta-se entretanto, que os valores dos níveis de ruído verificados nas salas 11 e 14 do Prédio 63, ficaram muito próximos do valor máximo aceitável de acordo com a normativa em questão.

Em função das análises realizadas, acredita-se que o principal responsável pelo não atendimento aos requisitos normativos, ou o nível sonoro superior aos recomendados, nas salas 11 e 14, do Prédio 63, foram as frestas existentes nas janelas basculantes. Tal condição de baixa manutenção acabou por possibilitar a transmissão dos ruídos aéreos externos para o interior dos ambientes.

4.3.4 Avaliação da Percepção do Usuário – Conforto Acústico

A avaliação da reposta perceptiva do usuário do ambiente escolar, sob o ponto de vista acústico, envolveu a aplicação de um questionário de opinião, aplicado simultaneamente às medições técnicas, já previamente aqui explicado.

As respostas ao questionário foram organizadas em tabelas para facilitar a sua visualização. As tabelas 50, 51, 52 e 53, apresentam os resultados correspondentes aos aspectos de conforto acústico, das salas 11 e 14 (Prédio 63),

Constatou-se que nas salas 11 e 14, do Prédio 63, todos os participantes reconheceram existir sons que influenciam na concentração em sala de aula. Destes, em torno de 80% afirmaram ser esta influência negativa. Entre 23 e 30% dos usuários afirmaram ser estes sons oriundos principalmente, de trânsito de veículos. Entre 66 e 90% indicaram que ouvem bem a voz de quem fala em sala de aula. Com relação às salas 01 e 02, do Prédio 102, mais de 70% dos usuários indicaram existir sons que influenciam na concentração no momento das atividades que envolvem o ensino. Entre 80 e 85% dos usuários afirmaram que esta influência é negativa e que os sons nocivos são provenientes principalmente de atividades nas salas vizinhas. Mas mais de 83% dos usuários pronunciaram que ouvem bem a voz de quem fala nestes ambientes. Nas quatro salas avaliadas, a opinião dos usuários do turno da manhã correspondeu às respostas dos usuários do turno da tarde de aula. Esta condição indica que os ruídos no entorno imediato e no interior das salas não sofrem variações significativas ao longo do dia.

Ao se comparar o comportamento frente ao ruído, sob o ponto de vista do usuário, as salas localizadas nas extremidades dos prédios 63 e 102, as salas 11 e 01, respectivamente, verificou-se que há diferenças no tipo de som que influencia de forma negativa às atividades nestes ambientes. Na sala 11, do Prédio 63, os sons são provenientes principalmente do trânsito de veículos. Já na sala 01, do Prédio 102, as fontes de ruídos são oriundas principalmente de conversas no corredor.













Da mesma forma, ao se confrontar os resultados das salas intermediárias, de ambas as edificações, observaram-se diferenças quanto à origem dos sons. Na sala 14, do Prédio 63, os sons foram provenientes principalmente de trânsito de veículos; na sala 02, do Prédio 102, os usuários indicaram como causa, os ruídos gerados nas salas vizinhas.

Sobre a origem dos sons, os usuários que manifestaram sua livre opinião, apontaram os ruídos provenientes dos aviões, fato decorrente da localização da instituição estudada nas proximidades do aeroporto da cidade. Alguns usuários manifestaram que são prejudicados pelos ruídos oriundos do cortador de grama e de serras em uso na carpintaria situada próxima do Prédio 63.

Nestas observações torna-se evidente que as salas do Prédio 63 sofrem com a influência dos sons gerados no meio externo, sendo esta condição, consequência da sua implantação.

A fim de facilitar a compreensão sobre a discussão dos resultados, foi elaborada a tabela 54, que apresenta de forma resumida as variáveis consideradas na comparação dos prédios na avaliação do conforto acústico.

Tabela 56 – Resumo das variáveis consideradas na comparação dos prédios – Conforto Acústico.

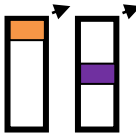




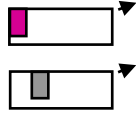




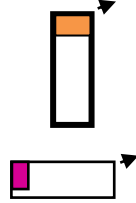




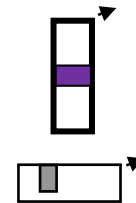




Prédio	Sistema construtivo	Fachadas expostas ao exterior	Tipologia das esquadrias	Obstrução externa	Proteção - ventos
63	 Mais adequado	 Maior exposição	 Menos adequada	 Maior grau	 Maior grau
102	 Menos adequado	 Menor exposição	 Mais adequada	 Menor grau	 Menor grau
<div>  Mais adequado  Menos adequado </div>					

Os resultados da comparação entre o prédio 63 (1923) e o prédio 102 (2010) evidenciam que o prédio mais novo apresentou mais características arquitetônicas passivas que favorecem ao bom desempenho acústico da edificação.

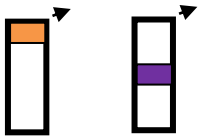



4.3.5 Comparação entre a Percepção dos Usuários e Medições – Conforto Acústico

Os dados referentes ao aspecto de conforto acústico, relativos à resposta perceptiva do usuário, foram comparados aos resultados das medições. Estas informações foram organizadas, de modo sucinto, na tabela 55.

Tabela 57 – Comparação entre os resultados dos questionários e das medições *in loco* – Conforto Acústico.

Prédios/ Salas	Percepção dos Usuários	Medições <i>in loco</i>	Comparação
	MANHÃ - Salas 11 e 14 Percebem sons perturbadores/ Origem: Trânsito de veículos Boa inteligibilidade dos sons	MANHÃ Sala 11 51 dB (Int.)/ 53 dB (Ext.) Sala 14 52 dB (Int.)/ 53 dB (Ext.)	Sala 11 
			Sala 14 
	TARDE - Salas 11 e 14 Percebem sons perturbadores/ Origem: Trânsito de veículos Boa inteligibilidade dos sons	TARDE Sala 11 53 dB (Int.)/ 57 dB (Ext.) Sala 14 55 dB (Int.)/ 57 dB (Ext.)	Sala 11 
			Sala 14 
	MANHÃ - Salas 01 e 02 Percebem sons perturbadores/ Origens: Conversas no corredor – sala 01/ Atividades nas salas vizinhas – sala 02 Boa inteligibilidade dos sons	MANHÃ Sala 01 47 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.) Sala 02 45 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.)	Sala 01 
			Sala 02 
	TARDE - Salas 01 e 02 Percebem sons perturbadores/ Origens: Conversas no corredor – sala 01/ Atividades nas salas vizinhas – sala 02 Boa inteligibilidade dos sons	TARDE Sala 01 47 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.) Sala 02 41 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.)	Sala 01 
			Sala 02 
	MANHÃ - Salas 11 e 01 Percebem sons perturbadores/ Origens: Trânsito de veículos sala 11/ Conversas no corredor – sala 01 Boa inteligibilidade dos sons	MANHÃ Sala 11 51 dB (Int.)/ 53 dB (Ext.) Sala 01 47 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.)	Sala 11 
			Sala 01 
	TARDE - Salas 11 e 01 Percebem sons perturbadores/ Origens: Trânsito de veículos sala 11/ Conversas no corredor – sala 01 Boa inteligibilidade dos sons	TARDE Sala 11 51 dB (Int.)/ 57 dB (Ext.) Sala 01 47 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.)	Sala 11 
			Sala 01 
	MANHÃ - Salas 14 e 02 Percebem sons perturbadores/ Origens: trânsito de veículos sala 14/ Atividades nas salas vizinhas – sala 02 Boa inteligibilidade dos sons	MANHÃ Sala 14 52 dB (Int.)/ 53 dB (Ext.) Sala 02 45 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.)	Sala 14 
			Sala 02 
	TARDE - Salas 14 e 02 Percebem sons perturbadores/ Origens: trânsito de veículos sala 14/ Atividades nas salas vizinhas – sala 02 Boa inteligibilidade dos sons	TARDE Sala 14 55 dB (Int.)/ 57 dB (Ext.) Sala 02 41 dB (Int.)/ 52 dB (Ext.)	Sala 14 
			Sala 02 

Continuação da Tabela 54 - Comparação entre os resultados dos questionários e das medições *in loco* – Conforto Acústico.

 <p>Sala 11 Sala 14</p> <p>Prédio 63</p>	 <p>Sala 01 Sala 02</p> <p>Prédio 102</p>
 <p>Correspondeu</p>	 <p>Não correspondeu</p>

Através das comparações, observou-se que foram pequenas as diferenças entre os valores das medições nos turnos da manhã e da tarde, no interior de ambas edificações. E ainda que, a opinião do usuário correspondeu às medições, quanto ao ruído, nas salas do Prédio 102. Observou-se que o Prédio 102 apresenta menos construções no seu entorno, em relação ao Prédio 63, e, portanto, menor fluxo de usuários, além de estar localizado distante das vias de circulação de veículos. Assim, conseqüentemente os usuários das salas do Prédio 102, perceberam menos os ruídos externos.

4.3.6 Outras Questões Perceptivas do Usuário

A fim de se identificar quais aspectos do conforto ambiental que mais influenciariam os usuários das salas de aula, submeteram-se duas questões abertas sobre as condições de conforto e desconforto nestes ambientes. Também foram caracterizados os respondentes através de respostas às perguntas sobre faixa etária e sexo.

As respostas dos usuários sobre a percepção das salas de aula e seus dados pessoais são apresentadas nas tabelas abaixo. Na tabela 52, podem ser observados os resultados das salas 11 e 14 do Prédio 63. Na tabela 53, foram apresentados os resultados das salas 01 e 02 do Prédio 102. As questões abertas possibilitaram várias respostas, porém aquelas com o mesmo sentido foram agrupadas. Os termos apresentados nas tabelas 56 e 57 correspondem àqueles respondidos com maior frequência pelos usuários.

Tabela 58 – Resultados da resposta livre dos usuários das salas de aula 11 e 14, do Prédio 63, quanto às questões de conforto e desconforto.

Prédio 63					
Sala	Turno	05 coisas que você enumera que mais contribuem no conforto nesta sala:	05 coisas que você enumera que mais influenciam no desconforto nesta sala:	Idade (anos)	Sexo
11	Manhã	Entrada de sol no inverno Temperatura Clareza Piso claro	Sala fria Sala muito clara Reflexos no quadro Ruídos internos e externos	(13 – 18) 87,4 % (19 – 30) 6,3 % (31 – 65) 6,3 %	Feminino 25% Masculino 75%
	Tarde	Sol no inverno Boa iluminação	Sala fria Ruídos externos Sala muito clara Reflexos no quadro	(13 – 18) 84,6% (19 – 30) 15,4 %	Feminino 30,8% Masculino 69,2%
14	Manhã	Sol Luz natural Acústica	Sala fria Barulhos externos Falta de cortinas Reflexos no quadro	(13 – 18) 72,7% (19 – 30) 27,3 %	Feminino 27,3% Masculino 72,7%
	Tarde	Janelas Lâmpadas Acústica	Barulhos externos Reflexos no quadro Faltam cortinas Sala escura Piso frio	(13 – 18) 60% (19 – 30) 40 %	Feminino 20% Masculino 80%

Tabela 59 - Resultados da resposta livre dos usuários das salas de aula 01 e 02, do Prédio 102, quanto às questões de conforto e desconforto.

Prédio 102					
Sala	Turno	05 coisas que você enumera que mais contribuem no conforto nesta sala:	05 coisas que você enumera que mais influenciam no desconforto nesta sala:	Idade (anos)	Sexo
01	Manhã	Iluminação natural Janelas Luz artificial	Sala fria Persianas quebradas Reflexos no quadro Barulhos (corredor)	(13 – 18) 90% (19 – 30) 10 %	Feminino 50% Masculino 50%
	Tarde	Cortinas Luminosidade Luz artificial	Cortinas quebradas Reflexos no quadro Barulhos externos Eco	(13 – 18) 100%	Feminino 33,4% Masculino 66,6%
02	Manhã	Iluminação Posição do quadro	Sala fria Reflexos no quadro Sala muito clara Conversas no corredor Eco	(13 – 18) 71,4% (19 – 30) 14,3% (31 – 65) 14,3%	Feminino 71,4% Masculino 28,6%
	Tarde	Sol Iluminação	Sala fria Reflexos no quadro Barulhos externos Eco	(13 – 18) 83,3% (19 – 30) 16,7 %	Feminino 66,6% Masculino 33,4%

Na sala 11, do Prédio 63, nos turnos da manhã e da tarde, os usuários indicaram o sol como o principal elemento que contribui para a condição de conforto no ambiente, e ainda, que favorece a boa condição de luminosidade do local. Porém, manifestaram que o fato de a sala ser fria, de haver a presença de reflexos no quadro e de ruídos externos, contribui para sensação de desconforto no recinto. Na sala 14, pela manhã, o sol continua sendo um fator de relevância para a condição de conforto, enquanto que à tarde, os usuários consideraram a iluminação artificial, identificada nas respostas com o termo lâmpadas, como aspecto favorável para a esta situação. Também indicaram boas condições de conforto acústico nas salas estudadas, provavelmente referindo-se ao grau de entendimento das palavras no interior da sala. Sobre a questão que envolve o desconforto, em ambos turnos, as respostas foram semelhantes. Apontaram que a sala é fria, que ouvem ruídos externos, que percebem reflexos no quadro e que há necessidade de cortinas nos ambientes. Especificamente à tarde, indicaram que o fato de ser um ambiente escuro, contribui para a sensação de desconforto. Em ambas salas, nos dois turnos, a maior parte dos respondentes tinha entre 13 e 18 anos, e a maioria era do sexo masculino.

Na sala 01, do Prédio 102, no turno da manhã, a iluminação natural e as janelas do ambiente foram mencionadas como elementos que contribuem para a condição de conforto, enquanto que à tarde, indicaram as cortinas como componente fundamental para essa condição. Em ambos turnos os usuários apontaram a iluminação artificial como fator positivo. Em relação ao desconforto, os usuários indicaram o fato de a sala ser um ambiente frio, como o principal responsável por tal condição no período da manhã, assim como a falta de manutenção das persianas. Os reflexos no quadro e os ruídos oriundos do corredor também foram apontados como elementos que proporcionam o desconforto. Na sala 02, como aspecto favorável para a condição de conforto, os usuários destacaram que o ambiente possui boa iluminação em ambos turnos. À tarde, também indicaram o sol como fator responsável pela sensação de bem-estar. Em relação ao desconforto, tanto pela manhã quanto pela tarde, os respondentes apontaram que o fato de a sala ser fria, apresentar problemas de reflexos no quadro e a presença de ruídos externos, principalmente aqueles oriundos do corredor, contribuem para a sensação de desconforto. Os usuários foram caracterizados como adolescentes, na sala 01 a maioria era do sexo masculino e na sala 02 a maioria, do sexo feminino.

Em relação ao conforto, no Prédio 63, os usuários identificaram elementos que contribuem para esta condição referente aos três aspectos, térmico, lumínico e acústico. Sendo que o elemento mais evidenciado correspondeu à presença de sol no interior das salas estudadas. Tal elemento contribuiu, sob a ótica do usuário, principalmente para boas condições de conforto térmico. Em relação ao Prédio 102, foram apontados fatores positivos de conforto somente em relação às condições lumínicas e térmicas, da mesma forma, apontaram o sol como elemento importante para a sensação térmica de bem-estar.

Sobre o desconforto, no Prédio 63, também foram apontados elementos que contribuem para tal condição em relação aos três aspectos de conforto avaliados. Sendo indicados principalmente elementos referentes ao conforto térmico e lumínico. Considerando que, em relação ao conforto lumínico, através das indicações dos usuários, possivelmente a utilização de cortinas contribuiria para minimizar esta última indicação. No Prédio 102, também indicaram elementos que contribuem para o desconforto sobre os aspectos térmico, lumínico e acústico. Destaca-se, a indicação do eco, que na verdade trata-se do som reverberante, o aspecto que influenciou negativamente na percepção do desempenho acústico. Tal condição pode ter sido atribuída à presença de poucos mobiliários nos ambientes. Visto que pela área das salas de aula, torna-se possível a colocação, de em torno de 30 cadeiras com braço, porém no período de aplicação dos questionários havia apenas 20 unidades, e conseqüentemente, um número menor de ocupantes nos ambientes.

5 CONCLUSÕES

5.1 Sobre o Conforto Térmico

Para as análises de conforto térmico foram considerados os dados de temperatura e umidade relativa de quatro salas de aula, duas localizadas no Prédio 63 (1923) e duas no Prédio 102 (2010). Estes dados foram comparados entre si e cruzados com as sensações térmicas experimentadas pelos usuários nestas salas, e manifestados através de um questionário fechado. Também foram consideradas as informações correspondentes às propriedades dos materiais componentes da envoltória das edificações de ambos os prédios, utilizadas para a verificação dos requisitos normativos.

Verificou-se que a sala de aula que apresenta menos superfície exposta ao meio externo e menor obstrução à radiação, proporcionada pela orientação solar favorável, apresentou as temperaturas internas superiores, efeito esse percebido pelo usuário.

Da comparação entre o comportamento térmico das salas localizadas no Prédio 63 (1923) e as salas de aula localizadas no Prédio 102 (2010), concluiu-se que o prédio de 1923, de paredes mais espessas e maciças, portanto, de maior capacidade térmica, apresentou temperaturas algo superiores.

Verificou-se que o Prédio 63, que possui mais edificações no seu entorno e maior área pavimentada, além de apresentar árvores de grande porte na fachada voltada para o quadrante sul, apresentou uma condição microclimática mais favorável no período de inverno, em relação ao Prédio 102.

Sobre a adequação dos materiais construtivos aos requisitos sugeridos pelas normas NBR 15.220 e NBR 15.575, verificou-se que o Prédio 63 apresentou a transmitância térmica das paredes dentro dos parâmetros estabelecidos como limite, melhor desempenho em relação à capacidade térmica e atendeu integralmente as estratégias de condicionamento passivo. Porém em relação à transmitância térmica da cobertura, os Prédios 63 e 102 não atenderam aos requisitos normativos.

Observou-se que somente o Prédio 102 obteve valores dentro dos limites estabelecidos para os valores de atraso térmico das paredes e área útil de ventilação. Também apresentou a melhor condição de fator solar.

Por último, concluiu-se que nenhuma das salas estudadas apresentou condições de conforto térmico segundo os parâmetros sugeridos pela bibliografia. Isso parece sugerir a dificuldade das edificações de por si só, promoverem boas condições térmicas no inverno, indicando a necessidade de fonte interna de calor.

5.2 Sobre o Conforto Lumínico

Para as análises de conforto lumínico foram considerados os dados de iluminância medidos em lux, de quatro salas de aula, duas localizadas no Prédio 63 e duas no Prédio 102. Estes dados foram comparados entre si e cruzados com as percepções experimentadas pelos usuários nestas salas.

Concluiu-se que a sala de aula que apresentou a maior área de janelas e nenhuma obstrução por vegetação ou edificações, demonstrou possuir melhor aproveitamento de iluminação natural, efeito esse percebido pelo usuário e corroborado pelos dados medidos.

Da comparação entre a orientação solar das salas do Prédio 63 e das salas do Prédio 102, constatou-se que a orientação nordeste possibilitou maior aproveitamento de iluminação natural no interior das salas no turno da manhã.

Concluiu-se também que o uso de dispositivos de controle de proteção interna contra a incidência solar, diminuiu o nível de aproveitamento de iluminação natural, porém foram importantes na redução dos reflexos molestos.

Da comparação entre o comportamento frente à iluminação, das salas do Prédio 63 e do Prédio 102, concluiu-se que o prédio mais novo, com cores claras no piso, nas paredes e no teto, janelas de alumínio do tipo maxim-ar, sem obstrução externa e com dispositivos de proteção interna sob controle do usuário, demonstrou melhores condições de conforto lumínico.

Concluiu-se que as salas de aula com janelas localizadas na maior dimensão do ambiente apresentaram melhor aproveitamento da iluminação natural na porção intermediária da sala, proporcionando assim, boa uniformidade na distribuição da luminosidade.

Por último, concluiu-se que nenhuma das salas estudadas apresentou condições de nível de iluminação (iluminância) segundo os parâmetros apontados na NBR ISO/CIE 8995 - 1, na totalidade dos pontos medidos, nos horários das medições. Isso parece sugerir a dificuldade da iluminação natural, no inverno, suprir toda a necessidade de luz durante o período integral de atividades didáticas, indicando a necessidade de iluminação artificial interna.

5.3 Sobre o Conforto Acústico

Para as análises de conforto acústico foram considerados os dados das medições sobre os níveis de ruídos de quatro salas de aula, duas localizadas no Prédio 63 e duas no Prédio 102. Estes dados foram comparados entre si e cruzados com as respostas perceptivas experimentadas pelos usuários nestas salas. Além destes, foram consideradas as características do entorno imediato e propriedades específicas dos materiais componentes da envoltória das edificações.

Sobre a comparação entre o condicionamento acústico das salas localizadas no Prédio 63 (1923) e das salas de aula localizadas no Prédio 102 (2010), concluiu-se que o prédio de 1923, apresentou melhor desempenho, evento também reconhecido pelo usuário. Entretanto, em nenhuma das salas estudadas verificaram-se tempos de reverberação dentro dos limites sugeridos pela bibliografia. A absorção acústica destes locais ficou muito abaixo da indicada para salas de aula.

Concluiu-se que a existência de barreiras contra os ventos dominantes, como as edificações, no caso do entorno do Prédio 102, foi importante na redução da propagação sonora.

Verificou-se que os níveis de isolamento acústico das paredes e das coberturas das salas estudadas, determinados analiticamente, não corresponderam aos resultados das medições. Concluiu-se que tal condição, foi decorrência da falta de vedação das esquadrias. Portanto, a conservação destes dispositivos parece ser um fator importante para o atendimento da condição de conforto acústico em salas de aula.

Por último, conclui-se que somente as salas do Prédio 102, atual, atenderam aos requisitos da normativa NBR 10.152 sobre os níveis de ruídos permitidos para ambientes de ensino. Verificou-se que tal condição se deve principalmente a presença da laje de concreto, nesta edificação, material de massa considerável.

5.4 Recomendações de Estratégias Passivas Arquitetônicas

Os estudos de análise efetuados nesta pesquisa permitiram o estabelecimento de recomendações passivas arquitetônicas a seguir apresentadas, onde se busca instrumentalizar o projeto de novas edificações escolares na instituição CaVG, através de informações reconhecidas por esta pesquisa como boas práticas, no sentido de prover espaços confortáveis aos usuários no período de inverno.

5.4.1 Conforto Térmico

- 1) Orientar salas de aula com as aberturas da fachada voltadas para o quadrante norte, a fim de possibilitar o aquecimento solar passivo.
- 2) Priorizar a localização das salas de aula em posição intermediária à edificação, com o intuito de minimizar as perdas de calor para meio externo.
- 3) Utilizar paredes de maior massa para favorecer a diminuição de perdas de calor para o exterior e promover acumulação de calor.
- 4) Prever barreiras de proteção naturais e/ ou construídas, no entorno da edificação, a fim de se evitar a incidência direta de ventos na edificação.
- 5) Proporcionar o isolamento térmico da cobertura.
- 6) Dotar as salas de aula de fonte de calor interna.

5.4.2 Conforto Lumínico

- 1) Priorizar a posição das janelas para o quadrante norte.
- 2) Revestir as salas de aula com cores claras, pois favorecem a boa distribuição de luz no ambiente.
- 3) Conjuguar dispositivos de proteção interna contra incidência solar direta às janelas, com possibilidade de controle pelo usuário, para se contornar problemas de ofuscamento.
- 4) Projetar a janela com a altura do peitoril mais baixo, em torno de 90cm, a fim de proporcionar o melhor aproveitamento da iluminação natural nos pontos próximos das paredes com esquadrias.

- 5) Reduzir as obstruções por vegetação e por edificações vizinhas, com a finalidade de promover maior aproveitamento da iluminação natural no interior das salas de aula.
- 6) Buscar alternativas arquitetônicas que visem aprimorar o aproveitamento da iluminação natural, atendendo com maior eficiência a região intermediária da sala de aula.
- 7) Possibilitar o acionamento da iluminação artificial em porções distintas dos ambientes para permitir a sua utilização somente em locais onde a iluminação natural não é suficiente.

5.4.3 Conforto Acústico

- 1) Proporcionar superfícies absorventes de revestimento interno nas salas de aula, para alcançar o tempo de reverberação ótimo para a atividade escolar.
- 2) Prever barreiras acústicas contra a orientação dos ventos dominantes para se evitar a propagação dos ruídos externos.
- 3) Localizar as salas de aula em locais distantes das zonas produtoras de ruído externo, pois quanto maior o afastamento maior será a perda da potência sonora.
- 4) Orientar as fachadas com aberturas para as de zonas de menor ruído externo.
- 5) Proporcionar a manutenção periódica nas esquadrias de modo a permitir seu pleno funcionamento e vedação.
- 6) Dar preferência aos componentes construtivos da envoltória (paredes e cobertura) de maior massa, a fim de dificultar a transmissão dos ruídos aéreos externos para o interior das salas de aula.

5.5 Limitações desta Pesquisa

No decorrer deste estudo, verificou-se as seguintes limitações desta pesquisa.

- A falta de ocupação nas salas de aula no período significativo do solstício de verão.
- O número de equipamentos luxímetros insuficientes para a verificação do nível de iluminância de maneira simultânea em todas as salas de aula.

5.6 Sugestões para Trabalhos Futuros

A seguir, são apresentadas sugestões de estudos que poderão dar continuidade a esta pesquisa.

- Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico de salas de aula, no período de verão;
- Realização de simulação computacional em conjunto com as medições *in loco*, a fim de averiguar a eficácia dos recursos computacionais;
- Avaliação dos aspectos funcionais dos ambientes escolares;
- Verificação das condições de conforto ambiental em outros espaços didáticos.

5.7 Considerações Finais

Acredita-se que este estudo também possibilitou uma reflexão sobre como estão sendo elaborados os projetos de espaços de ensino na instituição CaVG e como poderão ser melhoradas as condições de conforto térmico, lumínico e acústico das salas de aula, a partir dos resultados deste trabalho. Reconhece-se que o atendimento do conforto ambiental aos usuários, é imprescindível para o bom desempenho escolar, assim como a preocupação com a adoção de estratégias passivas arquitetônicas, pois esta medida também contribui para a racionalização do consumo de energia elétrica, e conseqüentemente, promove menores impactos ambientais.

Referências Bibliográficas

ALVAREZ, A. C. A. Procedimentos para análise e avaliação da iluminação em ambientes escolares. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, p. 587-592, 1995.

ABDELATIA, Belal; MARENNE, Christian; SEMIDOR, Catherine. Daylighting strategy for sustainable schools: Case study of prototype classrooms in Libya. **Journal of Sustainable Development**. Vol. 3, No. 3; September 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382**: Verificação de iluminância de interiores. Rio de Janeiro: 1985.

_____. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro: 1992.

_____. **NBR ISO/CIE 8995**: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013 a.

_____. **NBR 10.151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro: 2000.

_____. **NBR 10.152**: Níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro: 1987.

_____. **NBR 12.179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: 1992.

_____. **NBR 15.215-3**. Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de Cálculo para a Determinação da Iluminação Natural em Ambientes Internos. Rio de Janeiro, 2005 a.

_____. **NBR 15.215-4**: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 2005 b.

_____. **NBR 15.220**. Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005 c.

_____. **NBR 15.575**. Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013 b.

_____. **NBR 16.401**. Instalações de ar-condicionado. Sistemas centrais e unitários. Parte 2 – Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2001.

_____. ASHRAE Standad 55 – 2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.

_____. ASHRAE. **ASHRAE Handbook Fundamentals**. Atlanta, 2009.

_____. ASHRAE. **Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE - Standard 55**. Atlanta, 1992.

AZEVEDO, Giselle A. N. **Arquitetura escolar e educação**: Um modelo conceitual de abordagem interacionista. 2002. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BARKI, José. **Percepção, Espaço e Arquitetura**. Texto da disciplina Percepção, Espaço e Arquitetura, Mestrado em Arquitetura. Rio de Janeiro: PROARQ/ FAU/ UFRJ, 1997.

BERTOLOTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas**: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BUFFA, E.; PINTO, G. A. **Arquitetura e educação**: organização do espaço e propostas pedagógicas dos grupos escolares paulistas, 1893/1971. São Carlos: Ed. UFSCAR/INEP, 2002.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2010.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em Busca de Uma Arquitetura Sustentável Para os Trópicos – Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORTEZ, Rogério Vieira. **Espaços educativos**. Ensino Fundamental. Subsídios para elaboração de projetos e adequação de edifícios escolares. Brasília: FUNDESCOLA/ MEC, 2002.

CURCIO, Daniela. **Desempenho termo-energético de Habitações de Interesse Social produzidas pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR na cidade de Pelotas/RS**. 2011. 179 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

DALVITE, B.; et al. Análise do Conforto Acústico, Térmico e Lumínico em Escolas da Rede Pública de Santa Maria, RS. **Série: Artes, Letras e Comunicação**, Santa Maria, v. 8, p. 1-13, 2007.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptative model of thermal comfort and preference**. Sydney: ASHRAE, 1997.

DIAS, A. **Avaliação das condições de conforto térmico e acústico de salas de aula em escola de tempo integral. Estudo de caso da Escola Padre Josimo em Palmas (TO)**. 2009. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

DORNELLES, Kelen A. **Absortância Solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para Tintas Latéx Acrílica e PVA.** 2008. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FANGER, P. O. **Thermal comfort – analysis and application in engineering.** New York: MacGraw-Hill Book Company, 1970.

FANGER, P. O. **Thermal comfort – analysis and applications in environmental engineering.** New York: MacGraw-Hill, 1972.

FDE – FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Arquitetura escolar e a política educacional: os programas da atual administração do estado.** São Paulo: FDE, 1998.

FERIADI, H.; WONG, J. F. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. **Energy and Building.** V. 36, n. 7, p. 614-626, 2004.

FERREIRA, Fernanda Cristina. **Procedimento de avaliação de conforto ambiental e eficiência energética aplicado a um caso típico da Rede Estadual de Escolas Públicas de Minas Gerais.** 2006. Dissertação (Mestrado), Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

FLORENZA, Rafael S.; ROURA, Helena C. **Arquitectura y energía natural.** Barcelona: Edicions UPC, 1995.

FREGONEZZI, Marcos A.; LOPES, José L. **O ruído como fator de interferência na comunicação: um estudo de caso em instituição de ensino – Serviço Social de Aprendizagem Comercial (SENAC), Faculdade de Ciências Ambientais (FCA) – São Paulo,** 2006.

FREIRE, M. R. **Iluminação natural em salas de aula. O caso das Escolas FAEC em Salvador.** 1996. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFRGS, Porto Alegre.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico.** 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GEMELLI, C. B. **Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico.** 2009. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRG, Porto Alegre, 2009.

GIFFORD, R. **Environmental psychology: principles and practice.** 2 ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997.

GIVONI, B. **Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Buildings.** Lausanne. V. 18, n. 1. p. 11-23, 1992.

GONZÁLES, F. Javier Neila; FRUTOS, César Bedoya. **Técnicas arquitectónicas y construtivas de acondicionamneto ambiental**. Madrid: Editorial Munilla-Lería, 1997.

GRAÇA, V. C.; KOWALTOWSKI, D. C. K. Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n.3, p. 19-35, jul./ set., 2004.

GOULART, Solange V. G. et al. 1994. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Relatório Interno nº 02/94, Núcleo e Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC.

HUMPHREYS, M. A; NICOL, J. F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. **Energy and Building**, v. 34, n. 6, p. 667-689, 2002.

IESNA – ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **IES Lighting Handbook, reference and application**. 9. Ed. New York: IESNA, 2000.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 7730**. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra, 1994.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1996.

IRAM AADL J 20-02. **Iluminación natural en edificios: Condiciones generales y requisitos especiales**. Instituto Argentino de racinalización de materiales. Asociacion Argentina de Luminotecnia, 1969.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; CELANI, M. G. C., MOREIRA, D. C.; PINA, S. A. M. G. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Revista online da ANTAC**, Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 6, n. 2, p.7-19, 2006.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. et al. **Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares de Campinas**. Campinas: FEC-UNICAMP, 2001.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. et al. **Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares de Campinas**. Campinas: FEC-UNICAMP, 2001.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antônio A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Florianópolis: LabEEE, 2002.

LATORRACA, Giancarlo. **João Filgueiras Lima, Lelé**. Série Arquitetos Brasileiros, São Paulo, Blau, Instituto Lina Bo e P.M. Bardi, 2000.

LIMA, Mariana R. C. de. **Percepção visual aplicada à arquitetura e a iluminação**. 1ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2010.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

MALHEIROS, F. V. A. **Desempenho Térmico de Pavilhões Industriais: estudos de casos em Panambi – RS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MIZGIER, Martin Ordenes. **Etiquetagem de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Apresentação. Curso Eletrobrás. Rio de Janeiro: Out. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e Diretrizes Básicas na Elaboração do Plano. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em jun. de 2012.

MORELLO, Alessandro. **Avaliação do comportamento térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em engenharia civil – NORIE) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre.

NASCIMENTO, J.L.; COSTA, E.G.;. Apostila. Campina Grande, PB. 15p. 2001. Disponível em: www.ufcg.edu.br . Acesso em: jul 2012.

NASCIMENTO, Mario Fernando P. **Arquitetura para a educação: A contribuição do espaço para a formação do estudante**. 2012. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de São Paulo.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. de S. **Educação, Meio Ambiente e Conforto Térmico: caminhos que se cruzam**, 2003. Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental, Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

OCHOA. Juliana. **Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário**. 2010. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiania.

ORNSTEIN, Sheila W.; NETO, José B. **O desempenho dos edifícios da rede estadual de ensino: O caso da Grande São Paulo**. Avaliação técnica: primeiros passos. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP – Departamento de Tecnologia, 1995.

ORNSTEIN, Sheila W.; BRUNA, Gilga; ROMÉRO, Marcelo. **Ambiente construído & comportamento: avaliação pós-ocupação e qualidade ambiental**. São Paulo: Nobel: FAUUSP: FUPAM, 1995

ORNSTEIN, Sheila W.; ROMÉRO, Marcelo. **Avaliação pós-ocupação do ambiente construído**. São Paulo: Studio Nobel, 1992.

RAPOPORT, Amos. **The mutual interaction of people and their built environment**. The Haque: Mouton, 1976.

REINGANTZ, Paulo Afonso et al. **Observando a qualidade do lugar: procedimentos para avaliação pós-ocupação**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2009.

RIBEIRO, Darcy. **O livro dos CIEPs**. Rio de Janeiro: Bloch Editora, 1986.

RODRIGUEZ, A.; DELGADO, A. El método y las técnicas en Psicología del Trabajo y de las organizaciones. In: RODRIGUEZ, A. **Introducción a la Psicología del trabajo y de las Organizaciones**. Madrid: Pirámide, 1998. p. 71-84.

SANTOS, F.M. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá/ MT: estudo de caso**. 2008. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

SANOFF, Hery. Designing a Responsive School: The Benefits of a Participatory Process, in **The School Administrator**, jun 1996, p. 18-22.

SILVA, Antônio César. **Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação**. 1994. 103f. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1994.

SILVA, P., **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar**. Edital, Belo Horizonte, 2002.

SZOKOLAY, S. V. **Environmental Science Handbook: for architects and builders**. Lancaster, England: Pitman, 1980.

SOMMER, R. **Personal space: the behavioral basics of design**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1969.

SOUZA, L.C.L. de; ALMEIDA, M.G. de; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica, ouvindo a Arquitetura**. São Carlos: Editora da UFSCar, 2009.

SU, Wanqing; KANG, Jian; JIN, Hong. Acoustic Environment of University Campuses in China. **Acta Acustica united with Acustica**. Volume 99, Number 3, May/June 2013 , pp. 410-420(11).

VENTURA, Alessandro. A evolução da arquitetura escolar paulista de 1980: os programas e os partidos. *In: Sinopses São Paulo*, nº 39, p. 60-65, abril de 2003.

YAO, Runmig; LIU, Jing; LI, Baizhan. Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms. **Applied Energy**, 87 (3). pp. 1015-1022. ISSN 0306-2619, 2010.

ZEISE, John. **Inquiry by design**. Monterey: Brooks/ Cole Publishing Company, 1981.

APÊNDICES

Apêndice A - Levantamento Arquitetônico do Prédio 63

LEVANTAMENTO ARQUITETÔNICO – PRÉDIO 63

Local: Câmpus Pelotas Visconde da Graça - IFSUL	
Identificação da edificação: Prédio 63	Ano de construção: 1923
Endereço: Avenida Ildefonso Simões Lopes, 2791 – Três Vendas, Pelotas/ RS	
Nível de preservação:	Interno: <input type="checkbox"/> Original <input checked="" type="checkbox"/> Modificado <input type="checkbox"/> Totalmente alterado
	Externo: <input type="checkbox"/> Original <input checked="" type="checkbox"/> Modificado <input type="checkbox"/> Totalmente alterado
Estado geral de conservação:	Interno: <input type="checkbox"/> Bom <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Precário
	Externo: <input type="checkbox"/> Bom <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Precário
Caracterização da edificação:	Materiais construtivos/ Informações:
Cobertura	<input checked="" type="checkbox"/> Telha cerâmica <input type="checkbox"/> Telha de fibrocimento
Inclinação do telhado	47%
Teto	<input checked="" type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> Laje de concreto
Paredes	<input checked="" type="checkbox"/> Tijolo maciço <input type="checkbox"/> Tijolo furado <input checked="" type="checkbox"/> Reboco interno/ externo
Espessura	0,33m (paredes externas)/ 0,19m (paredes internas)
Altura do pé-direito	4,00m
Piso	<input checked="" type="checkbox"/> Cerâmico
Esquadrias	<input checked="" type="checkbox"/> Ferro <input type="checkbox"/> Alumínio <input checked="" type="checkbox"/> Madeira
Sistema de abertura das esquadrias	<input checked="" type="checkbox"/> Basculante <input type="checkbox"/> Maxim-ar <input checked="" type="checkbox"/> Fixo <input checked="" type="checkbox"/> Abrir
Dimensões	Janelas: 1,99x1,50/1,48m Portas: 0,80x2,10m
Dispositivo de proteção	Não possui
Componente estrutural	<input checked="" type="checkbox"/> Alvenaria portante <input type="checkbox"/> Concreto Armado Pilares e Vigas
Fundações	<input checked="" type="checkbox"/> Alvenaria portante <input type="checkbox"/> Estacas
Forma da edificação/ Dimensões externas:	Forma retangular/ 41,00x10,00m
Tipo de uso (Qtd. de ambientes):	Salas de aula (04), Sala de Desenho Técnico (01) e Laboratório de Informática (01).
Ambientes em estudo:	Sala de aula 11 e Sala de aula 14
Dimensões internas/ Área	Sala 11 - 6,10x9,34m/ 56,971m²; Sala 14 - 6,19x9,34m/ 57,81m²

Levantamento fotográfico

Imagem externa do Prédio 63
(Fachada Nordeste)



Imagem externa do Prédio 63.
(Fachada Sudoeste)



Imagem externa do Prédio 63
(Fachada Sudeste)



Imagem externa do Prédio 63
(Fachada Noroeste)



Imagens externas: portas das salas 11 e 14,
respectivamente.



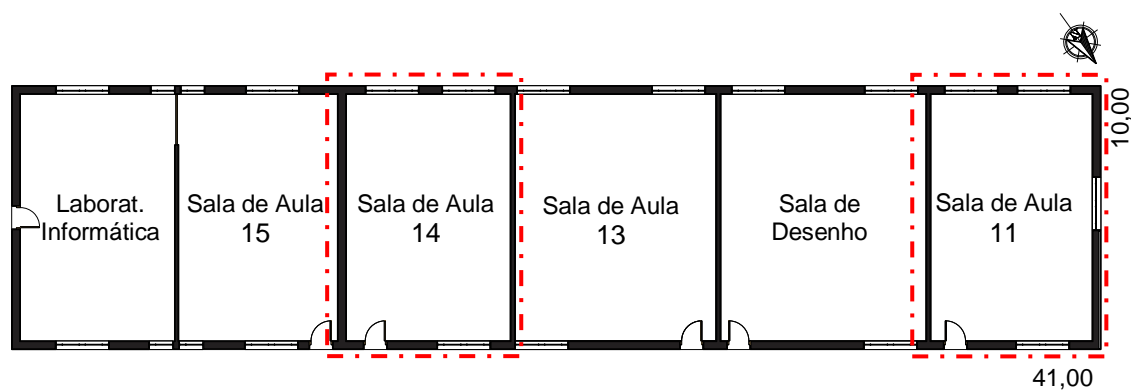
Imagens internas das janelas das salas 11 e 14,
respectivamente.



Imagem do interior da sala 11.



Imagem do interior da sala 14.



Elementos construtivos com necessidade de reparos:

- As janelas basculantes não vedam totalmente os vãos das janelas, possuem frestas.



Imagem interna: janela basculante fechada.

Apêndice B - Levantamento Arquitetônico do Prédio 102

LEVANTAMENTO ARQUITETÔNICO – PRÉDIO 102

Local: Câmpus Pelotas Visconde da Graça - IFSUL	
Identificação da edificação: Prédio 102	Ano de construção: 2010
Endereço: Avenida Ildefonso Simões Lopes, 2791 – Três Vendas, Pelotas/ RS	
Nível de preservação:	Interno: <input checked="" type="checkbox"/> Original <input type="checkbox"/> Modificado <input type="checkbox"/> Totalmente alterado
	Externo: <input checked="" type="checkbox"/> Original <input type="checkbox"/> Modificado <input type="checkbox"/> Totalmente alterado
Estado geral de conservação:	Interno: <input checked="" type="checkbox"/> Bom <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Precário
	Externo: <input checked="" type="checkbox"/> Bom <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Precário
Caracterização da edificação:	Materiais construtivos/ Informações:
Cobertura	<input type="checkbox"/> Telha cerâmica <input checked="" type="checkbox"/> Telha de fibrocimento
Inclinação do Telhado	15%
Teto	<input type="checkbox"/> Madeira <input checked="" type="checkbox"/> Laje de concreto (e=10cm)
Paredes	<input type="checkbox"/> Tijolo maciço <input checked="" type="checkbox"/> Tijolo furado <input checked="" type="checkbox"/> Reboco interno/ externo
Espessura	0,15m (paredes externas/ internas)
Altura do pé-direito	2,80m
Piso	<input checked="" type="checkbox"/> Cerâmico
Esquadrias	<input type="checkbox"/> Ferro <input checked="" type="checkbox"/> Alumínio <input checked="" type="checkbox"/> Madeira
Sistema de abertura das esquadrias	<input type="checkbox"/> Basculante <input checked="" type="checkbox"/> Maxim-ar <input checked="" type="checkbox"/> Fixo <input checked="" type="checkbox"/> Abrir
Dimensões	Janelas: 2,00x1,60/0,90m; 2,00x0,80/1,56m e 2,80x0,80/1,56m Portas: 0,80x2,50m (bandeira com vidro fixo)
Dispositivos de proteção	Persianas internas de PVC (somente na fachada noroeste)
Componente estrutural	<input type="checkbox"/> Alvenaria portante <input checked="" type="checkbox"/> Concreto Armado Pilares e Vigas
Fundações	<input type="checkbox"/> Alvenaria portante <input checked="" type="checkbox"/> Estacas
Forma da edificação/ Dimensões externas:	Forma retangular/ 35,00x8,50m
Tipo de uso (Qtd. de ambientes):	Salas de aula (04), Depósitos (02), Inspetoria (01) e Banheiros Feminino e Masculino (02).
Ambientes em estudo:	Sala de aula 01 e Sala de aula 02
Dimensões internas/ Área	Salas 01 e 02 – 7,93x6,05m/ 47,90m²

Levantamento fotográfico

Imagem externa do Prédio 102
(Fachada Sudeste)



Imagem externa do Prédio 102
(Fachada Noroeste)



Imagens externas: portas das salas 01 e 02,
respectivamente.



Imagem interna: janela presente nas salas 01 e
02.



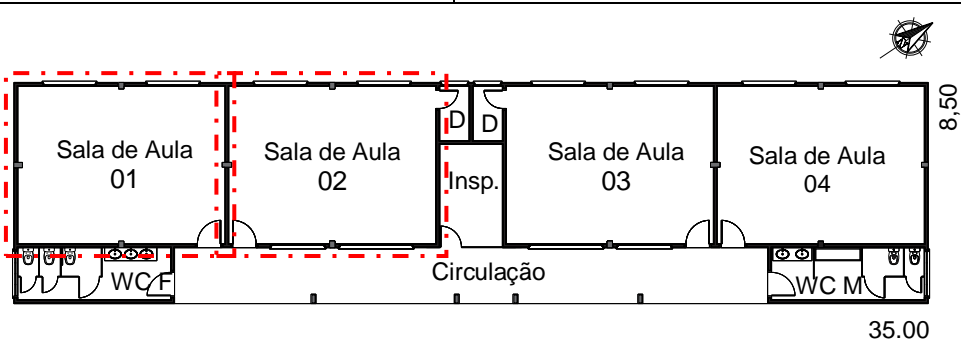
Imagens externas das janelas existentes na sala 02, voltadas para o corredor de circulação.



Imagem do interior da sala 01.



Imagem do interior da sala 02.



Planta Baixa – Prédio 102.

Elementos construtivos com necessidade de reparos:

- A janela maxim-ar (2,00x1,60/0,90) não veda completamente o vão.



Imagem da janela maxim-ar fechada.

- Persianas verticais (PVC), presentes somente nas janelas com maior vão (2,00x1,60/0,90) – Não cobrem completamente as janelas.

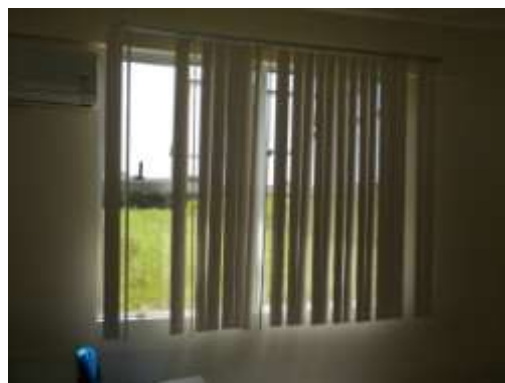


Imagem interna – Persiana fechada.

APÊNDICE C – Questionário de Pesquisa de Campo**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NÍVEL DE MESTRADO
EM ARQUITETURA E URBANISMO****QUESTIONÁRIO DE PESQUISA DE CAMPO**

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa científica, que trata da avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico, nas salas de aula do Câmpus Pelotas Visconde da Graça.

Através de sua participação teremos condições de determinar e estabelecer as condições de conforto apropriadas para o bom desempenho escolar nesta Instituição.

Por isso solicitamos que você responda às questões abaixo, e da sua colaboração depende o sucesso desta pesquisa.

Todas as informações obtidas no questionário serão tratadas com extremo sigilo.

DATA: _____

HORA: _____

CONFORTO TÉRMICO

1- Neste momento, você percebe que esta sala está:

- ☐ Muito fria
- ☐ Fria
- ☐ Nem fria, nem quente
- ☐ Quente
- ☐ Muito quente

2- Você gostaria que a sala estivesse:

- ☐ Muito mais quente
- ☐ Mais quente
- ☐ Nem mais quente, nem mais fria
- ☐ Mais fria
- ☐ Muito mais fria

3- Você observa sol direto dentro da sala?

- ☐ Sim ☐ Não

4- Você percebe a entrada de vento na sala?

- ☐ Sim ☐ Não

5- Em caso afirmativo, o vento gera desconforto?

- ☐ Sim ☐ Não

CONFORTO LUMÍNICO

1- Na sua opinião, a luz natural que entra no interior da sala é:

- ☐ Muito fraca
- ☐ Fraca
- ☐ Nem fraca, nem forte
- ☐ Forte
- ☐ Muito forte

2- Como você avalia o nível de iluminação nesta sala:

- ☐ Muito baixo
- ☐ Baixo
- ☐ Nem baixo, nem alto
- ☐ Alto
- ☐ Muito alto

3- Você considera esta sala:

- ☐ Muito clara
- ☐ Clara
- ☐ Nem clara, nem escura
- ☐ Escura
- ☐ Muito escura

4- Você precisa forçar os olhos para realizar as atividades em sala de aula?

- ☐ Sim ☐ Não

5- Ao ler o quadro, você percebe reflexos?

- ☐ Sim ☐ Não

CONFORTO ACÚSTICO

1- Existem sons que influenciam na sua concentração nesta sala?

- ☐ Sim ☐ Não

2- Em caso afirmativo da questão anterior, esta influência é:

- ☐ Positiva ☐ Negativa ☐ Nem positiva, nem negativa

3 - Os sons que você identificou na questão anterior são de:

- ☐ Trânsito de veículos
- ☐ Atividades nas salas vizinhas
- ☐ Conversas no corredor
- ☐ Ruídos da própria sala
- ☐ Outros: _____

4- Você ouve bem a voz de quem fala em sala de aula?

- ☐ Sim ☐ Não

PERCEPÇÃO DA SALA DE AULA

Quais são as 05 coisas que você enumera que mais contribuem para o conforto nesta sala:

- 1- _____
- 2- _____
- 3- _____
- 4- _____
- 5- _____

Quais são as 05 coisas que você enumera que mais influenciam no desconforto nesta sala:

- 1- _____
- 2- _____
- 3- _____
- 4- _____
- 5- _____

DADOS PESSOAIS

Idade:

- ☐ Adolescentes (13 a 18 anos)
☐ Adultos Jovens (19 a 30 anos)
☐ Adultos (31 a 65 anos)
☐ Idosos (acima de 66 anos)

Sexo:

- ☐ Feminino ☐ Masculino

MUITO OBRIGADO POR SUA COLABORAÇÃO!

**APÊNDICE D – Cálculos do Tempo de Reverberação das salas 11 e 14 do
Prédio 63.**

PLANILHA GERAL DE CÁLCULO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO									
PRÉDIO: 63				ANO: 1923					
SALA: 11				VOLUME: 231,24m³ (Pé-direito=4,00m)					
ITEM	COMPONENTE	MATERIAL	SUPERFÍCIE (m²)	α 125	α 500	α 2000	125Hz Si x ai	500Hz Si x ai	2000Hz Si x ai
1	Piso	Cerâmico	56,97	0,01	0,02	0,02	0,5697	1,1394	1,1394
2	Teto	Forro - Madeira	56,97	0,08	0,06	0,06	4,5576	3,4182	3,4182
3	Paredes	Alvenaria	116,71	0,01	0,02	0,02	1,1671	2,3342	2,3342
4	Porta	Madeira	1,85	0,04	0,03	0,03	0,074	0,0555	0,0555
5	Janelas	Ferro/ Vidro Liso	11,94	0,35	0,18	0,07	4,179	2,1492	0,8358
6	Quadro	Melamínico	6,00	0,03	0,03	0,03	0,18	0,18	0,18
7	Alunos em Carteira	Pessoas/estofado	24,00	0,30	0,42	0,48	7,20	10,08	11,52
8	Professor em Pé	Adulto em Pé	1,00	0,19	0,44	0,46	0,19	0,44	0,46

ABSORÇÃO TOTAL CALCULADA							18,1124	19,7965	19,9431
ABSORÇÃO IDEAL	63,10								
TEMPO DE REVERBERAÇÃO CALCULADO (TR)							2,0555	1,8806	1,8668
TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO (TOR)	0,61								
DIFERENÇA PERCENTUAL TR/TOR (%)							236,96	208,30	206,03
TOLERÂNCIA -10% E +10%	0,531- 0,649								

PLANILHA GERAL DE CÁLCULO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO									
PRÉDIO: 63				ANO: 1923					
SALA: 14				VOLUME: 227,88m³ (Pé-direito=4,00m)					
ITEM	COMPONENTE	MATERIAL	SUPERFÍCIE (m²)	α 125	α 500	α 2000	125Hz Si x ai	500Hz Si x ai	2000Hz Si x ai
1	Piso	Cerâmico	57,81	0,01	0,01	0,02	0,5781	0,5781	1,1562
2	Teto	Forro - Madeira	57,81	0,08	0,06	0,06	4,6248	3,4686	3,4686
3	Paredes	Alvenaria	120,05	0,01	0,02	0,02	1,2005	2,401	2,401
4	Porta	Madeira	1,85	0,04	0,03	0,03	0,074	0,0555	0,0555
5	Janelas	Ferro/ Vidro Liso	8,94	0,35	0,18	0,07	3,129	1,6092	0,6258
6	Quadro	Melamínico	6,00	0,03	0,03	0,03	0,18	0,18	0,18
7	Alunos em Carteira	Pessoas/ estofado	24,00	0,30	0,42	0,48	7,20	10,08	11,52
8	Professor em Pé	Adulto em Pé	1,00	0,19	0,44	0,46	0,19	0,44	0,46

ABSORÇÃO TOTAL CALCULADA							17,1714	18,8124	19,8671
ABSORÇÃO IDEAL	60,15								
TEMPO DE REVERBERAÇÃO CALCULADO (TR)							2,1367	1,9502	1,8467
TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO (TOR)	0,59								
DIFERENÇA PERCENTUAL TR/TOR (%)							262,14	230,55	213,00
TOLERÂNCIA -10% E +10%	0,549 - 0,671								

**APÊNDICE E – Cálculos do Tempo de Reverberação das salas 01 e 02 do
Prédio 102 (persianas abertas).**

PLANILHA GERAL DE CÁLCULO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO									
PRÉDIO: 102				ANO: 2010					
SALA: 01				VOLUME: 134,12m³ (Pé-direito=2,80m)					
ITEM	COMPONENTE	MATERIAL	SUPERFÍCIE (m²)	α 125	α 500	α 2000	125Hz Si x ai	500Hz Si x ai	2000Hz Si x ai
1	Piso	Cerâmico	47,90	0,01	0,02	0,02	0,479	0,958	0,958
2	Teto	Laje/ Concreto	46,66	0,015	0,02	0,025	0,6999	0,9332	1,1665
3	Paredes	Alvenaria/ Reboco Liso	55,60	0,02	0,02	0,03	1,112	1,112	1,668
4	Pilares	Concreto	4,48	0,02	0,02	0,03	0,0896	0,0896	0,1344
5	Vigas	Concreto	12,65	0,02	0,02	0,03	0,253	0,253	0,3795
6	Porta	Madeira	1,85	0,04	0,03	0,03	0,074	0,0555	0,0555
7	Bandeira de vidro (porta)	Madeira /Vidro	0,35	0,10	0,04	0,02	0,035	0,014	0,007
8	Janelas	Alumínio/ Vidro Liso	4,72	0,10	0,04	0,02	0,472	0,1888	0,0944
9	Persiana Recolhida	PVC	0,00	0,12	0,27	0,62	0	0	0
10	Quadro	Melamínico	3,72	0,03	0,03	0,03	0,1116	0,1116	0,1116
11	Alunos em Carteira	Pessoas/ estofado	20,00	0,30	0,42	0,48	6,00	8,40	9,60
12	Professor em Pé	Adulto em Pé - (unid)	1,00	0,19	0,44	0,46	0,19	0,44	0,46
ABSORÇÃO TOTAL CALCULADA							9,5111	12,5557	14,6349
ABSORÇÃO IDEAL				38,56					
TEMPO DE REVERBERAÇÃO CALCULADO (TR)							2,2703	1,7198	1,4755
TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO (TOR)				0,56					
DIFERENÇA PERCENTUAL TR/TOR (%)							305,42	207,11	163,48
TOLERÂNCIA -10% E +10%				0,504 - 0,616					

PLANILHA GERAL DE CÁLCULO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO									
PRÉDIO: 102				ANO: 2010					
SALA: 02				VOLUME: 134,12m³ (Pé-direito=2,80m)					
ITEM	COMPONENTE	MATERIAL	SUPERFÍCIE (m²)	α 125	α 500	α 2000	125Hz Si x ai	500Hz Si x ai	2000Hz Si x ai
1	Piso	Cerâmico	47,90	0,01	0,02	0,02	0,479	0,958	0,958
2	Teto	Laje/ Concreto	46,66	0,015	0,02	0,025	0,6999	0,9332	1,1665
3	Paredes	Alvenaria/ Reboco Liso	49,91	0,02	0,02	0,03	0,9982	0,9982	1,4973
4	Pilares	Concreto	4,48	0,02	0,02	0,03	0,0896	0,0896	0,1344
5	Vigas	Concreto	12,65	0,02	0,02	0,03	0,253	0,253	0,3795
6	Portas	Madeira	3,70	0,04	0,03	0,03	0,148	0,111	0,111
7	Bandeira de vidro (porta)	Madeira /Vidro	0,35	0,10	0,04	0,02	0,035	0,014	0,007
8	Janelas	Alumínio/ Vidro Liso	8,56	0,10	0,04	0,02	0,856	0,3424	0,1712
9	Persiana Recolhida	PVC	0,00	0,12	0,27	0,62	0	0	0
10	Quadro	Melamínico	3,72	0,03	0,03	0,03	0,1116	0,1116	0,1116
11	Alunos em Carteira	Pessoas/ estofado	20,00	0,30	0,42	0,48	6,00	8,40	9,60
12	Professor em Pé	Adulto em Pé	1,00	0,19	0,44	0,46	0,19	0,44	0,46

ABSORÇÃO TOTAL CALCULADA						9,8553	12,6510	14,5965
ABSORÇÃO IDEAL	38,56							
TEMPO DE REVERBERAÇÃO CALCULADO (TR)						1,6867	1,3140	1,1389
TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO (TOR)	0,56							
DIFERENÇA PERCENTUAL TR/TOR (%)						201,20	134,64	103,37
TOLERÂNCIA -10% E +10%	0,504 - 0,616							

**APÊNDICE F – Cálculos do Tempo de Reverberação das salas 01 e 02 do
Prédio 102 (persianas fechadas).**

PLANILHA GERAL DE CÁLCULO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO									
PRÉDIO: 102			ANO: 2010						
SALA: 01			VOLUME: 134,12m³ (Pé-direito=2,80m)						
ITEM	COMPONENTE	MATERIAL	SUPERFÍCIE (m²)	α 125	α 500	α 2000	125Hz Si x ai	500Hz Si x ai	2000Hz Si x ai
1	Piso	Cerâmico	47,90	0,01	0,02	0,02	0,479	0,958	0,958
2	Teto	Laje/ Concreto	46,66	0,015	0,02	0,025	0,6999	0,9332	1,1665
3	Paredes	Alvenaria/ Reboco Liso	55,60	0,02	0,02	0,03	1,112	1,112	1,668
4	Pilares	Concreto	4,48	0,02	0,02	0,03	0,0896	0,0896	0,1344
5	Vigas	Concreto	12,65	0,02	0,02	0,03	0,253	0,253	0,3795
6	Porta	Madeira	1,85	0,04	0,03	0,03	0,074	0,0555	0,0555
7	Porta - Bandeira	Madeira /Vidro	0,35	0,10	0,04	0,02	0,035	0,014	0,007
8	Persiana Fechada	PVC	5,60	0,12	0,27	0,62	0,672	1,512	3,472
9	Quadro	Melamínico	3,72	0,03	0,03	0,03	0,1116	0,1116	0,1116
10	Alunos em Carteira	Pessoas/ estofado	20,00	0,30	0,42	0,48	6,00	8,40	9,60
11	Professor em Pé	Adulto em Pé	1,00	0,19	0,44	0,46	0,19	0,44	0,46

ABSORÇÃO TOTAL CALCULADA						9,7111	13,8789	18,0125
ABSORÇÃO IDEAL	38,56							
TEMPO DE REVERBERAÇÃO CALCULADO (TR)						2,2236	1,5558	1,1988
TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO (TOR)	0,56							
DIFERENÇA PERCENTUAL TR/TOR (%)						297,07	177,83	114,07
TOLERÂNCIA -10% E +10%	0,504 - 0,616							

PLANILHA GERAL DE CÁLCULO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO									
PRÉDIO: 102			ANO: 2010						
SALA: 02			VOLUME: 134,12m³ (Pé-direito=2,80m)						
ITEM	COMPONENTE	MATERIAL	SUPERFÍCIE (m²)	α 125	α 500	α 2000	125Hz Si x ai	500Hz Si x ai	2000Hz Si x ai
1	Piso	Cerâmico	47,90	0,01	0,02	0,02	0,479	0,958	0,958
2	Teto	Laje/ Concreto	46,66	0,015	0,02	0,025	0,6999	0,9332	1,1665
3	Paredes	Alvenaria/ Reboco Liso	49,91	0,02	0,02	0,03	0,9982	0,9982	1,4973
4	Pilares	Concreto	4,48	0,02	0,02	0,03	0,0896	0,0896	0,1344
5	Vigas	Concreto	12,65	0,02	0,02	0,03	0,253	0,253	0,3795
6	Portas	Madeira	3,70	0,04	0,03	0,03	0,148	0,111	0,111
7	Bandeira de vidro (porta)	Madeira /Vidro	0,35	0,10	0,04	0,02	0,035	0,014	0,007
8	Janelas	Alumínio/ Vidro Liso	3,84	0,10	0,04	0,02	0,384	0,1536	0,0768
9	Persiana Fechada	PVC	5,60	0,12	0,27	0,62	0,672	1,512	3,472
10	Quadro	Melamínico	3,72	0,03	0,03	0,03	0,1116	0,1116	0,1116
11	Alunos em Carteira	Pessoas/ estofado	20,00	0,30	0,42	0,48	6,00	8,40	9,60
12	Professor em Pé	Adulto em Pé	1,00	0,19	0,44	0,46	0,19	0,44	0,46

ABSORÇÃO TOTAL CALCULADA					10,0553	13,9742	16,4768
ABSORÇÃO IDEAL	38,56						
TEMPO DE REVERBERAÇÃO CALCULADO (TR)					2,1475	1,5452	1,3105
TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO (TOR)	0,56						
DIFERENÇA PERCENTUAL TR/TOR (%)					283,47	175,93	134,02
TOLERÂNCIA -10% E +10%	0,504 - 0,616						

ANEXOS

ANEXO A – Normais Climatológicas – Período: 1971/ 2000

Normais Climatológicas – Período: 1971/2000 (Estacional)
 Estação Agroclimatológica: Capão do Leão – RS (Embrapa/ETB – Campus da UFPel)
 Convênio Embrapa/UFPel/INMET

VARIÁVEIS	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Temperatura Média (°C)	22,9	16,4	13,2	19,0
Temperatura Média das Mínimas (°C)	18,9	12,4	9,3	14,8
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	9,0	-2,6	-3,0	2,0
Temperatura Média das Máximas (°C)	27,8	21,9	18,3	23,8
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	39,6	37,4	35,6	39,2
Precipitação Pluviométrica (mm)	333,5	289,7	356,3	286,1
Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	188,2	134,0	92,2	92,0
Número de Dias de Precipitação	33,2	28,9	31,9	30,2
Umidade Relativa (%)	78,7	82,8	83,6	77,5
Evaporação Tanque Classe "A" (mm)	531,4	268,3	223,1	494,0
Evaporação Piche (mm)	424,4	255,2	225,4	415,9
Evapotranspiração Potencial (mm)	394,1	186,7	151,8	352,8
Insolação Total (horas e décimos)	681,3	542,8	466,3	655,5
Radiação Solar ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)	459,9	257,6	228,8	441,7
Nebulosidade (0-10)	6,0	5,8	6,4	6,0
Pressão Barométrica (mb)	1012,3	1016,0	1018,1	1014,0
Velocidade Média do Vento (m.s^{-1})	3,7	2,8	3,3	4,2
Direção Predominante do Vento	E	SW	NE	NE
Velocidade Máxima do Vento (m.s^{-1})	25,2	25,5	30,0	27,2
Direção do Vento na Velocidade Máxima	S	SW	NE	SW/NE
Número de Dias de Geadas	09	12,2	14,3	13,5
Número de Dias de Granizo	0,5	0,03	0,87	0,50
Número de Dias de Orvalho	33,5	27,3	14,9	27,4
Número de Dias de Nevoeiro	8,5	27,8	27,4	8,9

ANEXO B – Temperatura Média das Mínimas

Temperatura Média das Mínimas (°C) - Período: 1971/2000 (Mensal/Anual)

Estação Agrometeorológica: Capão do Leão - RS (Embrapa/ETB - Campus da UFRGS)
Convênio Embrapa/UFPA/INMET

Data	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Out	Nov	Dez	Anual
1971	19,1	19,0	17,1	11,1	8,3	5,8	8,7	8,8	14,0	13,0	13,8	15,9	12,9
1972	18,6	17,7	16,5	12,4	13,2	13,2	8,4	9,6	11,9	12,0	14,4	17,7	13,8
1973	19,4	19,4	17,7	15,2	11,4	10,7	9,8	7,6	9,4	13,4	11,9	17,8	13,6
1974	19,0	18,9	18,3	13,1	12,9	6,9	9,2	7,8	10,2	12,2	13,5	16,4	13,2
1975	17,0	17,8	17,8	13,6	10,8	9,0	7,4	10,2	12,3	12,2	14,7	16,3	13,3
1976	19,2	17,8	16,0	12,9	11,3	8,1	7,8	9,1	10,6	12,7	14,3	16,5	13,0
1977	20,4	20,6	18,2	13,7	9,4	9,6	11,0	9,2	13,4	16,4	16,1	18,9	14,7
1978	19,1	18,2	17,8	11,5	8,7	8,1	10,0	9,6	12,4	15,1	14,6	17,8	13,6
1979	17,4	19,8	16,9	13,4	9,4	5,7	8,7	11,4	9,7	14,8	14,1	17,7	13,2
1980	17,8	19,0	20,3	17,1	13,3	8,4	6,8	8,4	8,3	14,3	15,2	18,6	14,0
1981	18,9	20,6	15,5	14,9	15,0	7,7	9,8	9,7	11,7	12,0	16,8	16,4	14,1
1982	17,0	19,0	18,2	14,9	10,2	9,2	9,5	10,4	13,6	11,9	14,5	17,3	13,8
1983	21,0	19,3	16,1	13,8	12,0	6,3	8,2	9,9	9,4	12,5	16,1	18,5	13,6
1984	21,0	21,3	18,2	14,6	11,6	9,0	8,4	7,7	11,5	14,5	14,4	14,5	13,9
1985	17,9	18,7	16,9	14,5	10,3	9,9	9,9	10,6	13,2	14,1	16,5	17,3	14,1
1986	19,2	18,9	16,7	17,0	11,3	12,0	8,1	10,9	12,1	13,3	15,8	17,7	14,4
1987	18,3	19,9	18,2	15,6	9,6	7,5	11,0	10,4	9,5	12,9	16,1	17,6	13,9
1988	19,4	18,3	19,2	11,6	8,1	6,0	7,5	9,4	9,8	11,7	13,4	17,9	12,7
1989	19,7	18,7	17,3	14,6	9,1	7,4	5,9	9,6	9,3	11,4	15,4	19,5	13,2
1990	19,7	19,6	16,5	15,4	10,0	7,2	8,1	8,9	10,5	16,1	16,7	16,5	13,8
1991	18,0	17,4	17,6	15,0	13,3	9,8	7,5	11,6	12,2	14,0	16,0	19,7	14,3
1992	19,5	21,5	19,4	16,4	11,4	11,0	6,7	8,4	12,1	12,7	14,7	17,6	14,3
1993	20,4	18,7	18,4	16,1	12,3	9,2	7,2	8,0	10,7	14,7	16,5	18,1	14,2
1994	18,4	19,2	18,1	13,9	14,5	9,6	8,4	9,0	12,2	14,9	15,8	19,5	14,4
1995	19,9	18,7	16,8	14,3	11,0	7,5	10,3	9,3	10,8	12,3	16,6	17,9	13,8
1996	19,9	19,3	19,1	16,0	10,1	5,6	5,1	9,5	10,7	15,1	17,0	18,6	13,8
1997	21,1	19,3	16,7	14,1	10,8	9,3	10,2	11,3	11,6	15,2	17,1	18,3	14,6
1998	19,3	20,1	17,4	16,3	12,3	9,1	10,7	11,4	11,6	14,4	16,0	17,7	14,7
1999	19,0	17,8	19,6	13,8	10,0	8,9	9,1	9,2	11,6	14,0	14,7	17,8	13,8
2000	19,4	18,6	17,0	16,0	12,2	11,8	7,3	8,0	9,8	15,0	14,9	17,8	14,0
Média	19,1	19,1	17,7	14,4	11,1	8,6	8,6	9,5	11,2	13,6	15,3	17,7	13,8

ANEXO C – Normais Climatológicas – Período: 1971/ 2000
(Direção Predominante dos Ventos)

Normais Climatológicas - Período: 1971/2000 (Decendial)

Estação Agroclimatológica: Capão do Leão - RS (Embrapa/ETB - Campus da UFPel)
 Convênio Embrapa/UFPel/INMET

Anos	Jan			Fev			Mar			Abr			Mai			Jun		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Temperatura Média (°C)	23,0	23,2	23,5	23,1	23,0	23,0	22,7	21,7	20,7	19,4	18,4	17,7	16,1	15,4	14,1	12,6	12,6	12,1
Temperatura Média das Mínimas (°C)	18,7	19,1	19,6	19,0	19,2	19,1	18,8	17,8	16,4	15,1	14,4	13,8	11,9	11,5	10,1	8,9	8,8	8,3
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	10,0	10,5	10,2	11,8	10,4	9,8	10,0	10,2	5,0	5,0	2,7	4,2	2,2	2,0	1,2	-1,0	-2,6	-3,0
Temperatura Média das Máximas (°C)	27,6	28,3	28,5	28,0	27,8	28,1	27,8	26,7	26,2	24,9	23,8	23,2	22,0	20,9	19,6	17,9	18,0	17,5
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	36,8	36,4	39,0	36,5	35,8	35,4	36,6	35,5	37,4	35,1	34,2	33,2	31,6	31,5	30,8	28,5	29,4	27,6
Precipitação Pluviométrica (mm)	30,9	38,7	49,5	56,6	61,9	34,8	33,6	27,7	36,1	25,1	55,3	20,0	25,4	31,0	44,3	35,2	33,1	37,4
Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	79,6	78,8	82,0	97,6	188,2	121,8	57,2	53,2	126,8	53,8	134,0	53,6	80,6	86,0	73,2	95,0	66,0	87,2
Número de Dias de Precipitação	3,0	4,1	4,6	4,2	4,2	3,1	3,6	3,2	3,5	2,7	3,6	2,6	2,6	3,1	3,5	3,7	3,4	3,4
Umidade Relativa (%)	76,9	76,9	78,2	78,8	80,1	80,8	80,1	81,1	80,3	80,8	82,5	83,5	82,5	84,5	83,8	84,0	84,1	83,9
Evaporação Tanque Classe "A" (mm)	68,2	66,5	70,5	61,2	56,4	45,0	53,0	47,5	48,8	40,8	34,5	30,7	26,8	21,2	23,9	19,2	18,8	18,5
Evaporação Piche (mm)	54,0	52,9	54,5	47,1	42,8	34,1	42,1	39,9	41,8	35,3	31,1	29,0	27,0	22,9	24,7	20,0	20,7	20,4
Evapotranspiração Potencial (mm)	49,4	49,4	53,0	45,0	42,2	32,6	38,8	35,2	35,6	28,1	23,5	21,7	18,6	15,7	15,8	12,2	12,0	11,9
Insolação Total (horas e décimos)	84,1	82,7	84,4	74,7	70,6	59,4	70,8	68,7	73,5	66,0	60,5	63,0	61,6	55,1	61,0	48,2	46,6	46,4
Radiação Solar Global (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	513,4	508,1	475,3	460,1	431,1	424,3	403,0	379,1	352,4	328,2	287,9	275,5	251,4	219,9	207,5	190,1	182,2	179,7
Nebulosidade (0-10)	5,9	5,7	6,3	6,3	6,6	6,0	6,0	5,6	5,5	5,4	5,8	5,8	5,5	6,1	6,0	6,1	6,2	6,2
Pressão Barométrica (mb)	1011,7	1011,4	1011,2	1012,2	1013,0	1012,9	1013,6	1013,7	1014,2	1015,0	1014,5	1016,0	1016,4	1016,2	1016,9	1017,4	1017,7	1016,9
Velocidade Média do Vento (m.s ⁻¹)	4,0	3,9	3,9	3,8	3,8	3,3	3,3	3,2	3,0	3,1	3,0	2,9	2,6	2,7	2,7	2,6	2,9	2,7
Direção Predominante do Vento	E	NE	E	E	E	E	E	E	E	NE	NE	NE	SW	SW	SW	SW	NE	NE
Velocidade Máxima do Vento (m.s ⁻¹)	20,2	23,0	19,0	22,5	25,2	24,2	22,3	21,5	25,0	19,0	25,5	25,0	23,4	23,5	20,0	21,1	22,8	26,0
Direção do Vento na Velocidade Máxima	W	S	SW	S	S	W	SW	W	SW	NE/E	SW	S	SW	NE	W	W	NE	S
Número de Dias de Geada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5	2,3	2,1	2,3
Número de Dias de Granizo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Número de Dias de Orvalho	4,0	3,6	3,1	4,2	3,9	3,4	4,3	3,9	4,2	3,5	3,7	2,8	3,1	2,2	2,1	1,4	1,5	2,0
Número de Dias de Neve/veio	0,6	0,7	0,7	0,7	1,0	1,3	1,7	1,8	2,5	3,3	3,0	3,8	3,0	3,8	3,5	3,0	3,2	2,6

Normais Climatológicas - Período: 1971/2000 (Decendial)

Estação Agroclimatológica: Capão do Leão - RS (Embrapa/ETB - Campus da UFPel)
Convênio Embrapa/UFPel/INMET

Anos	Jul			Ago			Set			Out			Nov			Dez		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Temperatura Média (°C)	12,2	12,0	12,5	12,9	13,1	14,2	14,0	15,1	15,7	16,5	17,4	18,6	18,9	19,7	20,2	21,3	22,0	22,5
Temperatura Média das Mínimas (°C)	8,5	8,2	9,0	9,3	9,0	10,2	10,0	11,5	12,1	12,8	13,3	14,7	14,8	15,4	15,5	16,9	17,6	18,4
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	-0,4	-2,7	-1,0	-1,0	-0,8	0,0	0,2	2,8	2,0	2,6	3,4	4,0	6,0	6,3	7,6	7,9	8,8	9,0
Temperatura Média das Máximas (°C)	17,4	17,5	17,5	18,0	18,4	19,2	19,1	19,5	20,1	20,9	22,2	23,2	23,7	24,8	25,4	26,5	27,3	27,4
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	29,6	30,4	31,8	31,0	33,0	32,5	32,5	35,6	35,6	32,0	34,4	34,2	36,4	39,2	35,6	36,4	37,4	39,6
Precipitação Pluviométrica (mm)	43,3	53,6	49,1	44,6	21,6	51,2	34,2	48,7	40,8	34,0	33,2	33,4	34,0	35,3	30,2	30,8	38,3	34,0
Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	76,0	109,8	88,0	81,6	67,8	92,2	60,8	70,0	92,0	74,4	71,4	74,7	66,0	81,6	80,0	89,4	86,4	152,0
Número de Dias de Precipitação	4,0	3,4	4,0	3,5	2,9	3,4	3,0	4,1	3,7	3,5	3,2	3,9	3,9	3,1	3,0	3,3	2,8	3,4
Umidade Relativa (%)	85,4	84,8	84,6	84,9	82,3	82,6	80,7	83,3	81,4	80,6	78,7	79,0	77,4	75,7	74,9	75,3	75,1	76,0
Evaporação Tanque Classe "A" (mm)	17,9	21,1	22,9	19,9	25,6	31,5	32,9	32,2	35,7	40,4	48,3	55,3	55,1	59,3	65,7	67,9	69,9	78,1
Evaporação Piche (mm)	19,4	20,9	23,5	21,8	26,1	30,5	32,8	29,5	34,5	36,8	41,8	47,7	46,1	50,5	53,2	53,6	54,9	60,5
Evapotranspiração Potencial (mm)	11,6	12,4	15,0	14,4	17,6	21,1	22,4	22,9	26,3	29,2	34,0	39,3	39,3	43,6	45,9	48,3	49,4	54,0
Insolação Total (horas e décimos)	44,6	48,8	52,8	47,3	57,0	56,5	59,1	48,0	54,4	58,3	66,7	74,7	69,9	80,2	84,4	86,8	86,0	92,4
Radiação Solar Global (cal cm ⁻² .dia ⁻¹)	175,9	193,3	199,8	210,8	251,5	252,9	282,8	281,5	323,3	348,6	383,5	412,8	437,1	487,4	510,0	527,5	526,4	518,9
Nebulosidade (0-10)	6,3	6,3	6,8	6,8	5,9	6,7	5,8	6,8	6,7	6,6	6,1	6,4	6,0	5,9	5,5	5,4	5,8	5,8
Pressão Barométrica (mb)	1018,6	1018,6	1018,5	1018,4	1019,1	1017,3	1018,3	1017,0	1017,9	1016,4	1015,4	1014,5	1013,7	1013,4	1012,4	1011,9	1010,7	1011,8
Velocidade Média do Vento (m.s ⁻¹)	2,9	2,9	3,2	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,1	3,9	4,0	4,1
Direção Predominante do Vento	NE	NE	SW	SW	NE	NE	NE	E	NE	E	NE	E	NE	E	E	E	E	E
Velocidade Máxima do Vento (m.s ⁻¹)	23,0	21,2	19,0	25,3	23,0	28,0	30,0	27,0	25,4	27,2	24,1	25,0	23,7	25,8	26,2	27,2	24,7	23,0
Direção do Vento na Velocidade Máxima	SW	W	SW	NE	W	NE	NE	NE	NE	NE	W	SW	NE	NE	SW	SW	SW	S
Número de Dias de Geadas	1,9	2,1	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	0,6	0,7	0,5	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
Número de Dias de Granizo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
Número de Dias de Orvalho	1,1	1,5	1,4	1,4	2,3	1,9	1,9	2,4	2,0	2,5	3,4	3,2	3,1	3,5	3,8	3,7	4,1	3,8
Número de Dias de Neveleiro	3,7	2,5	3,3	3,3	2,9	3,7	2,2	1,7	1,3	1,3	1,0	1,1	0,7	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8