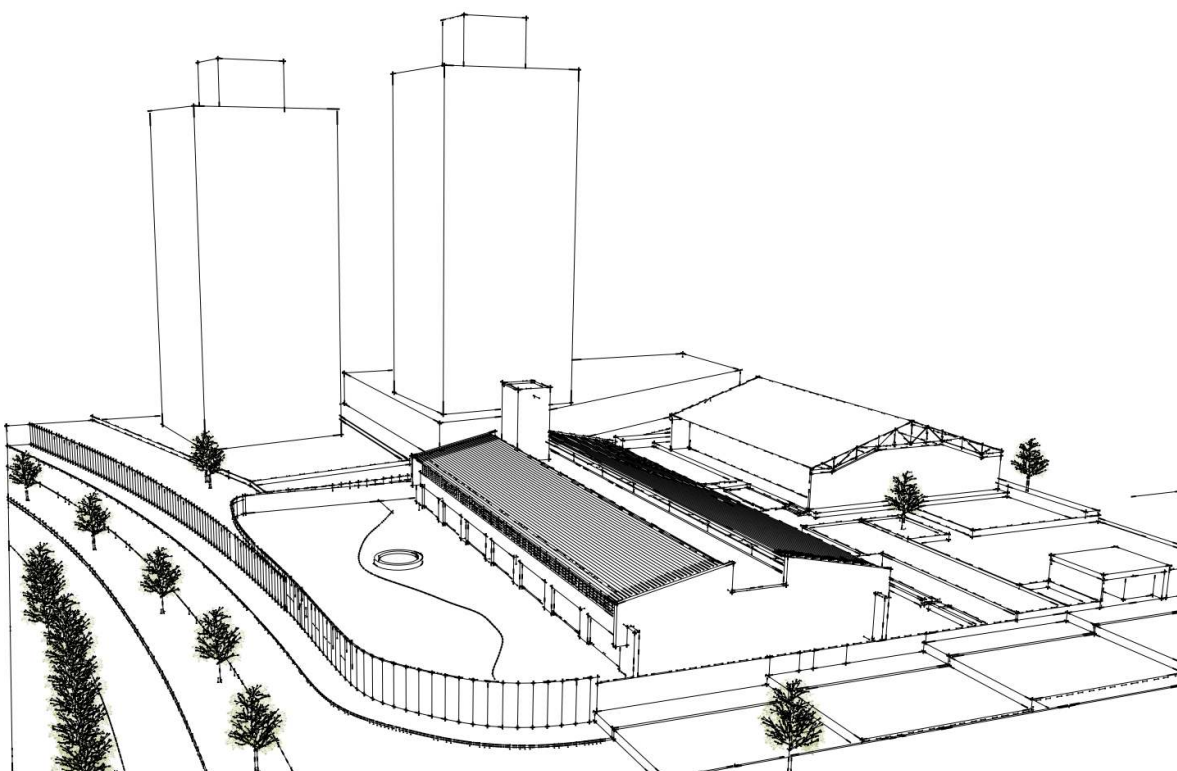


**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

Gimaoli Cavalcanti de Oliveira

**ESTUDO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO
NATURAL EM ESCOLAS MUNICIPAIS DE JOÃO PESSOA – PB**



João Pessoa-PB
2012

Gimaoli Cavalcanti de Oliveira

**ESTUDO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO
NATURAL EM ESCOLAS MUNICIPAIS DE JOÃO PESSOA – PB**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

Orientadora: Prof. Dra. Solange Maria Leder

João Pessoa-PB
2012

Gimaoli Cavalcanti de Oliveira

**ESTUDO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO
NATURAL EM ESCOLAS MUNICIPAIS DE JOÃO PESSOA - PB**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

APROVADA EM 29 DE MAIO DE 2012.

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dra. Solange Maria Leder – Orientadora (UFPB)

Prof.^o Dr. Aldomar Pedrini - Membro externo (UFRN)

Prof.^o Dr. Luiz Bueno da Silva (UFPB)

Às minhas filhas Maria Luíza e Júlia
pelos preciosos e irrecuperáveis
momentos de suas infâncias os quais me
fiz ausente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, que permitiu que tudo isso fosse possível.

À professora Solange Leder pela confiança em mim depositada e pela competente orientação que conduziu com paciência e maestria, tornando possível a realização desse trabalho.

À Julio Uchoa Cavalcanti Neto pelo incentivo, apoio e colaboração nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais pelo amor e apoio incondicionais.

Aos meus familiares pela confiança e apoio nas horas mais difíceis.

Aos colegas de curso pela amizade e companheirismo.

À Eliana Lima, Roberta Santos e Lilianne Queiroz pela fundamental ajuda.

Aos diretores e funcionários das 10 escolas padrão, em especial aos da E. M. Gov. Leonel Brizola e os da E. M. Afonso Pereira, que gentilmente permitiram minhas visitas, muitas vezes, nos horários mais inconvenientes.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

O ambiente construído deve adequar-se ao clima em que está inserido para minimizar o impacto ambiental causado pelo consumo desenfreado dos recursos naturais. O desenvolvimento de novas tecnologias capazes de avaliar a iluminação natural pode auxiliar no projeto direcionado ao uso energeticamente eficiente da iluminação na arquitetura. Alicerçada na revisão bibliográfica referente a essas novas tecnologias, essa pesquisa teve como objetivo analisar o potencial de aproveitamento da luz natural em salas de aula da rede municipal de ensino, na cidade de João Pessoa. A amostra selecionada representa um conjunto de escolas construídas segundo o projeto padrão adotado nas últimas gestões da Prefeitura Municipal de João Pessoa, e que ainda se encontra em uso. A metodologia adotada consistiu em medições *in loco* e simulações computacionais feitas com a utilização do software Daysim. Os resultados obtidos permitiram concluir que há grande potencial de aproveitamento da iluminação natural, contudo, verifica-se a necessidade de implementar ações de controle da luminosidade excessiva. A existência de 10 escolas construídas, sob o mesmo projeto, em sítios diferenciados, permitiu ainda analisar o grau de influência do entorno na disponibilidade de luz natural dentro das salas de aula.

Palavras-chave: iluminação natural. iluminação natural em escolas. projeto padrão. simulação da luz natural. influência do entorno.

ABSTRACT

The built environment must be adapted to the climate in which it is inserted to minimize the environmental impact caused by the unbridled consumption of natural resources. The development of new technologies capable of assessing natural lighting can assist in project directed to the use of energy efficient lighting in architecture. Grounded in the literature review related to these new technologies, this study aimed to analyze the potential use of natural light in the classrooms of municipal schools in the city of João Pessoa. The sample represents a number of schools constructed under the standard design adopted in recent managements of the City of João Pessoa, and still in use. The methodology consisted in situ measurements and computer simulations did using the software Daysim. The results showed that there is great potential for use of daylighting, however, there is a need to implement actions to control glare. The existence of 10 schools constructed under the same project in different sites, allowed us to analyze the degree of influence surrounding the availability of natural light into the classrooms.

Key-word: daylighting. daylighting in schools. standard design. daylighting simulation. surroundings's influence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Carta solar de João Pessoa.....	28
Figura 3.1 - Fluxograma do método.....	57
Figura 3.2 - Sala onde foram realizadas as medições <i>in loco</i>	62
Figura 3.3 - Disposição dos sensores na sala	62
Figura 3.4 - Arquivo de pontos para a simulação com 3 sensores.....	64
Figura 3.5 - Definição das coordenadas x e y dos 3 sensores.....	65
Figura 3.6 - Pavimento superior: distribuição dos 121 pontos nas salas.....	67
Figura 4.1 - Mapa do Brasil: regiões.....	68
Figura 4.2 - Mapa de João Pessoa: limites.....	68
Figura 4.3 - Orientação das escolas padrão.....	74
Figura 4.4 - Projeto arquitetônico padrão: planta de cobertura.....	75
Figura 4.5 - Projeto arquitetônico padrão: cortes.....	75
Figura 4.6 - Projeto arquitetônico padrão: planta baixa pavimento térreo.....	76
Figura 4.7 - Projeto arquitetônico padrão: planta baixa pavimento superior.....	76
Figura 5.1 - Anayde Beiriz: planta esquemática.....	86
Figura 5.2 - Raimundo Nonato: planta esquemática.....	86
Figura 5.3 - Leonel Brizola: planta esquemática.....	86
Figura 5.4 - Modelagem do prédio da escola.....	87
Figura 5.5 - Modelagem do mobiliário.....	87
Figura 5.6 - Modelagem do ginásio poliesportivo.....	87
Figura 5.7 - Anayde Beiriz: entorno modelado.....	88
Figura 5.8 - Chico Xavier: entorno modelado.....	88
Figura 5.9 - Violeta Formiga: entorno modelado.....	88
Figura 5.10 - Chico Xavier: entorno modelado.....	88
Figura 5.11 - Modelo digital das escolas em análise.....	89
Figura 6.1 - Diagrama estereográfico da E. M. Afonso Pereira.....	97
Figura 6.2 - Diagrama estereográfico da E. M. Leonel Brizola.....	97
Figura 6.3 - Posicionamento do sensores na sala de aula.....	98
Figura 7.1 - Divisão das salas de aula em blocos 01 e 02.....	110
Figura 7.2 - E.M. Afonso Pereira: isolinhas do parâmetro ALN.....	111
Figura 7.3 - E.M. Anayde Beiriz: isolinhas do parâmetro ALN.....	112
Figura 7.4 - E.M. Celso Furtado: isolinhas do parâmetro ALN.....	112
Figura 7.5 - E.M. Chico Xavier: isolinhas do parâmetro ALN.....	113
Figura 7.6 - E.M. Francisco Pereira: isolinhas do parâmetro ALN.....	113
Figura 7.7 - E.M. Leonel Brizola: isolinhas do parâmetro ALN.....	114
Figura 7.8 - E.M. Luiz A. Crispim: isolinhas do parâmetro ALN.....	114
Figura 7.9 - E.M. Radegundis Feitosa: isolinhas do parâmetro ALN.....	115

Figura 7.10 -E.M. Raimundo Nonato: isolinhas do parâmetro ALN.....	115
Figura 7.11 -E.M. Violeta Formiga: : isolinhas do parâmetro ALN.....	116
Figura 7.12 -E.M. Afonso Pereira: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	119
Figura 7.13 -E.M. Anayde Beiriz: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	120
Figura 7.14 -E.M. Celso Furtado: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	120
Figura 7.15 -E.M. Chico Xavier: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	121
Figura 7.16 -E.M. Francisco Pereira: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	121
Figura 7.17 -E.M. Leonel Brizola: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	122
Figura 7.18 -E.M. Luiz A. Crispim: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	122
Figura 7.19 -E.M. Radegundis Feitosa: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	123
Figura 7.20 -E.M. Raimundo Nonato: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	123
Figura 7.21 -E.M. Violeta Formiga: isolinhas do parâmetro INU>2000.....	124

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 2.1 - Foto registrada através de lente tipo “olho de peixe”	27
Fotografia 2.2 - Foto registrada através de lente tipo “olho mágico”	27
Fotografia 2.3 - Hector Godinez School, CA/EUA.....	47
Fotografia 2.4 - Twenhofel M. School, Kentucky/ EUA.....	47
Fotografia 2.5 - Clackamas High School, Oregon/EUA.....	47
Fotografia 2.6 - Escola Municipal Tia Ciata, Rio de Janeiro/RJ.....	51
Fotografia 2.7 - Escola Municipal Sérgio Vieira de Melo, Rio de Janeiro/RJ.....	51
Fotografia 2.8 - E. M. Esc. Luiz Augusto Crispim, Bairro dos Ipês.....	52
Fotografia 2.9 - E. M. Chico Xavier, Bessa.....	52
 Fotografia 3.1 - DataLogger e sensores instalados.....	 62
 Fotografia 4.1 - Vista aérea da cidade de João Pessoa	 69
Fotografia 4.2 - E.M. Aruanda	70
Fotografia 4.3 - E.M. Olívio Ribeiro Campos	70
Fotografia 4.4 - E.M. Aruanda: sala de aula	70
Fotografia 4.5 - E.M. Olívio R. Campos: sala de aula	70
Fotografia 4.6 - Terreno plano da E. M. Radegundis Feitosa	79
Fotografia 4.7 - Terreno plano da E. M. Chico Xavier.....	79
Fotografia 4.8 - Terreno plano da E. M. Afonso Pereira	79
Fotografia 4.9 - Declividade do terreno da E. M. Leonel Brizola.....	79
Fotografia 4.10 - Declividade do terreno da E. M. Violeta Formiga.....	79
Fotografia 4.11 - Declividade do terreno da E. M. L. A. Crispim.....	79
Fotografia 4.12 - Paisagismo da E. M. Celso M. Furtado.....	79
Fotografia 4.13 - Paisagismo da E. M. Anayde Beiriz.....	79
Fotografia 4.14 - Paisagismo da E. M. Francisco P. Nóbrega.....	79
Fotografia 4.15 - Ginásio da E. M. Celso M. Furtado.....	80
Fotografia 4.16 - Ginásio da E. M. Luiz Augusto Crispim.....	80
Fotografia 4.17 - Ginásio da E. M. Violeta Formiga.....	80
Fotografia 4.18 - Entorno desobstruído da E. M. Radegundis Feitosa.....	80
Fotografia 4.19 - Entorno obstruído da E. M. Gov. Leonel Brizola.....	80
Fotografia 4.20 - Laje inclinada e aberturas opostas na sala de aula.....	81
Fotografia 4.21 - Clerestório existente nas salas.....	82
Fotografia 4.22 - Detalhe do beiral das escolas.....	82
Fotografia 4.23 - Abertura zenital existente na área de circulação.....	83
Fotografia 4.24 - Abertura lateral na extremidade da área de circulação.....	83
Fotografia 4.25 - Detalhe da iluminação artificial existente nas salas.....	83
Fotografia 4.26 - Detalhe do acionamento da iluminação artificial.....	83
 Fotografia 6.1 - Céu visível do teto da E.M. Leonel Brizola.....	 93
Fotografia 6.2 - Céu visível da janela da E.M. Afonso Pereira.....	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Temperatura média em João Pessoa – 1961 à 1990.....	69
Gráfico 4.2 - Insolação em João Pessoa – 1961 à 1990.....	69
Gráfico 6.1 - Dados obtidos nas medições <i>in loco</i> : 03/09/11.....	99
Gráfico 6.2 - Dados obtidos nas medições <i>in loco</i> : 04/09/11.....	100
Gráfico 6.3 - Dados obtidos nas medições <i>in loco</i> : 05/09/11.....	100
Gráfico 6.4 - Dados obtidos nas medições <i>in loco</i> : 10/09/11.....	101
Gráfico 6.5 - Dados obtidos nas medições <i>in loco</i> : 11/09/11.....	101
Gráfico 6.6 - Afonso Pereira: INU da medição e da simulação.....	108
Gráfico 6.7 - Leonel Brizola: INU da medição e da simulação.....	108
Gráfico 6.8 - A. Pereira e L. Brizola: ALN das medições e das simulações.....	109
Gráfico 7.1 - A. Pereira, L. Brizola e R. Nonato: faixas de frequência da ALN.....	118

LISTA DE IMAGENS

Imagem 4.1 - Escolas padrão localizadas no mapa de João Pessoa-PB	72
Imagem 4.2 - Imagens de satélite das escolas padrão	73
Imagem 4.3 - Lote quadrado da E. M. Raimundo Nonato.....	78
Imagem 4.4 - Lote retangular da E. M. Afonso Pereira	78
Imagem 5.1 - Anayde Beiriz: entorno real.....	86
Imagem 5.2 - Raimundo Nonato: entorno real.....	86
Imagem 5.3 - Leonel Brizola: entorno real.....	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Consumo de energia elétrica por setor – 2001/2010.....	43
Quadro 2.2 - População residente: consumo de energia elétrica - 2001/2010.....	44
Quadro 4.1 - Materiais encontrados na escola padrão.....	84
Quadro 5.1 - Cores, materiais e coeficientes utilizados no modelo digital.....	90
Quadro 6.1 - Fotos tiradas com máquina direcionada à frente.....	94
Quadro 6.2 - Fotos tiradas com a máquina direcionada ao céu	95
Quadro 6.3 - Céu visível e obstruído das escolas A. Pereira e L. Brizola.....	96
Quadro 6.4 - Data e horário das medições <i>in loco</i>	98
Quadro 6.5 - Medições da iluminância externa (lux*100).....	102
Quadro 6.6 - Radiação total global no plano horizontal: João Pessoa-PB (kj/m ²)...103	
Quadro 6.7 - Comparação entre iluminância e radiação solar.....	104
Quadro 6.8 - Comparação entre iluminância e radiação solar (continuação).....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 -E. M. Afonso Pereira: simulação computacional com 3 sensores.....	106
Tabela 6.2 -E. M. Leonel Brizola: simulação computacional com 3 sensores.....	106
Tabela 6.3 -E.M. Afonso Pereira: medição e simulação com 3 sensores.....	107
Tabela 6.4 -E.M. Leonel Brizola: medição e simulação com 3 sensores.....	107
Tabela 6.5 -Escolas A. Pereira e L. Brizola: ALN das medições <i>in loco</i>	108
Tabela 6.6 -Escolas A. Pereira e L. Brizola: ALN das simulações.....	108
Tabela 6.7 -Escolas A. Pereira e L. Brizola: ALN das medições e simulações.....	108
Tabela 7.1 -Valores médios do parâmetro ALN por escola.....	117
Tabela 7.2 -Distribuição de frequência do parâmetro ALN.....	118
Tabela 7.3 -Valores médios do parâmetro INU>2000 por escola.....	124
Tabela 7.4 -Comparação do parâmetro INU entre as escolas.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALN – Autonomia da Luz Natural

AconLN – Autonomia Contínua da Luz Natural

BEN – Balanço Energético Nacional

CIE – Commission Internationale De L'Eclairage

DGC – Diretoria de Gestão Curricular

E. M. – Escola Municipal

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FCV – Fator de Céu Visível

FLN – Fator da Luz Natural

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – International Energy Agency

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

INU – Iluminância Natural Útil

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

MEC – Ministério da Educação

MME – Ministério de Minas e Energia

NBR – Norma Brasileira

ONG – Organização Não Governamental

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PMJP - Prefeitura Municipal de João Pessoa

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público

SEDEC - Secretaria de Educação e Cultura

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

U. S. DOE – United States Department Of Energy

USGBC – United State Green Building Council

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	
AGRADECIMENTOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE FOTOGRAFIAS	
LISTA DE GRÁFICOS	
LISTA DE IMAGENS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Fontes de luz natural	22
2.2 Disponibilidade de luz	22
2.3 Condições de céu	24
2.4 Obstrução do entorno	25
2.4.1 Coeficiente de céu visível	26
2.4.2 Carta solar	28
2.5 Princípios básicos da luz natural	29
2.6 Radiação solar	30
2.7 Estudo da iluminação natural	30
2.7.1 Ferramentas auxiliares no estudo da iluminação natural	32
2.7.2 Softwares de estudo da iluminação natural	35
2.7.3 Softwares mais utilizados na simulação computacional	36
2.7.3.1 Indicadores de desempenho	40
2.8 Iluminação e eficiência energética	42
2.9 Elementos de iluminação natural	44
2.10 Iluminação natural em escolas	45
2.11 Escolas padrão	50
2.12 Códigos e normas	52
3 METODOLOGIA	56
3.1 Caracterização da amostra e pesquisa de campo	57
3.2 Construção do modelo	59
3.3 Medições <i>in loco</i>	60

3.4 Simulações computacionais	63
3.4.1 Simulações piloto	64
3.4.2 Simulações principais	66
4 UNIVERSO DE ANÁLISE	68
4.1 Definição do universo de análise	69
4.2 Caracterização da amostra	71
4.3 Pesquisa de campo	77
4.3.1 Levantamento fotográfico	77
4.3.2 Levantamento arquitetônico	77
5 CONSTRUÇÃO DO MODELO	86
6 MEDIÇÕES DA LUZ NATURAL EM ESCOLAS	92
6.1 Análise e caracterização da obstrução do entorno	92
6.2 Medições da iluminância	97
6.3 Simulação computacional	105
7 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	110
7.1 Autonomia da luz natural (ALN)	111
7.2 Iluminância natural útil (IULN)	119
8 CONCLUSÕES	128
8.1 Medições <i>in loco</i>	129
8.2 Simulações computacionais	130
8.3 Recomendações ao projeto padrão	132
REFERÊNCIAS	134
ANEXOS	142
A - Relação das escolas padrão construídas na cidade de João Pessoa-PB	
B - Coordenadas geográficas das escolas padrão de João Pessoa-PB	142
C - Relatório de análise da simulação computacional da E. M. Afonso Pereira com 3 sensores	143
D - Relatório de análise da simulação computacional da E. M. Leonel Brizola com 3 sensores	145

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios dos arquitetos é projetar ambientes que além de atenderem às prerrogativas de programa, funcionalidade, partido, tipologia, etc., típicas de qualquer projeto arquitetônico, atendam ainda às exigências de conforto ambiental e eficiência energética. É fundamental que o ambiente construído esteja em total harmonia com o bioclima em que está inserido, e que os recursos naturais possam ser aproveitados de forma sustentável. O imperativo da sustentabilidade é uma prioridade inadiável (LARA, 2009).

O uso do Sol como fonte primária de energia permeou grande parte do processo evolutivo da humanidade. A sua utilização como fonte de iluminação natural em edificações traz benefícios à saúde física e psíquica dos usuários, bem como restringe a utilização dos sistemas artificiais, agentes consideráveis no consumo total de energia nas edificações não residenciais, livrando as reservas naturais do esgotamento e da poluição.

As escolas desenvolvem atividades que podem ser, na maior parte do tempo, plenamente atendidas apenas com o uso da iluminação natural, apresentando enorme potencial para esse tipo de sistema. Na Europa, tem-se observado um aumento significativo no incentivo à utilização de soluções sustentáveis principalmente nesse tipo de edificação. Além disso, nas escolas as crianças têm a oportunidade de aprender como se tornarem cidadãos mais conscientes do meio ambiente e de sua preservação (DIMOUDI; KOSTARELA, 2009).

Especificamente no Brasil, compreendido entre as latitudes de 0° e 32° Sul aproximadamente, existe uma alta potencialidade para o aproveitamento da luz natural, posto que os valores de iluminância chegam a ultrapassar 70.000 lux ao meio dia no inverno e 100.000 lux no mesmo horário no verão (VIANNA; GONÇALVES, 2004). Em função disso, os níveis de iluminância necessários para a realização de tarefas dentro da sala de aula, recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, são perfeitamente alcançados durante o dia apenas com a luz do sol.

Seguindo a tendência mundial em utilizar projetos padronizados para a construção de escolas, a Prefeitura Municipal de João Pessoa-PB (PMJP-PB)

adotou, em suas últimas gestões, um mesmo projeto para a construção de escolas. No entanto apesar da facilidade e praticidade desse tipo de iniciativa, ela enseja alguns cuidados, visto que o mesmo projeto é repetido em diversos sítios diferentes, fazendo-se necessário uma análise do potencial de uso da iluminação natural nessas edificações.

A preocupação em estudar as escolas municipais padronizadas de João Pessoa justifica-se pela quantidade de usuários que poderão ser beneficiados com os resultados dessa pesquisa. Cada unidade padrão, de um total de 10 escolas até o presente momento, atende em torno de 1.200 alunos distribuídos entre o ensino fundamental (1º ao 9º ano) e a Educação de Jovens e Adultos (EJA) durante os três turnos, totalizando aproximadamente 12.000 alunos¹. Destes, 8.000 serão diretamente beneficiados por estudarem de manhã e à tarde, turnos em que o aproveitamento da luz natural poderá ser efetuado.

Além disso, é de grande importância para essa pesquisa tornar mais efetiva a utilização da iluminação natural dentro da edificação escolar, bem como elevar os níveis de conforto ambiental dentro da sala de aula de forma natural, tornando o prédio energeticamente mais eficiente.

O objetivo principal desta pesquisa é analisar o potencial de aproveitamento da luz natural como fonte de iluminação nas salas de aula das escolas municipais de João Pessoa-PB, construídas a partir de um projeto padrão.

Os objetivos específicos são:

- Verificar o nível de adequação do projeto padrão às atividades desenvolvidas na escola sob o ponto de vista da iluminação natural;
- Analisar o grau de influência do entorno no comportamento da luz natural.
- Verificar se há a presença de luz solar direta dentro da sala de aula causando desconforto visual nos seus usuários.

O presente trabalho está organizado da seguinte maneira:

No capítulo 2 a **Revisão bibliográfica** reúne os princípios básicos da iluminação natural como os tipos de fonte de luz natural, sua disponibilidade e os

¹ Dados obtidos em notícia veiculada pelo portal IPARAÍBA em 16 de março de 2008.

tipos de céu. Traz ainda um tópico sobre obstrução do entorno e sua caracterização, bem como os princípios básicos da radiação solar. Faz um levantamento das principais ferramentas auxiliares no estudo da iluminação natural, além dos softwares e indicadores de desempenho mais utilizados e sua importância como método de predição realista nas decisões projetuais. Discorre também sobre a iluminação atrelada à eficiência energética e sobre os elementos de iluminação natural. Por fim, dedica uma parte do texto ao ponto central dessa pesquisa, qual seja, o da iluminação natural em escolas, sua importância e sua abordagem em escolas padrão.

No capítulo 3 - **Metodologia** apresenta os procedimentos adotados no trabalho, que tiveram início com a *caracterização da amostra*, onde foram identificadas e localizadas as escolas, e a *pesquisa de campo*, onde foram feitos os levantamentos arquitetônico e fotográfico. Dando prosseguimento aos procedimentos adotados, foi abordada a *construção do modelo digital tridimensional* usado na simulação e, em seguida, as *medições da iluminância* feitas *in loco* em duas escolas com orientação iguais e entornos diferenciados. Por fim, é descrita a etapa da *simulação computacional* em que é utilizado o software Daysim.

No capítulo 4 - **Universo de análise** é descrito todo o processo de construção do objeto de análise, o recorte temporal utilizado, a identificação e localização da amostra selecionada, bem como os levantamentos arquitetônico e fotográfico realizados em campo.

No capítulo 5 - **Construção do modelo** é abordada toda a etapa de elaboração do modelo tridimensional digital utilizado na simulação computacional, bem como os programas e procedimentos utilizados.

No capítulo 6 - **Medição da luz natural em escolas** é descrito todo o processo das medições *in loco* realizadas em duas escolas padrão com mesma orientação e entorno diferenciado. Aqui também são descritas as simulações computacionais realizadas sob as mesmas condições das medições, com o intuito de ajustar o modelo.

No capítulo 7 - **Simulações computacionais** são apresentados os resultados das simulações computacionais da luz natural nas escolas selecionadas

na amostra, bem como a respectiva análise das mesmas e o diagnóstico da situação encontrada.

Por fim, no capítulo 8 – **Conclusões** são apresentadas as principais conclusões obtidas com os resultados da pesquisa realizada, acompanhadas das respectivas recomendações para o melhor aproveitamento da luz natural nas escolas e as possíveis indicações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Aqui são abordados os assuntos de maior relevância para a estruturação do desenvolvimento metodológico da pesquisa, cujo objetivo é a construção de um embasamento teórico alicerçado em conceitos e experiências desenvolvidas por outros autores. Serão pesquisados ainda assuntos que possam facilitar a explanação dos temas abordados na dissertação, aprofundando o entendimento dos leitores sobre o núcleo da pesquisa.

Iniciaremos esse capítulo com a revisão de conceitos relacionados aos aspectos climáticos e ambientais da iluminação natural. Em seguida, abordaremos aspectos da iluminação natural relacionados ao seu comportamento dentro do ambiente construído, especialmente no que diz respeito às escolas. Por fim, serão apresentados os parâmetros e os métodos utilizados como ferramentas de projeto no estudo da iluminação natural em edificações, bem como sua importância nas decisões projetuais.

2.1 Fontes de luz natural

As fontes de luz natural podem ser classificadas como direta, luz do sol, e indireta, aquela proveniente de difusores refletivos ou transluzentes.

A luz do Sol tem sido aproveitada intencionalmente pelos seres humanos em suas edificações desde os primórdios, variando de civilização para civilização. A luz da abóbada celeste é uma luz difusa, proveniente da refração e da reflexão da luz do Sol ao atravessar a atmosfera. Sua intensidade está diretamente ligada às condições de céu (MOORE, 1985).

2.2 Disponibilidade de luz natural

Os principais fatores determinantes da disponibilidade da luz natural são a *sazonalidade*, que estabelece variações da luminosidade natural de acordo com a época do ano e a hora do dia, o *clima*, principal definidor dos tipos de céu, a *qualidade do ar*, que diz respeito às partículas em suspensão, e o *sítio*, que considera características físicas e geográficas do lugar, influenciando diretamente no coeficiente de céu visível.

Segundo Bittencourt (2004), os efeitos da sazonalidade provêm dos movimentos de rotação e translação da Terra. O eixo de rotação da Terra possui uma inclinação de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano que contém a sua trajetória elíptica, responsável pelas diferenças estacionais ao longo do ano. Já o movimento em torno do seu próprio eixo é responsável pela variação entre noite e dia. Os movimentos de rotação e translação da Terra representam, portanto, um dos fatores responsáveis pela variabilidade e disponibilidade da luz natural.

O *clima*, em função de ser um dos principais responsáveis pelas condições de céu, influencia diretamente na disponibilidade da luz natural.

A *qualidade do ar* diz respeito às condições da atmosfera, pois esta funciona como um filtro dos raios solares. As radiações emitidas pelo Sol atravessam cerca de 8 km de partículas (poeira, poluição, gases naturais, etc.), presentes na atmosfera, que difundem, refratam, difratam e absorvem essas radiações. Devido a isso, quanto maior a espessura dessa camada de gases, menos fluxo energético atinge a Terra. Esse fluxo também varia em função da hora do dia, visto que a cada hora o ângulo de incidência dos raios que atingem a Terra muda, fazendo com que os mesmos atravessem espessuras maiores ou menores da atmosfera (BITTENCOURT, 2004).

A quantidade de luz natural que chega à edificação depende ainda das características do *sítio* no qual ela está implantada. Segundo Vianna e Gonçalves (2004), há uma série de parâmetros que resultam em alterações na intensidade luminosa e implicam significativas variações na disponibilidade da luz natural ao longo do ano, a saber:

- a) Latitude - a luz natural é menos intensa no nascer e no pôr do Sol do que ao meio-dia, bem como menos intensa em latitudes altas que em baixas.
- b) Continentalidade – diz respeito à influência que a costa oceânica ou as grandes massas de água podem exercer sobre a edificação em função da proximidade desta com aquelas.
- c) Orientação - o alinhamento das fachadas da edificação em relação à trajetória solar pode determinar o recebimento de intensidades luminosas maiores ou menores ao longo do dia e do ano.

- d) Inclinação do terreno - a inclinação do terreno pode implicar em sombreamentos na edificação, que dependendo do programa funcional e da região podem ser desejáveis ou não.
- e) Morfologia do entorno - a configuração do entorno, ou seja, suas características físicas de densidade, traçado urbano, proximidade entre as construções, espaçamento livre, existência de obstruções naturais ou construídas, pode alterar significativamente na disponibilidade de luz natural, pois pode ser responsável pela diminuição, de forma relevante, da parcela de céu visível no interior das edificações.

2.3 Condições de céu

Segundo definição da NBR 15.215-2 (ABNT, 2005), condição de céu é a aparência da abóbada celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre e que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz. Essa variável é de grande importância, pois influencia diretamente a disponibilidade de luz natural no ambiente construído. Devido à grande variabilidade das condições de céu existentes, a CIE² (Commission Internationale De L'Eclairage) publicou a norma ISO 15469:2004 (E) / CIE S 011/E:2003³, enumerando os modelos de céu sob uma ampla gama de condições que variam desde céu muito nublado a céu claro. Os objetivos que motivaram a elaboração dessa norma visaram criar uma base universal para a classificação das medidas da distribuição da luminância celeste, bem como, fornecer um método para o cálculo da luminância, que pudesse ser bastante útil aos projetistas nas questões projetuais referentes à iluminação natural.

A NBR 15.215-2 (ABNT, 2005), por sua vez, sintetizou essa ampla gama de condições de céu em apenas três: céu claro, céu encoberto e céu parcialmente encoberto ou intermediário. O céu claro caracteriza-se pela inexistência de nuvens e baixa nebulosidade, com a presença de partículas reduzidas de água em suspensão na abóbada, que fazem com que apenas os baixos comprimentos de onda, ou seja, a porção azul do espectro, consigam chegar à superfície da Terra, conferindo ao céu

² A CIE é uma organização de cooperação internacional voltada à troca de informações de qualquer natureza relacionadas à ciência e à arte da iluminação.

³ Essa norma substitui a CIE S003 - 1996: "Distribuição espacial da luz do dia - Padronização CIE para céu nublado e céu claro" e a ISO 15469:1997.

sua característica cor azul. O céu encoberto caracteriza-se pela presença de nuvens por toda a abóbada celeste. As partículas de água em suspensão na atmosfera são maiores e refletem e refratam a luz direta do Sol para todos os comprimentos de onda, deixando o céu cinza-claro. Céu parcialmente encoberto ou intermediário é definido como uma condição climática intermediária que ocorre entre os céus padronizados como claro e como totalmente encoberto.

O Brasil, por possuir quase toda sua extensão na zona intertropical do planeta, apresenta a predominância do clima quente e úmido em quase todo seu território. Nesse tipo de clima, segundo Vianna e Gonçalves (2004), o céu aparece predominantemente como parcialmente encoberto e com muita luminosidade, em decorrência da grande quantidade de vapor d'água em suspensão na atmosfera, aspecto que pode ser percebido na cidade de João Pessoa-PB, onde realizou-se essa pesquisa.

2.4. Obstrução do entorno

Dentre os principais fatores determinantes da disponibilidade da luz natural em um ambiente construído temos as características físicas do sítio, tão importante quanto o clima, a sazonalidade ou a qualidade do ar. A existência de obstruções naturais ou construídas no entorno são os principais responsáveis pelo sombreamento dentro do ambiente construído, influenciando diretamente na disponibilidade de luz natural.

Segundo Pereira *et al* (2008), diversos estudos indicam que a reflexão do entorno e a dinâmica da distribuição de luminâncias do céu são parâmetros extremamente relevantes para a simulação computacional, podendo representar grandes distorções nos resultados finais obtidos com o cálculo da iluminação natural. Em função disso, desenvolvem um método para analisar a contribuição da abóbada e do entorno de forma integrada, utilizando recurso de mapeamento digital de luminâncias e de simulação computacional. Verificaram nesse estudo que a reflexão da luz do entorno quando devidamente considerada nos procedimentos de simulação, representa uma componente bastante significativa do processo cuja contribuição média é de aproximadamente 26% nos níveis de iluminância interna produzida pelas aberturas laterais.

Um dos parâmetros utilizados para auferir o grau de obstrução do entorno é o cálculo do coeficiente de céu visível.

2.4.1 Coeficiente de céu visível

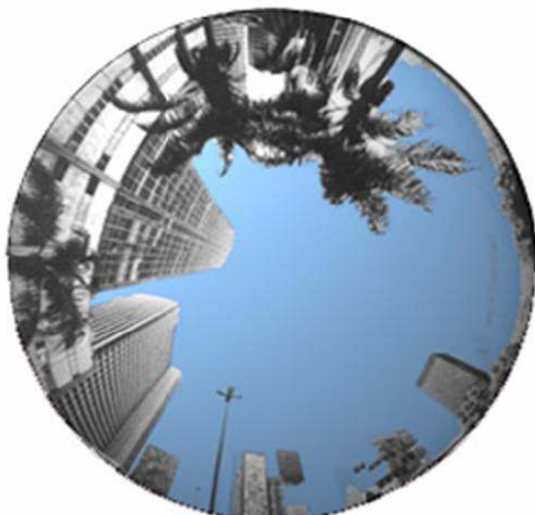
A determinação do coeficiente de céu visível consiste na verificação da parcela de céu que pode ser visualizado em um ponto específico. Os resultados obtidos permitem ao projetista analisar se a edificação em questão está recebendo quantidades adequadas de luz natural ou se essa quantidade está sendo comprometida pela proximidade e especificidade do entorno.

O entorno excessivamente obstruído, seja por elementos naturais presentes no sítio, como elevações do terreno e vegetações, seja por elementos construídos pelo homem, como prédios altos e muito próximos, pode comprometer o acesso de determinada edificação à luz natural, diminuindo a quantidade de luz que chega ao seu interior. Dependendo do caso, o sombreamento encontrado através do cálculo do fator de céu visível pode ser considerado como favorável ou prejudicial à edificação.

Para o cálculo do coeficiente de céu visível utiliza-se comumente a máscara de sombra, um recurso obtido por meio da carta solar, que por sua vez é a representação gráfica da trajetória solar na abóbada celeste da Terra nos diferentes períodos do dia e do ano para cada latitude específica. A máscara de sombra é a representação gráfica dos obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste de um observador localizado em um determinado ponto (BITTENCOURT, 2004). A máscara de sombras ou de obstrução solar, como é também conhecida, pode ser confeccionada por meio da combinação de dois procedimentos: a fotografia e a carta solar. É tirada uma fotografia do céu, no ponto que se quer calcular o céu visível e a esta fotografia é sobreposta à carta solar. O registro dessa fotografia, entretanto, requer a utilização de uma máquina fotográfica acoplada a uma lente “olho de peixe”, uma variação das lentes grande angulares, que possui uma abertura que abrange 180°. Esse tipo de lente possui uma curvatura mais acentuada causando um efeito bastante incomum nas bordas da fotografia (ver fotografia 2.1). Devido ao alto custo desse tipo de lente, têm-se feito uma adaptação utilizando lentes de “olho mágico”, cujo ângulo de abertura é em torno de 220°, acopladas à câmeras

fotográficas, permitindo resultados bastante aproximados aos de uma lente grande angular “olho de peixe” (ver fotografia 2.2).

Fotografia 2.1 – Foto registrada através de lente tipo “olho de peixe”



Fonte: ASSIS, 1995.

Fotografia 2.2 – Foto registrada através de lente tipo “olho mágico”



Fonte: MONTEIRO et al, 2011.

Outra forma de confecção das máscaras de obstrução solar tem sido por meio da utilização de softwares, como pode ser observado em Santos (2007) e Vilela (2009), que utilizam o programa *ArcView GIS 3.2* e sua extensão *3DSkyView26* para construção de máscaras de sombra. Esse programa e sua extensão possibilitam a confecção de máscaras de obstrução solar com base em um ponto, localizado em uma área previamente digitalizada contendo os perfis das edificações (seus contornos) e os valores de suas respectivas alturas.

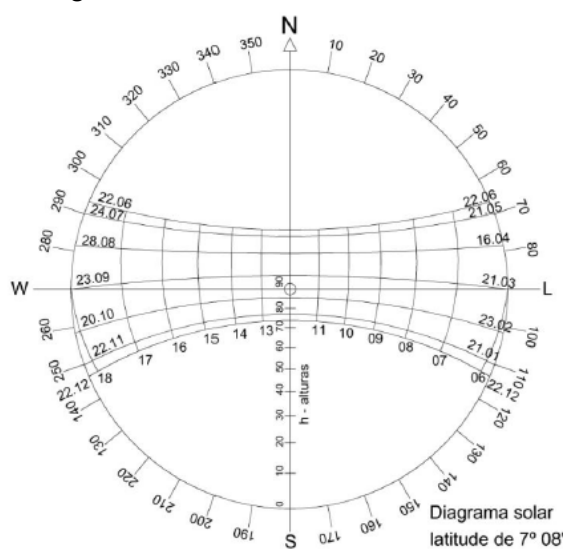
Um software que também tem sido utilizado na construção, não apenas de máscaras de sombra, mas também de cartas solares é o *Ecotect*, que atualmente pertence à *Autodesk* e passou a se chamar *Autodesk Ecotect Analysis*. Trata-se de um programa de projetos ambientais que une uma interface intuitiva de modelagem 3D com inúmeras ferramentas, dentre as quais podemos citar a *Solar Tool*, que permite a análise solar por meio da criação de cartas solares e máscaras de sombra. Além disso, possui grande facilidade de exportação que simplifica sua utilização. A utilização desses tipos de softwares tem aumentado consideravelmente em função de interfaces mais amigáveis, maior acessibilidade e evolução das ferramentas.

2.4.2 Carta solar

É a representação gráfica da trajetória aparente do Sol na abóbada celeste da Terra, projetada no plano do horizonte do observador, nos diferentes períodos do dia e do ano e para cada latitude específica. Há vários métodos de projeção que podem ser utilizados nessas representações: esférico, ortogonal, estereográfico, sendo os dois últimos os mais utilizados. O método de projeção estereográfico consiste na técnica de projetar figuras sólidas em um plano cujas linhas de projeção convergem para um único ponto.

O desenho da carta solar de um determinado local permite estabelecer a trajetória solar ao longo do ano, representando uma grande ferramenta para o estudo da iluminação natural no que diz respeito não apenas à insolação e sombreamento das fachadas da edificação mais também por contribuir para a tomada de decisões relativas ao traçado urbano, ao sistema viário, à disposição e à arborização das vias, etc.

Figura 2.1 – Carta solar de João Pessoa



Fonte: elaborado pela autora.

Na figura 2.1, observa-se a carta solar para a latitude 7°08' sul, referente à cidade de João Pessoa-PB. Nela percebem-se linhas curvas horizontais e verticais, que representam os meses e as horas do dia, respectivamente. As linhas horizontais indicam a projeção da trajetória solar durante os meses do ano; as horas do dia são

representadas pelas linhas verticais (06h às 18h). Os valores observados na parte periférica do diagrama indicam o azimuth.

2.5 Princípios básicos da luz natural

Para uma correta utilização da luz natural é fundamental conhecer alguns princípios básicos a respeito de seu comportamento. Segundo Moore (1985), temos:

- a) Radiação - ao atingir uma substância, a radiação é refletida, absorvida ou (nas superfícies transparentes) transmitida. No momento em que a energia radiante é absorvida, as moléculas superficiais aumentam sua vibração, convertendo a energia radiante em energia térmica. As moléculas superficiais também emitem radiação numa frequência que depende da temperatura da superfície do material.
- b) Fluxo luminoso - é o termo usado para medir o tempo de fruição da luz, medido em lúmen.
- c) Intensidade luminosa - é a quantidade de fluxo luminoso em uma dada direção medida em lúmens por ângulo sólido.
- d) Iluminância - é a densidade do fluxo luminoso incidente numa superfície, medida em lux (lumens por metro quadrado).
- e) Refletância – é a razão entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície e o fluxo incidente sobre a mesma.
- f) Absortância – é a razão entre o fluxo da radiação absorvido por uma superfície e o fluxo incidente sobre a mesma.
- g) Transmitância – é a razão entre o fluxo luminoso transmitido através da superfície e o fluxo luminoso incidente. Acontece quando a superfície é transparente ou translúcida.
- h) Luminância - é o produto da iluminância pela refletância, a medida fotométrica do brilho de uma superfície opaca iluminada.

2.6 Radiação solar

A radiação solar é responsável por vários fenômenos climáticos que influenciam diretamente a fisiologia humana. Devido a isso, ela se tornou uma variável de grande impacto para a arquitetura. Sua força efetiva advém da energia radiante do Sol que atinge a superfície da Terra por meio de duas componentes: a radiação direta e a radiação difusa. Isso acontece porque ao entrar no sistema climático da Terra o fluxo energético proveniente do Sol atravessa a atmosfera, onde é difundido, refratado, difratado ou absorvido. Dessa forma, temos por radiação direta aquela que passou pela atmosfera sem com ela interagir, chegando à Terra de forma direta, e por difusa aquela que interagiu com os componentes atmosféricos e foi redirecionada em várias direções até chegar à superfície terrestre.

Do total da radiação solar que chega à atmosfera da Terra, cerca de 20% é refletido pelas nuvens e 5% por sua própria superfície. Do restante não refletido, 25% é absorvido pela atmosfera e 50% pela superfície da Terra, sendo 27% de forma direta e 23% de forma difusa (SANTOS, 2007). A proporção da radiação difusa em relação à global é máxima nos instantes próximos ao nascer e ao pôr do sol e nos dias completamente nublados, quando praticamente toda a radiação global é difusa. Ela depende de fatores como latitude, altitude, declinação solar e quantidade de nuvens presentes no céu em determinado momento. Em João Pessoa, cuja latitude é 7° 08' Sul, observa-se um alto índice de radiação solar difusa durante todo o ano. Isso acontece porque em baixas latitudes a direção das radiações é praticamente perpendicular ao plano do observador.

2.7 Estudo da iluminação natural

A utilização da iluminação natural na arquitetura visa não apenas satisfazer necessidades humanas e funcionais da edificação, mas também as atuais necessidades imperativas de eficiência energética e sustentabilidade.

Entretanto, avaliar o desempenho energético das edificações é uma tarefa complexa que envolve inúmeras variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares (MENDES *et al*, 2005). O projetista necessita de meios que o

ajudem a avaliar qualitativamente e quantitativamente as soluções empregadas em seu projeto para assim poder aproveitar o potencial de luz natural disponível.

Nesse sentido, diversas são as ferramentas capazes de auxiliá-lo nesse processo, permitindo-lhe testar as suas decisões projetuais, avaliar resultados e, assim, decidir pelas melhores soluções a serem utilizadas. Essas ferramentas representam uma ligação capaz de minimizar a distância existente, muitas vezes, entre a prática projetual e a realidade construída.

Inicialmente, as ferramentas auxiliares no estudo da iluminação natural na edificação podem ser divididas em ferramentas de projeto e ferramentas de avaliação pós-ocupação. As ferramentas de projeto dizem respeito às etapas mais preliminares do processo, nas quais o projeto está sendo desenvolvido. Determinam basicamente o contexto no qual o projeto será desenvolvido, permitindo ao projetista determinar quais recursos de sol, vento e luz estão disponíveis no sítio, sua interação ao longo do dia e como esses recursos serão aproveitados. Em suma, determinam a forma arquitetônica e sua relação com o espaço e o consumo de energia. Nesta etapa as correções e os ajustes são mais facilmente executados visto que a edificação ainda não se encontra construída (BROWN; DEKAY, 2004).

As ferramentas de avaliação pós-ocupação (monitoramento), apesar de muitas vezes possuírem conteúdo bastante similar às ferramentas de projeto, possuem uso fundamentalmente diferente e seu impacto nas propostas preliminares é muito inferior, pois não podem trazer informações adicionais às idéias iniciais. São utilizadas depois de construída a edificação, como uma forma de avaliação das decisões tomadas no momento do projeto. Objetivam coletar, analisar e interpretar sistematicamente informações à respeito da implementação e da eficiência das intervenções humanas (ORNSTEIN, 1992). As ferramentas auxiliares no estudo da iluminação natural podem ainda ser classificadas em ferramentas de avaliação qualitativa e ferramentas de avaliação quantitativa.

As ferramentas de projeto são significativamente importantes, pois fornecem subsídios ao projetista nas etapas de concepção mais preliminares do projeto, permitindo ajustes, modificação nos desenhos, novos ajustes e assim por diante, até a obtenção de um resultado satisfatório.

Basicamente, as ferramentas de projeto:

☞ permitem compreender e avaliar o contexto em que a edificação será inserida e os recursos disponíveis do sítio;

☞ possibilitam estimar a qualidade e a quantidade de luz natural disponível, bem como calcular os níveis de iluminância externa e sua compatibilidade com as tarefas desenvolvidas no interior da edificação;

☞ auxiliam o projetista a definir a implantação para a edificação dentro do sítio, de modo a aproveitar da melhor forma possível os recursos de luz natural;

☞ ajudam a prever os efeitos de obstrução e ofuscamento da luz natural, etc., causados pelas edificações contíguas, pela topografia e pela vegetação do entorno.

As ferramentas de avaliação qualitativa e quantitativa representam um meio de controle da iluminação natural, pelo direcionamento cada vez maior de pesquisas voltadas à fase de uso, operação e manutenção do ambiente construído, cultura ainda pouco explorada no Brasil, além de evitar a repetição de falhas em projetos futuros de edifícios semelhantes em função do desconhecimento de fatos ocorridos nos ambientes já em uso (ORNSTEIN, 1992).

Apesar dos ajustes serem mais difíceis na etapa em que a edificação já se encontra construída, isso não diminui sua importância, pois possibilita futuras melhorias e a busca pela satisfação dos usuários.

2.7.1 Ferramentas auxiliares no estudo da iluminação natural

As ferramentas que auxiliam o projetista no estudo da iluminação natural podem ser divididas em:

a) Tabelas e métodos gráficos - são de fácil aplicação e permitem análises rápidas dos efeitos de vários parâmetros de projeto, embora tenham que ser feitas uma por vez (PEREIRA, 1995). Dentre eles podemos citar: o **quadrante solar** que simula a variação do sol e de sua sombra ao longo do dia e do ano e permite avaliar os efeitos das condições existentes no sítio, os impactos das soluções volumétricas, o nível de penetração do sol nas edificações e a eficiência dos elementos de sombreamento (BROWN; DEKAY, 2004); a **carta solar**, instrumento de verificação do comportamento da luz direta do sol na edificação, elaborada a partir da projeção

do percurso do sol ao longo do ano sobre um plano horizontal (BITTENCOURT, 2004) e; a **radiação solar**, usada para determinar os horários em que se pode obter conforto nas áreas externas da edificação e estimar o potencial de ganho solar ao longo do dia (BROWN; DEKAY, 2004).

b) Modelos em escala reduzida - são uma ferramenta de projeto bastante antiga e eficiente na determinação dos níveis de iluminação internos, principalmente quando há a necessidade de investigação de sistemas complexos de aberturas. No entanto, podem demandar muito tempo para a sua execução, além de serem limitados com relação a execução de estudos paramétricos. Segundo Pereira (1995), a utilização de maquetes como uma ferramenta de projeto para o estudo da iluminação natural possui uma série de vantagens como: a obtenção de dados quantitativos precisos, sem a necessidade de compensação em função da escala reduzida; análise de geometrias complexas; avaliações qualitativas da luz através da simples observação direta ou por meio de fotografias; a comparação pela possibilidade de troca de componentes, familiar à maioria dos arquitetos.

Além disso, a maquete pode ainda ser considerada uma ferramenta de análise de desempenho, pois permite fazer previsões sobre o comportamento da luz no ambiente e sobre a necessidade ou não de iluminação artificial. A sua representação extremamente realista ajuda na definição do conforto visual e na análise das características espaciais do ambiente interno, possuindo uma relação bastante fidedigna de causa e efeito que permite mensurar o impacto produzido por cada decisão de projeto (PEREIRA; GONZÁLEZ; ATANASIO, 2007).

Entretanto, nas últimas décadas essa ferramenta tem sido alvo de críticas que apontam erros encontrados como sendo deficiências intrínsecas ao método. Em função disso, Pereira et al (2011) testaram as duas fontes de erro mais apontadas: a medição sob condição de céu real e o efeito de escala. Após vários testes comparando iluminâncias medidas simultaneamente em ambiente real e em modelo físico em escala e posteriormente, comparando iluminâncias medidas em modelos físicos construídos em três escalas diferentes, expostos ao céu real, os autores concluíram que o método é confiável, desde que os modelos sejam construídos de forma criteriosa principalmente no que diz respeito às propriedades óticas das superfícies, das condições do entorno, da precisão dimensional e dos procedimentos fotométricos.

c) Simulações computacionais – Apesar de possuírem a desvantagem de requererem softwares e hardwares avançados e geralmente caros, o advento do computador foi fundamental para o desenvolvimento de modelos representativos do comportamento da luz natural. São ferramentas rápidas, eficientes e de grande flexibilidade que permitem inúmeras avaliações paramétricas ao mesmo tempo. É um dos métodos de maior potencial para análise do fenômeno da iluminação natural (PEREIRA, 1995).

Ainda não existe uma avaliação precisa do percentual de profissionais que utilizam softwares simuladores da luz natural na prática projetual, entretanto, após pesquisa realizada em 2003/2004, pelo Institute for Research in Construction (REINHART e FITZ, 2006), foi possível obter algum conhecimento a esse respeito. A pesquisa foi administrada de 2 de dezembro de 2003 a 19 de janeiro de 2004 com a participação de 185 indivíduos de 27 países diferentes dos quais se identificou que 20% trabalhavam no Canadá, 20% nos Estados Unidos e 12% na Alemanha. Dentre os que responderam a pesquisa 38% eram engenheiros, 31% eram arquitetos e designers de iluminação e 23 % pesquisadores. Dentre os participantes da pesquisa, 91% dos entrevistados incluem aspectos de iluminação natural no desenho de seus edifícios e, dentre estes, 79% usam simulação por computador. Os que se disseram usuários de simulação por computador afirmaram que o uso da ferramenta é maior na fase de desenvolvimento do desenho do que na fase esquemática e que usam o programa de iluminação natural para estudos paramétricos, cujos resultados apresentam aos clientes como subsídio para tomada das decisões de projeto.

Apesar do alto índice de usuários de programas de simulação computacional verificado entre os participantes da pesquisa se dever ao fato da pesquisa ter sido realizada com voluntários recrutados em listas de e-mail, não se pode negar a forte tendência de crescimento na utilização desse tipo de software como um método de apoio às decisões projetuais.

Aliás, a pesquisa revela que em comparação com outra pesquisa administrada por Aizlewood e Littlefair (1994), referente ao uso dos métodos de predição da luz natural, em detrimento ao aumento do uso de softwares de simulação computacional, há uma diminuição na utilização de modelos em escalas como método de avaliação das decisões projetuais.

Com relação ao número de profissionais que utilizam softwares de simulação computacional no Brasil, a dificuldade em quantificar esses percentuais é ainda maior. Em estudo realizado em 2001 (LAMBERTS *et al*), verificou-se uma baixa aceitação do uso dessa ferramenta à inexistência de legislação específica sobre o assunto e da baixa confiabilidade desses softwares.

Entretanto, essa realidade tem mudado; entidades como a CIE⁴ (Comissão Internacional de Iluminação), com representação no Brasil, dedicam-se à cooperação internacional e ao intercâmbio de informações sobre assuntos relacionados à ciência e à arte da luz e da iluminação dentre outras coisas.

Essa organização produz grande quantidade de relatórios técnicos que possibilitam a validação de programas de simulação da iluminação aumentando significativamente a confiabilidade e o uso destes. Desta maneira, o número de profissionais que os utilizam tem aumentado gradativamente, seja devido às medidas governamentais de incentivo, seja devido aos avanços técnicos no campo das pesquisas, ou ainda em razão do desenvolvimento de novos softwares. Esse conjunto de elementos tem permitido que arquitetos e demais profissionais da área da construção civil disponham de um aporte técnico capaz de balizar cada vez mais suas decisões projetuais na direção de uma arquitetura mais autossustentável.

Segundo Reinhart (2010), para a análise mais rigorosa da iluminação natural de um projeto em particular, os seguintes passos são necessários:

- (a) estimar a quantidade física de luz disponível no edifício (por meio de simulações ou métodos de planilhas);
- (b) converter os resultados em medidas de desempenho da luz do dia;
- (c) tomar decisões de projeto com base na interpretação das medidas de desempenho.

2.7.2 Softwares de estudo da iluminação natural

Através de bases de cálculos cada vez mais precisas e eficientes como o radiosity e o ray-tracing, os softwares utilizados para criar simulações computacionais produzem resultados de iluminância e de luminância cada vez mais

⁴ O CIE é uma entidade de origem austríaca que pode ser acessada na internet através do site www.cie.co.at.

próximos da realidade do ambiente construído. Além disso, sua apresentação foto-realista permite ao arquiteto prever como ficará o projeto antes de sua execução. A importância da criação de imagens realistas a partir de cenas originadas eletronicamente tem aumentado significativamente durante os últimos anos. Por essa razão, vários métodos têm sido introduzidos com o intuito de simular efeitos variados que incrementam o realismo das imagens geradas por computador como a reflexão e a refração do espectro, os efeitos espectrais e vários outros. Esses efeitos são em sua maioria destinados a fazer a interação da luz com as mais variadas superfícies de objetos, demandando, muitas vezes, tempo considerável para realização da simulação (TOBLER, 1997).

Com o avanço dos hardwares e softwares o tempo de renderização dessas imagens tem sido reduzido gradativamente, permitindo melhor desempenho na execução de tarefas. Além disso, a popularização cada vez maior dos computadores pessoais tem possibilitado a redescoberta de estratégias como a aplicação integrada da iluminação natural e artificial, bem como a aplicação da iluminação por tarefa, que requerem informações fotométricas digitalizadas e softwares adequados aos seus respectivos processamentos (TEIXEIRA, 2004)

A visualização antecipada da ideia concebida é sem dúvida uma das grandes vantagens da utilização dessa ferramenta. Na geração de imagens foto-realistas, a iluminação tanto pode simular uma realidade quanto os efeitos físicos da luz num ambiente ainda não construído.

O Radiosity e o Ray-Tracing são os métodos mais populares para o cálculo de imagens realistas. Na simulação, a diferença entre eles é o ponto de partida: enquanto o Ray-tracing segue todos os raios do olho do observador até a fonte de luz, simulando reflexões especulares e transparências, o Radiosity simula a propagação difusa da luz partindo da fonte de luz. (TOBLER, 1997).

2.7.3 Softwares mais utilizados na simulação computacional

Existe atualmente no mercado uma infinidade de ferramentas computacionais voltadas para o cálculo da iluminação natural. Elas simulam a luz no ambiente variando de ferramentas mais simples a outras mais sofisticadas, como aquelas que se utilizam da iluminação global, ou seja, consideram não apenas a luz proveniente

da fonte luminosa, mas também as provenientes da reflexão das superfícies, conferindo maior realismo ao modelo simulado.

Na lista do Buildings Energy Tools Directory⁵ aparecem em torno de 404 softwares destinados à avaliação da eficiência energética, à energia renovável e à sustentabilidade do ambiente construído. Dentre estes, em torno de 40 dedicam-se mais especificamente à análise e ao cálculo da iluminação natural dentro do ambiente.

Dentre os programas computacionais disponíveis, capazes de avaliar a disponibilidade de luz natural na edificação, alguns têm exercido papel de destaque nas pesquisas recentes. Mardaljevic (1999) apresenta a aplicação de técnicas de simulação da luz natural em espaços arquitetônicos utilizando como ferramenta o Radiance. Christakou (2004) avalia o Radiance, o Lightscape, o Rayfront e o Relux Vision, em diversas condições de luz natural, nos quesitos interface com o usuário, parâmetros da luz natural e descrição ótica dos materiais, entre outros, objetivando melhorar a compreensão dessas ferramentas pelos arquitetos. Cábus (2005) apresenta o processo de validação do programa Troplux.

Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006) sugerem a utilização de programas de simulação baseados no Radiance, como o Adeline, o Daysim, o ESP-r, o Lightswitch Wizard e o Spot, posto que, combinados a coeficientes de luz natural e ao modelo de céu de Perez, são capazes de efetivamente calcular séries de dados de luminâncias e iluminâncias para determinados ambientes. Reinhart e Andersen (2006) descrevem a validação de um modelo Radiance para um painel translúcido, com resultados que demonstram que materiais translúcidos podem ser modelados no Radiance com uma precisão ainda maior do que a demonstrada por estudos de validações anteriores para plástico e metal. Reinhart (2009) compara os resultados de simulação da luz natural gerados pelo 3DS Max Design e pelo Daysim v. 3.0.

Lagios, Niemasz e Reinhart (2010) descrevem o resultado da ligação entre o Rhinoceros, um software de CAD tridimensional, e o Daysim, apresentando uma série de indicadores de desempenho que incluem mapas de radiação solar mensal e sazonal, bem como o daylight factor e o daylight autonomy.

⁵ Página da internet mantida pelo U.S. Department of Energy (Departamento de Energia do EUA), que reúne as principais ferramentas disponíveis para simulação do ambiente construído. Disponível em: www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory.

Claro *et al* (2010) compara os níveis de iluminação obtidos através das simulações computacionais com o software Apolux, segundo os 15 modelos de céu adotados pela CIE, enquanto Pereira *et al* (2011) desenvolve uma metodologia para avaliar o desempenho do mesmo software de simulação da luz natural através do mapeamento digital da distribuição de luminâncias do ambiente de exposição com a geração de dados de entrada para a simulação teórica.

Ramos e Ghisi (2011) na avaliação do desempenho termo-energético da edificação e do uso da iluminação natural comparam os resultados obtidos entre o EnergyPlus, o Daysim, o Troplux e o Radiance. Amorim *et al* (2011) utiliza o Relatório de Iluminância Natural Útil (UDI – Useful Daylight Illuminance), obtido com o software Daysim, para avaliar a iluminação natural no interior do módulo educacional do edifício Fiocruz da Universidade de Brasília (UnB).

Lima *et al* (2011) no estudo do aproveitamento da luz natural pelas aberturas zenitais em ambiente de escritório na cidade de Florianópolis-SC, utiliza como softwares para simulação computacional não apenas o Daysim como também o EnergyPlus, um software para cálculo do consumo de energia. Já Longo *et al* (2011), em pesquisa para cálculo da iluminação em ambientes da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, utiliza o SoftLux 2.2, enquanto Dutra e Andrade (2011) utilizam o Ecotec v. 5.50 para analisar a relação entre a iluminação obtida em salas de aula com proteções solares em Florianópolis e as recomendações das normas vigentes⁶.

Marchis *et al* (2011), num estudo sobre a identificação dos elementos projetuais determinantes para a qualidade da iluminação natural e eficiência energética da envoltória do edifício sede da ADUnB – Casa do Professor da Universidade de Brasília, utiliza em sua metodologia simulações computacionais com o software Daysim/Radiance para obtenção dos valores adequados das variáveis Autonomia da Luz Natural (ALN), Autonomia Continua da Luz Natural (AConLN) e Iluminação Natural Útil (INU).

Segundo pesquisa online realizada com 185 participantes de 27 países diferentes, o Radiance ou os softwares baseados no Radiance, como o Daysim, representaram a preferência de 50% de designers, engenheiros e pesquisadores da

⁶ No caso, o decreto 30.436 (Santa Catarina, 1986) e a NBR 5413:1992.

luz natural (REINHART; ANDERSEN, 2006). Atualmente a variedade de programas simuladores da luz natural é ainda maior, mas como podemos perceber nas pesquisas recentes, essa preferência ainda se mantém. Por um lado, isso pode ser atribuído à extrema flexibilidade do Radiance e, por outro, à grande quantidade de estudos de validação que investigam de perto as previsões simuladas pelo software e sua aproximação com a realidade em condições variadas.

Um programa de simulação deve ser baseado principalmente na confiabilidade da ferramenta, alcançada por meio de sua validação. A validação se dá através da submissão daquele a uma série de testes, com dados e condições variados, de modo que os resultados obtidos nas simulações possam ter credibilidade. A CIE, em resposta a essa necessidade crescente, existente no campo da simulação da iluminação, publicou em 2004 o relatório 171:2006 – *Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs*, com objetivo de ajudar usuários e programadores de softwares de iluminação natural e artificial a identificarem possíveis falhas nos programas e reduzir as incertezas na validação dos dados de referência. A abordagem de validação consiste em testar separadamente diferentes aspectos da propagação da luz segundo um conjunto de casos concebidos separadamente para destacar aspectos específicos da simulação da iluminação associados à dados de referência relacionados.

No relatório CIE foram usados 32 cenários diferentes, hipotéticos e reais, para abranger diferentes aspectos da simulação da iluminação como: iluminação artificial direta; iluminação natural e reflexões difusas; e inter-reflexões. A aplicabilidade dos testes desenvolvidos pelo CIE foi analisada pela International Energy Agency (IEA) no relatório *Application of the CIE test cases to assess the accuracy of lighting computer programs*, publicado em 2005.

Através da submissão de dois programas, o Lightscape 3.2 e o Relux Professional 2004, esse relatório demonstra a aplicabilidade dos testes da CIE em apontar os pontos fortes e fracos dos programas testados, além de permitir a clara verificação da precisão e da capacidade dos programas em simular diferentes aspectos da propagação da luz.

O software Daysim tem sido constantemente validado por inúmeras pesquisas. Uma delas foi publicada por Reinhart e Walkenhorst em 2001: *Simulations for a full-scale test office outer venetian blinds*. O Daysim é um programa

gratuito utilizado para a simulação da luz natural, produzido pelo National Research Council do Canadá. Possui como base de cálculo o algoritmo do Radiance e é capaz de realizar simulações dinâmicas da luz natural, considerando um conjunto de variáveis para o período completo de um ano, sob condições reais de disponibilidade de luz natural (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

O Daysim tem sido associado a uma série de ambientes CAD, incluindo AutoCAD da Autodesk, Rhinoceros, Autodesk-Ecotect Analysis e Google SketchUp. Ele permite a entrada de arquivos de construção de cena, de malha de pontos e de dados meteorológicos, fornecendo uma série de parâmetros para análise da luz natural.

Entretanto, é oportuno salientar que a exatidão e a confiabilidade dos resultados finais obtidos com a simulação não dependem exclusivamente da validação do software, mas também da qualidade dos dados fornecidos a este.

São encontradas muitas discrepâncias entre os resultados das simulações e os ambientes reais. Isso se dá, principalmente, devido às imprecisões na construção do cenário ou na caracterização das propriedades óticas dos materiais, além de limitações do algoritmo matemático utilizado pelo programa (MAAMARI *et al*, 2003).

Ainda segundo Maamari *et al* (2003), o fato de um software obter boa precisão num determinado aspecto da simulação da iluminação não significa que necessariamente apresentará essa mesma precisão nos demais aspectos. As ferramentas de simulação podem ser precisas em alguns pontos e imprecisas em outros, provando que não existe o software de simulação ideal. Portanto, a escolha de um programa de simulação computacional não é uma tarefa fácil para o usuário, que deve priorizar aquele que melhor se aplica à tarefa que pretende realizar.

2.7.3.1 Indicadores de desempenho

Ao realizarem as simulações computacionais da luz natural, os softwares fornecem uma série de indicadores de desempenho que permitem a análise da luz natural. Segundo Reinhart (2006) há:

Fator da Luz Natural (FLN) – É utilizado para caracterizar a situação da luz natural em um ponto. É definido como a razão entre a iluminância dentro do

ambiente e a iluminância horizontal externa sob céu nublado. Entretanto, a orientação do prédio investigado não influencia em seu resultado. Desfrutou de certa popularidade, em função de poder ser medido tanto por tabelas de cálculo quanto por refinados sistemas de simulação da luz natural.

Autonomia da Luz Natural (ALN) – É definido como o percentual de horas em um ano, nas quais o nível de iluminância mínimo, previamente determinado, pode ser mantido apenas com a iluminação natural; necessita para isso, do fornecimento de um arquivo climático. Ao contrário do FLN, considera não apenas a orientação da fachada como as possíveis condições de céu durante 1 ano. Em função disso, tem se tornado bastante popular ultimamente.

Iluminação Natural Útil (INU) – Proposto por Mardaljevic e Nabil em 2005, é um indicador dinâmico da medida de desempenho da luz natural baseado na iluminância no plano de trabalho, que visa determinar quando os níveis de luz natural são úteis para os usuários, ou seja, nem muito escuro, $INU < 100\text{lux}$, nem muito claro, $INU > 2.000\text{lux}$. Os valores $100 < INU < 2.000\text{lux}$, ideais, foram estabelecidos segundo pesquisa realizada com ocupantes de escritórios. Em função disso, os valores fornecidos pelo Daysim, referentes a percentuais anuais, são classificados dentro dessas três faixas:

Abaixo do desejado: percentual de tempo durante o ano em que a INU ficou abaixo do limite mínimo, ou seja, $INU < 100\text{lux}$.

Ideal: percentual de tempo durante o ano em que a INU ficou dentro do intervalo ideal, $100\text{lux} < INU < 2.000\text{lux}$

Acima do desejado: percentual de tempo durante o ano em que a INU ficou acima do limite máximo, $INU > 2.000\text{lux}$.

Autonomia Continua da Luz Natural (AconLN) – Proposto por Rogers (2005), ao contrário do ALN, créditos parciais são atribuído a parcelas de tempo nas quais a iluminância se situa abaixo do nível da iluminação mínima. Por exemplo, no caso em que são necessários 500lux e são fornecidos apenas 400lux pela luz do dia, numa determinada parcela de tempo, então um crédito parcial de 0,8, referente à $400\text{lux}/500\text{lux}$, é atribuído a esse intervalo.

No caso do Daysim, que utiliza o mesmo algoritmo do Radiance, os principais indicadores de desempenho utilizados em pesquisas mais recentes tem sido o ALN e o INU.

2.8 Iluminação e eficiência energética

O aumento do consumo de energia evidencia aquecimento econômico e melhoria na qualidade de vida da população de um país. No entanto, esse aumento do consumo também possui aspectos negativos dentre os quais podemos destacar a possibilidade de esgotamento dos recursos naturais utilizados para a produção de energia e o impacto ao meio ambiente produzido por essa atividade. Para conter a expansão do consumo de energia elétrica sem o comprometimento da qualidade de vida e do desenvolvimento econômico, tem-se incentivado o consumo eficiente.

No Brasil, por meio do Ministério de Minas e Energia (MME), esse incentivo tem sido aplicado de maneira sistemática desde 1985 com a criação do Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e a aplicação da legislação específica que determina que as distribuidoras de eletricidade destinem 0,25% de sua receita operacional líquida a programas e ações direcionados à eficiência energética (ANEEL, 2008).

A educação e a conscientização são algumas das práticas utilizadas para estimular a população ao uso eficiente da eletricidade. Apesar de o Brasil ter sido um dos retardatários na adoção de medidas nesse sentido, em 1993, em colaboração com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), o Governo Federal emitiu um decreto⁷ instituindo o Selo Verde de eficiência energética, também chamado selo Procel, concedido com periodicidade anual para reconhecer a excelência energética do equipamento em relação aos demais disponíveis no mercado.

Em 2009, esse processo foi ampliado através da criação da ENCE, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, endereçada à etiquetagem não mais de

⁷ Decreto não numerado, de 08 de dezembro de 1993. Publicado no DOU de 09 de dezembro de 1993.

equipamentos e sim de edificações energeticamente eficientes⁸. Ela ocorre de forma distinta para edifícios comerciais, de serviços e públicos e residenciais. Pode ser concedida em dois momentos: na fase de projeto e após a construção do edifício. Na fase de projeto, o edifício pode ser avaliado por meio de métodos prescritivos e simulações computacionais, e depois de construído, apenas por inspeção *in loco*.

No Brasil, se juntarmos o consumo de energia elétrica nos setores comercial (14,97%), público (8,12%) e residencial (23,80%), teremos atualmente 46,89%, o equivalente à quase metade do total consumido em todo o país (ver quadro 2.1) (EPE, 2011).

Quadro 2.1 – Consumo de energia elétrica por setor – 2001/2010					
	Em 2001		Em 2010		Aumento em
Setores	Em %	Em tep 10^{3*}	Em %	Em tep 10³	Em %
Energético	3,60	959	4,72	1.850	93
Comercial	14,42	3.840	14,97	5.865	53
Público	8,76	2.333	8,12	3.183	36
Residencial	23,82	6.342	23,80	9.327	47
Agropecuário	4,00	1.066	3,86	1.511	42
Transportes	0,39	103	0,36	143	39
Industrial	45,01	11.984	44,17	17.307	44
TOTAL	100	26.627	100	39.186	47
* tep – tonelada equivalente de petróleo (unidade de energia definida como o calor liberado na					
Fonte: elaborado pela autora com dados obtidos do BEN 2011 ⁹ .					

Nos últimos 10 anos o consumo de energia elétrica no setor residencial aumentou 47%, ou seja, seu consumo passou de 6.342 tep10³ em 2001 para 9.327 tep10³ em 2010. No entanto, o percentual consumido pelo setor residencial permaneceu praticamente o mesmo, em torno de 23,80% do total de energia elétrica consumido no país. Nos setores comercial e público esse aumento foi de 53% e 36%, respectivamente. Com relação à área residencial, um dado interessante é que, enquanto o crescimento do setor foi em torno de 9,78% nesses 10 anos, o que se deve em parte ao crescimento normal da população e em parte ao Programa de incentivo do Governo Federal Luz Para Todos¹⁰, o crescimento do consumo foi de

⁸ Informações obtidas no site da PROCEL, programa do Governo Federal criado em 1985 que desenvolve projetos de conservação de energia focados na mudança de hábitos, na eficiência energética e em instrumentos de combate ao desperdício de energia.

⁹ O Balanço Energético Nacional 2011 tem por ano base 2010 e está disponível no site do MME.

¹⁰ Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (Luz para Todos), instituído pelo Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, que permanece em funcionamento até os dias atuais, com a meta de fazer 400 mil novas instalações até o ano de 2014.

47%, ou seja, quase 5 vezes maior do que o crescimento da população residente a que se refere (ver quadro 2.2).

Além disso, o consumo de energia elétrica no mundo, excetuando-se os valores referentes aos setores industrial e de transportes, aumentou de 44,2% em 1973 para 56,2% em 2008¹¹, o que representa um aumento de 27% em 35 anos.

Quadro 2.2 – População residente: consumo de energia elétrica - 2001/2010			
Em 2001		Em 2010	
População residente	Consumo de eletricidade	População residente	Consumo de eletricidade
173,8 (10 ⁶ hab)	73.770 (GWh)	190,8 (10 ⁶ hab)	108.457 (GWh)
Fonte: elaborado pela autora com dados obtidos do BEN 2011.			

Isso reflete a popularização de equipamentos elétricos e eletrônicos, que em função de seu barateamento pela produção industrial em larga escala, vêm se tornando cada vez mais acessíveis às camadas menos abastadas da população. O mundo está se tornando cada vez mais automatizado em detrimento da necessidade imperativa de redução do consumo de energia para livrar do esgotamento os recursos naturais utilizados em sua obtenção. A redução do consumo, o consumo eficiente e a utilização de fontes naturais de energia têm sido, portanto, as práticas mais utilizadas para o combate a esse tipo de problema.

2.9 Elementos de iluminação natural

Os elementos de iluminação natural podem ser agrupados em: elementos de condução e de passagem da luz. Os elementos de condução são aqueles que permitem a sua propagação, a exemplo disso temos o próprio espaço. Os elementos de passagem são aberturas que permitem a passagem da luz de um ambiente para outro. Quando essas aberturas recebem dispositivos de regulação da luz natural, podemos ter ainda elementos de controle (BACKER *et al*, 1993).

Os elementos de passagem podem, por sua vez, ser divididos em: elementos de passagem lateral, dentre os quais podemos citar as janelas, localizadas nas superfícies verticais da edificação; e elementos de passagem zenital, aberturas localizadas geralmente na cobertura da edificação.

¹¹ Dados obtidos no BEN, 2011.

O aproveitamento de luz natural por aberturas zenitais é uma estratégia bastante utilizada na redução do consumo de energia artificial, podendo representar economias de até 63,3%. Além disso, é uma prática bastante vantajosa e eficiente para se garantir o conforto visual dos usuários, pois a luz que chega normal ao plano de trabalho ilumina mais do que a que chega oblíqua, além de criar menos sombras (LIMA *et al*, 2011).

Os elementos de controle, segundo Baker (1993), podem ser divididos em:

- a) superfícies de separação – são elementos transparentes ou translúcidos que admitem luz, mas não admitem passagem de ar;
- b) telas flexíveis – são elementos móveis que proporcionam obstrução total ou parcial da luz direta do sol;
- c) telas rígidas – são elementos opacos, geralmente fixos, que podem obstruir ou redirecionar a luz solar direta que incide sobre a abertura;
- d) filtros solares – cobrem totalmente a abertura e podem ser fixos ou móveis;
- e) proteções solares – são opacos e ajustáveis que cobrem toda a área de cobertura.

2.10 Iluminação natural em escolas

O estudo da iluminação natural sempre foi uma preocupação em projetos de edificações escolares. Numerosos trabalhos têm demonstrado que as características físicas da edificação escolar influenciam fortemente nos resultados educacionais. Um estudo realizado com 21.000 estudantes de três distritos dos EUA, mostrou que os estudantes com mais iluminação natural na sala de aula se saíram 20% melhor em testes de matemática e 26% melhor em testes de leitura. Na mesma direção, alunos de classes com maior área de janelas progrediram 15% mais rápido em matemática e 23% em leitura do que os que estudavam em classes com menos área de janela. Alunos que tinham uma clarabóia bem projetada em suas salas, que permitia a difusão da luz natural por todo o ambiente, e que também podia ser controlada pelos professores, progrediram 20% mais rápido do que os demais. E isso ocorreu independentemente da sala possuir condicionamento de ar. A

iluminação natural, juntamente com outras características da construção verde, como a ventilação natural e o acesso visual do ambiente ao ar livre, também foram responsáveis pela redução dos dias de doença (LOISOS, 1999).

Em um trabalho de campo realizado por Figueiro *et al* (2011), com estudantes da oitava série, eles pesquisaram o impacto da luz da manhã na temporização circadiana, na duração do sono e no desempenho dos alunos. Os autores usaram óculos laranja em um grupo de alunos, para minimizar a exposição à radiação solar de onda curta, por esta ser necessária à estimulação do sistema circadiano. O grupo analisado utilizou os óculos laranja por uma semana durante e após as aulas. Uma das conclusões foi que os alunos que utilizaram os óculos tiveram seu sistema de temporização circadiano significativamente atrasado em relação à outro grupo de controle que não usou os óculos laranja. Com relação à duração do sono, também houve uma pequena redução em relação ao grupo sem óculos. Já com relação ao desempenho, não foram apresentadas diferenças significativas.

Na maioria das escolas, a iluminação artificial é a maior consumidora de energia elétrica. Dados estatísticos de pesquisas realizadas na Califórnia mostram que cerca de 40% do consumo energético nas mesmas pode ser atribuído simplesmente à iluminação elétrica (U.S. DOE, 2007).

Em função disso, várias escolas têm sido construídas com a intenção de aproveitar da melhor forma possível a iluminação natural, algumas das quais com o selo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design®), um sistema de certificação feito através da avaliação de critérios pré-estabelecidos¹², criado nos EUA pela ONG USGBC.

Nas fotografias 2.3, 2.4 e 2.5, temos três exemplos de escolas cujo projeto foi direcionado para um maior aproveitamento do potencial de iluminação natural. Dentre elas podemos destacar a Twenhofel Middle School nos EUA (figura 2.4), que possui a certificação do LEED.

¹²Critérios de avaliação da certificação LEED: “Sustainable Sites”, “Water Efficiency”, “Energy & Atmosphere”, “Materials & Resources” e “Indoor Environmental Quality”. Além desses, são considerados ainda a “Innovation In Design” e a “Regional Priority”.

Fotografia 2.3 - Hector Godinez School, CA/EUA



Fonte: <http://blog.lpainc.com/lpa-blog/bid/18822/Green-Schools-Healthy-Schools>.

Fotografia 2.4 - Twenhofel M. School¹³, Kentucky/ EUA



Fonte: http://www.cmtaegrs.com/?page_id=198.

Fotografia 2.5 - Clackamas High School, Oregon/EUA



Fonte: <http://www.djc.com/news/co/11136438.html>.

Esse tipo de atitude representa uma grande economia aos cofres públicos, visto que ao priorizar o aproveitamento da iluminação natural, a utilização da iluminação artificial fica condicionada aos momentos de indisponibilidade da luz natural, funcionando apenas como uma complementação. Em edificações públicas isso é muito importante, pois geralmente não há uma preocupação do usuário em poupar energia elétrica, devendo essa preocupação partir dos projetistas por meio da adoção de medidas direcionadas, desde a concepção inicial do projeto, ao aproveitamento dos recursos naturais do sítio.

Nesse sentido vários estudos têm sido produzidos no sentido de avaliar qualitativamente e quantitativamente o comportamento da luz natural nas edificações escolares, grande parte deles baseada em simulações computacionais e avaliações paramétricas.

Kremer (2002) estudou a influência dos elementos de obstrução solar na distribuição da luz natural em uma escola municipal construída em Florianópolis-SC como protótipo de outras que seguiram o mesmo projeto. Utilizando o método combinado de medição da luminância e da iluminância interna de superfícies de Pereira (1994 *apud* KREMER, 2002), ele pôde detectar pontos visualmente desconfortáveis dentro do ambiente. Os valores obtidos com as medições foram

¹³ Certificada com o LEED.

adotados nas simulações computacionais permitindo a aproximação destas com a realidade. Foram utilizadas fotocélulas ligadas a um aparelho de aquisição de dados nos momentos disponíveis de horário e acessibilidade da escola em questão, somente em dias com condição de céu claro, a fim de uniformizar os dados obtidos. Para as simulações computacionais foi utilizado o software Lightscape v. 3.2., apesar de suas limitações em relação ao tratamento das superfícies como especulares ou difusas. Os resultados encontrados demonstraram baixo aproveitamento da iluminação natural no projeto padrão estudado, evidenciado pelo descaso com a orientação das aberturas e pela inexistência de elementos de controle que expõem as salas de aula a incidência e a penetração dos raios solares diretos.

Em 2003, Wei Wu e Edward Ng fizeram uma revisão sobre o progresso da iluminação natural nas edificações escolares iniciando em 1874 quando foi publicado o livro de Robson intitulado *School architecture: being practical remarks on the planning, designing, building and furnishing of school houses*¹⁴. Esse livro estabeleceu pela primeira vez o conceito de que o projeto de salas de aula deveria levar em consideração a saúde, o conforto e o ensino eficaz das crianças. Suas recomendações foram largamente adotadas no Reino Unido. Em seguida, os autores trouxeram à luz o movimento das escolas ao ar livre, dominante nas três primeiras décadas dos anos 90, que enfatizou aspectos de saúde e bem-estar nas edificações escolares através de melhor ventilação e iluminação, finalizando o estudo com as últimas tendências na área da iluminação natural em escolas, que dizem respeito as mudanças na tecnologia do ensino e envolvem conceitos de conservação de energia, consciência ambiental, etc.

Kruger e Dorigo (2008) analisaram salas de aula construídas segundo um projeto padrão para as escolas públicas do Paraná com o propósito de investigar a qualidade lumínica existente no interior das mesmas. Através de simulações computacionais realizadas com dois softwares diferentes, o Radiance e o Ecotec, em diferentes combinações de dias, horários e orientação solar, os autores concluíram que posições diferenciadas no interior da edificação apresentam níveis

¹⁴ ROBSON, Edward Robert. *School architecture, being practical remarks on the planning, designing, building, and furnishing of school houses*. London: John Murray, 1877. 2ª ed.

variados de iluminação natural, permitindo ao projetista escolher o melhor posicionamento da edificação no sítio.

Santos, F. *et al* (2010) analisaram o desempenho lumínico de salas de aula padrão com características construtivas diferentes de uma escola da rede estadual de Cuiabá-MT. Através de medições *in loco* realizadas com luxímetro digital portátil durante as quatro estações do ano, os estudos evidenciaram a necessidade de adequação da arquitetura local às condições climáticas da cidade como forma de atenuar o desconforto lumínico, elevar a eficiência energética da edificação e criar ambientes de sala de aula mais confortáveis e saudáveis para os usuários

Santos, L. *et al* (2010) avaliaram a importância da luz natural em salas de aula da Escola Irmã Maria Horta em Vitória-ES. Simulações computacionais com o software Dialux v.4.7 resultaram em propostas de intervenções arquitetônicas pontuais direcionadas à redução dos efeitos indesejáveis da luz natural e permitiram concluir que o sistema de iluminação artificial das salas de aula da escola podia permanecer desligado entre 90% e 100% dos momentos simulados.

Silva *et al* (2011) avaliaram o desempenho lumínico de três ambientes, dentre os quais o da sala de aula, da Faculdade de Enfermagem – FAEN da Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT. Por meio do método investigativo, os autores verificaram a iluminância média dos ambientes iluminados naturalmente e artificialmente durante 15 dias consecutivos, em cada estação do ano. A medição da iluminância foi feita com um luxímetro digital posicionado em pelo menos nove pontos distribuídos dentro de cada ambiente, resultando num total de 13.860 dados. Através da análise dos resultados os autores constataram o não aproveitamento do potencial de luz natural disponível na cidade de Cuiabá. Nas salas de aula a iluminação natural é insuficiente ou mal distribuída, ficando aquém das exigências mínimas da NBR-5413 (1992), o que torna indispensável o uso da iluminação artificial.

Utilizando esse mesmo método investigativo, Amorim *et al* (2011) avaliaram as condições de iluminação natural no interior do módulo educacional do edifício Fiocruz em Brasília-DF. Através de medições *in loco*, num único dia, das 09h00min às 15h00min, com condições de céu claro e parcialmente encoberto, realizaram coleta de dados com luxímetro. As medições e o número de pontos medidos seguiram a NBR 15.215-4. Em seguida, através da utilização do método analítico, os

autores realizaram simulações dinâmicas com o programa Daysim para obtenção de um diagnóstico dos níveis de iluminância. Por último, analisaram as principais características físicas da edificação segundo a metodologia prescritiva do Regulamento Técnico da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público - RTQ-C. O estudo demonstrou que a existência de amplos panos de vidro com pouca proteção solar contribuem para o desconforto dentro do ambiente e para o uso excessivo da energia elétrica.

Senisse *et al* (2011) avaliaram o desempenho lumínico do sistema de iluminação natural e artificial de uma sala de aula da Escola Estadual Frei Pacífico, localizada no município de Viamão-RS, cujo projeto foi elaborado com a incorporação de alguns princípios de sustentabilidade. A coleta de dados foi realizada, através de medições *in loco* na sala de aula com posição solar mais desfavorável da edificação. Considerou-se uma malha de 36 pontos distribuídos no interior da sala, nos quais a iluminância foi medida com e sem iluminação artificial. Através da análise dos coeficientes de uniformidade e FLN (Fator da Luz Natural), os autores observaram que através da utilização apenas da iluminação natural, a sala é capaz de obter um desempenho lumínico bastante satisfatório, havendo pouca necessidade de complementação com iluminação artificial.

Dutra e Andrade (2011) analisaram salas de aula com proteção solar em dois edifícios educacionais de Florianópolis-SC e em seguida confrontaram os dados obtidos com as recomendações das normas vigentes para uma apreciação crítica do uso da luz natural e de proteções solares nesse tipo de ambiente. Através de simulações computacionais realizadas com o software Ecotect e de medições *in loco*, os autores averiguaram a influência dos brises nos valores de iluminância encontrados no interior das salas de aula. Em um dos casos aqueles se mostraram inadequados e desnecessários, havendo a necessidade de complementação por luz artificial, e no outro, mostraram-se insuficientes, recomendando-se a adoção de persianas para amenizar os altos níveis de iluminância encontrados dentro da sala.

2.11 Escolas padrão

A utilização de projetos padronizados sempre esteve presente na história da arquitetura escolar brasileira, desde as primeiras unidades projetadas

especificamente para esses fins desde o início da República até os dias de hoje (AZEVEDO; BASTOS; BLOWER, 2007). A adoção desse tipo de procedimento é uma tendência mundial e pode ser claramente percebida nas escolas públicas do Brasil. O mesmo projeto é repetido em terrenos diferentes, com condições de entorno e implantação geralmente diferentes, como a Escola Municipal Tia Ciata (fotografia 2.6) e a Escola Municipal Sérgio Vieira de Melo (fotografia 2.7), construídas no Rio de Janeiro-RJ. Percebe-se a padronização até mesmo na das cores, onde predominam o azul e o vermelho vibrantes, numa tentativa de criar espaços que estimulem o aprendizado e o interesse dos alunos pelo estudo. Outros exemplos de cidades que adotaram esse procedimento são: Florianópolis-SC, São Paulo-SP e Curitiba-PR.

Fotografia 2.6 - Escola Municipal Tia Ciata, Rio de Janeiro/RJ



Fonte: <http://www.espacoline.com.br/ExibeNoticia.aspx?id=2097>.

Fotografia 2.7 - Escola Municipal Sérgio Vieira de Melo, Rio de Janeiro/RJ



Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=592252>.

A cidade de João Pessoa-PB, nas últimas gestões do governo municipal, também optou pela padronização de suas escolas, como pode ser observado nas fotografias 2.8 da Escola Municipal Escritor Luiz Augusto Crispim, localizada no Bairro dos Ipês, e 2.9 da Escola Municipal Chico Xavier, no bairro do Bessa, ambas construídas segundo o mesmo projeto arquitetônico. Observa-se também, a utilização de cores padronizadas, básicas e vibrantes, assim como nas escolas do Rio de Janeiro-RJ.

Fotografia 2.8 – E. M. Esc. Luiz Augusto Crispim, Bairro dos Ipês



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 2.9 - E. M. Chico Xavier, Bessa



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Entretanto, esse panorama de utilização de padrões para a construção de escolas é controverso. A situação atual de nossas escolas públicas demonstra que as soluções arquitetônicas adotadas recaem quase sempre no lugar comum de ambientes baseados principalmente em relações aritméticas, concebidos de forma simplificada, indo de encontro à nova postura da sociedade que exige maior dinamicidade no processo educacional (AZEVEDO; BASTOS; BLOWER, 2007). Essa dinamicidade vai além do processo educacional, atingindo também à relação do ambiente escolar com o seu entorno. A adoção pura e simples de soluções de projeto, de partidos arquitetônicos e de componentes construtivos de formas padronizadas, sem uma maior reflexão sobre os efeitos que as características naturais do sítio irão causar sobre o ambiente construído, podem afetar a disponibilidade de luz natural dentro do ambiente e, conseqüentemente a funcionalidade e a proposta pedagógica pretendidas, gerando edificações sem qualidade e sem identidade.

2.12 Códigos e normas

Existe uma série de códigos e normas que regulamentam a construção de edificações no nosso país, ficando a cargo específico de cada município a elaboração do seu Código de Obras, desde que as normas por ele estatuídas estejam em harmonia com as legislações correlatas estadual e federal.

Cabe ao Código de Obras estabelecer instruções normativas relativas à construção das edificações do município, sejam elas urbanas ou rurais. Seus principais objetivos são: coordenar o crescimento urbano, regular o uso do solo, controlar a densidade do ambiente edificado, proteger o meio ambiente e garantir a qualidade ambiental das construções.

Atualmente o Código de Obras vigente no município de João Pessoa data de agosto de 2001 e traz apenas 3 artigos relativos à normatização das aberturas na edificação: o art. 188º e 189º, de caráter geral, destinados às edificações em geral, e o art. 352º, incisos III e IV, mais específico, destinado à regulamentação das aberturas em edificações escolares, como pode ser visto adiante:

Art. 188º - Sempre que qualquer compartimento dispuser de uma abertura de iluminação, sua profundidade, medida a partir dessa abertura, não poderá exceder de três vezes seu pé direito.

Art. 189º - A superfície das aberturas para o exterior deverá obedecer as seguintes áreas relativas mínimas:

a) - 1/6 de superfície do piso para compartimento de permanência prolongada;

b) - 1/10 da superfície do piso para os compartimentos de utilização eventual.

§ único - As áreas relativas de que trata este artigo serão alteradas, respectivamente, para 1/4 E 1/8 da área de piso, sempre que as aberturas derem para varanda, alpendres, áreas de serviços etc.

Art. 352º - As edificações destinadas às escolas deverão ter as salas de aula subordinadas às seguintes condições:

III - dispor de janelas em apenas uma de suas paredes, asseguradas iluminação lateral esquerda e a tiragem de ar por meio de pequenas aberturas na parte superior da parede oposta;

IV - ter suas janelas dispostas no sentido do eixo maior da sala quando esta tiver forma retangular.

A análise desses artigos permite perceber que eles apenas estabelecem, de forma generalizada, o dimensionamento mínimo das aberturas dos cômodos da edificação, o que não garante uma iluminação natural de qualidade dentro do ambiente construído ou, mais especificamente, dentro da sala de aula.

Entretanto, o Código de Obras do município não é a única legislação destinada a garantir iluminação de qualidade no ambiente construído. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, órgão responsável pela normalização técnica no país, por meio da ABNT NBR 5413:1992, estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores,

onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras. De acordo com essa norma, os valores mínimo, médio e máximo estabelecidos para salas de aula são, respectivamente: 200, 300 e 500lux. Dos três valores, o médio pode ser utilizado para todos os casos e o mínimo e o máximo são utilizados em função da idade dos usuários do ambiente, da necessidade de precisão e velocidade na realização da tarefa, do nível de refletância e contraste apresentado pela tarefa, etc.

Mais recentemente, o Ministério da Educação elaborou uma cartilha técnica chamada *Instruções e procedimentos para elaboração de projetos de implantação para construção de escolas que utilizam os projetos-padrão do FNDE*, como o próprio nome revela, destinada à orientar a elaboração de projetos de escolas públicas. No entanto, essa cartilha não traz nenhum tipo de recomendação relativa à abertura de janelas, à iluminação natural ou à eficiência energética dentro das salas de aula.

A crise energética que assolou o Brasil em 2001, impondo racionamento de energia para toda a população, teve seu lado positivo por alertar as autoridades quanto à necessidade de legislações específicas para o controle do consumo de energia até então inexistentes. Em resposta a essa demanda, a ABNT lançou em 2005 um conjunto de normas relacionadas ao Conforto Ambiental dentro da edificação: a NBR 15220:2005, direcionada ao desempenho térmico, e a NBR 15215:2005, direcionada às questões de iluminação natural.

3 METODOLOGIA

Este capítulo da pesquisa consiste na descrição dos passos utilizados para a identificação do potencial de aproveitamento da iluminação natural em salas de aula das escolas municipais de João Pessoa-PB, construídas segundo projeto padrão. O método envolve simulações computacionais, com arquivos climáticos reais, a partir de modelos digitais tridimensionais construídos segundo edificações reais. Os principais parâmetros de análise foram Autonomia da Luz Natural (ALN) e Iluminância Natural Útil (INU). Essa etapa está dividida em 4 partes.

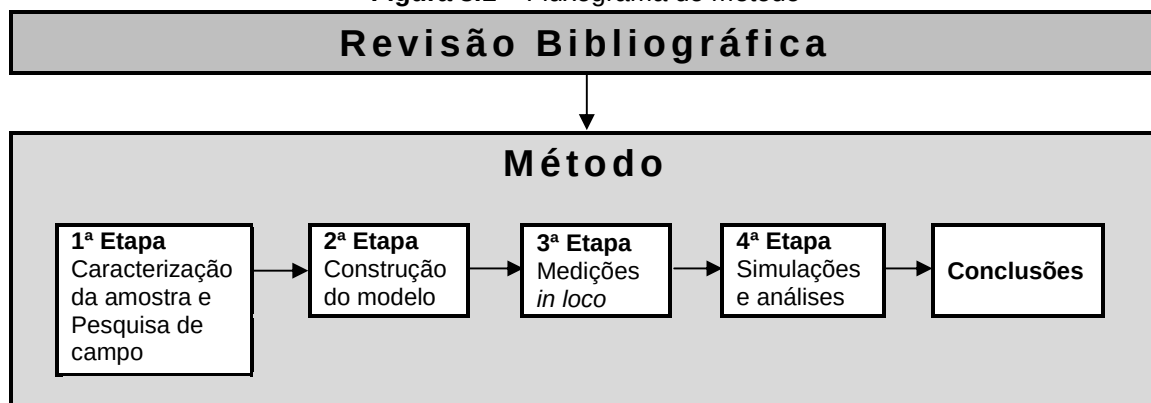
A **primeira etapa** consiste na **caracterização da amostra**, por meio da identificação e localização das escolas, aquisição das plantas arquitetônicas e análise das mesmas, bem como a **pesquisa de campo**, onde foram realizados levantamentos arquitetônico e fotográfico da amostra e dos entornos. Essa etapa refere-se ao Capítulo 4 intitulado “**Universo de Análise**”.

A **segunda etapa** aborda a **construção do modelo digital tridimensional** de cada uma das escolas da amostra, juntamente com seus respectivos entornos, empregando-se dois programas: o AutoCAD v.12 para a construção de esboço bidimensional e o Google SketchUp Pro v.8 para a construção tridimensional, ambos compatíveis com o Daysim, programa empregado na simulação. Essa etapa refere-se ao Capítulo 5 intitulado “**Construção do modelo**”.

A **terceira etapa** consiste em **medições *in loco*** da iluminação natural em duas salas de aula selecionadas a partir da amostra. Teve o intuito de servir de comparação para o modelo tridimensional usado nas simulações e de verificar a influência do entorno na disponibilidade de luz natural dentro da edificação. Essa etapa refere-se ao Capítulo 6 intitulado “**Medição da luz natural em escolas**”.

A **quarta etapa** envolve as **simulações computacionais** e a respectiva análise das mesmas. O programa empregado foi o Daysim v.3.0b, largamente utilizado em pesquisas semelhantes. Baseado no Radiance, é um programa validado que gera relatórios de simulação com vários parâmetros, dos quais foram utilizados nessa pesquisa o ALN e o INU para avaliação do potencial de aproveitamento da iluminação natural nas escolas da amostra. Essa etapa refere-se ao Capítulo 7 intitulado “**Simulações computacionais**”.

Figura 3.1 – Fluxograma do método



Fonte: elaborado pela autora.

3.1 Caracterização da amostra e pesquisa de campo

A caracterização da amostra, feita através de visitas às escolas e da identificação e localização das mesmas, além da aquisição das respectivas plantas arquitetônicas, teve o objetivo de proporcionar conhecimento e contato inicial com o objeto de estudo e definir claramente seus limites temporais e geográficos.

A identificação das 10 escolas padrão, construídas até o final de 2011 pela Prefeitura Municipal de João Pessoa/PB (PMJP-PB), teve início com a elaboração de uma listagem com nome, endereço e telefone das mesmas, utilizando os dados obtidos através de contato com a Diretoria de Gestão Curricular (DGC), órgão da Secretaria de Educação e Cultura (SEDEC) da PMJP-PB.

Através das ferramentas Google Earth e Google Map e após contato com os diretores de cada unidade educacional, estabeleceu-se a exata localização das 10 escolas no mapa da cidade. A ferramenta Google Earth permitiu ainda a obtenção de imagens aéreas de quase todas as escolas, à exceção das mais recentes, ainda não construídas no momento do registro das imagens pelo satélite. A utilização dessa ferramenta permitiu estabelecer a orientação de cada escola em relação ao Norte e auxiliou, não apenas na construção das plantas de implantação, mas também no levantamento do entorno.

A aquisição das plantas arquitetônicas do projeto padrão das Escolas Municipais se deu junto à SEDEC/PMJP-PB. O projeto foi desenvolvido por arquitetos da prefeitura, em conformidade com a legislação vigente, Código de Obras do Município e diretrizes do FNDE/MEC. Embora um mesmo projeto arquitetônico padrão tenha sido utilizado para construção das escolas desde 2006, a

implantação dele nos terrenos se deu em função das dimensões, relevo e condições de orientação particulares de cada um.

A pesquisa de campo teve como principal intuito estabelecer contato direto com o objeto de estudo e aprofundar os conhecimentos a respeito do tema. Foi feita, sobretudo, com a intenção de:

- a) conferir a identidade entre a execução e o projeto padrão;
- b) caracterizar acabamentos e detalhes construtivos;
- c) levantar detalhes da implantação;
- d) caracterizar a obstrução do entorno;
- e) verificar a adequação entre a edificação construída e o uso proposto e;
- f) criar uma base iconográfica para cada escola.

Esses objetivos foram alcançados por meio de visita a cada uma das escolas selecionadas. Essa etapa se subdividiu em: levantamento arquitetônico e levantamento fotográfico.

Com o objetivo de conferir a identidade entre a execução e o projeto padrão, ou seja, verificar se a unidade escolar foi construída rigorosamente de acordo com o projeto arquitetônico padrão, foram conferidas medidas gerais do prédio, das salas de aula, dos corredores, das aberturas, pés-direitos, etc. Ambientes não diretamente relacionados às salas de aula como refeitório, laboratórios, bibliotecas, banheiros, etc., não foram levados em consideração por não influenciarem no estudo da iluminação natural dentro das salas de aula.

No levantamento das características do entorno, foram medidos os afastamentos, os desníveis e o distanciamento das obstruções mais próximas, naturais ou construídas, como prédios, vegetações, morros, etc. Também foram observadas características físicas e morfológicas do arruamento mais próximo e o paisagismo adotado. Para obtenção das medidas de maior extensão foi utilizada uma trena de roda analógica, com comprimento de até 10.000m e graduação em decímetros, marca Komelon.

No levantamento fotográfico foram observados detalhes relevantes à simulação computacional e ao estudo da iluminação natural em ambientes internos,

como: soluções construtivas, cores, mobiliário e materiais utilizados. Também foi registrado o entorno do prédio, as edificações existentes, a massa vegetal, etc. Tudo com o intuito de criar um banco de dados fotográficos referente a cada escola, que possibilitasse a construção do modelo digital de forma fidedigna ao real.

Para maior garantia da fidelidade entre o modelo digital e a realidade construída, utilizou-se no levantamento das cores encontradas nas escolas a tabela da CIBSE (2001). Ela permitiu a apropriada identificação das cores e a correta atribuição dos coeficientes de reflexão no momento da simulação.

3.2 Construção do modelo

Esta etapa da pesquisa aborda a construção do modelo tridimensional digital de cada uma das 10 escolas padrão em análise e seus respectivos entornos. Ela se subdivide em: construção da planta 2D esquemática, através do emprego do programa computacional AutoCAD v.12, produzido pela Autodesk, e a construção do modelo tridimensional, através do emprego do Google SketchUp Pro v.8, produzido pela Google.

A execução da etapa de construção da planta 2D esquemática só foi possível após a conclusão da caracterização da amostra e da pesquisa de campo, que forneceram subsídios como: plantas arquitetônicas do projeto padrão; imagens de satélite do Google Earth com implantação e orientação das escolas; levantamento arquitetônico do entorno; levantamento fotográfico dos materiais e cores utilizados nos acabamentos, etc., extremamente necessários à construção dos modelos.

De posse desse conjunto de informações e utilizando o programa AutoCAD, construiu-se para cada escola uma planta 2D esquemática representando o contorno do terreno da escola, os contornos do prédio da escola propriamente dita, os afastamentos, o paisagismo, os volumes do entorno mais significativos, a marcação das árvores e o arruamento mais próximo. Depois de finalizada a planta esquemática, o arquivo gerado pelo AutoCAD em formato *.dwg foi exportado para o Google SketchUp para a construção do modelo tridimensional, finalizando esta etapa do processo.

A modelagem tridimensional de cada escola padrão foi construída de forma separada. Primeiramente foi modelado o prédio da escola padrão, com ênfase no

andar superior, onde estão localizadas as salas de aula, e na envoltória da edificação. A área interna do pavimento térreo não foi modelada por não corresponder aos interesses dessa pesquisa.

Em seguida, construiu-se o mobiliário básico das salas de aula de forma esquemática para não sobrecarregar o arquivo, facilitando assim o seu manuseio. Em virtude de todas as escolas padrão possuírem um ginásio poliesportivo anexo ao prédio principal, foi necessário modelar também essa edificação, que juntamente com o prédio da escola compuseram o conjunto de edificações básico comum a todas as escolas em análise.

Finalizados os modelos digitais da escola e do ginásio, iniciaram-se as modelagens do entorno de cada escola, dando-se prioridade aos volumes e a massa vegetal mais significativos das proximidades. Terminada essa etapa, foram inseridos as modelagens do prédio da escola e do prédio do ginásio, feitos separadamente. Por fim, definiu-se o norte e as propriedades ópticas para cada cor utilizada nas superfícies. A atribuição dessas propriedades foi feita com base nos dados levantados na pesquisa de campo, referentes à cor e aos materiais utilizados nas edificações. O arquivo gerado na modelagem utilizando o Google SketchUp possui o formato *.skp, não reconhecido pelo Daysim, devendo para isso ser exportado em formato *.3DS. As etapas de construção do modelo e de simulação computacional estão interligadas; a construção do modelo no SketchUp só finaliza quando o mesmo é reconhecido pelo Daysim.

3.3 Medições *in loco*

Essa etapa da pesquisa consistiu em medir a iluminação no interior da sala de aula com os seguintes objetivos:

a) criar um banco de dados com amostras reais da iluminância, medidas dentro do ambiente construído, que pudessem servir de base comparativa para o modelo digital e;

b) verificar a influência do entorno na disponibilidade de luz natural dentro da edificação, por meio da comparação entre as medições da iluminação natural de duas escolas.

Dividiu-se, portanto, em medições *in loco* propriamente ditas e comparação das medições com as simulações. Essa segunda parte teve a intenção de verificar a adequação do modelo digital tridimensional às condições reais da luz natural dentro da sala de aula.

A reprodução de um mesmo projeto arquitetônico padrão em diversos locais da cidade é uma possibilidade única de estudo da iluminação natural em ambientes internos, pois representa o isolamento de duas importantes variáveis: a edificação (morfologia, dimensões, tipo de aberturas, etc. – que são idênticas) e a orientação. A única diferença entre elas seria o entorno, possibilitando analisar o impacto das variações do mesmo sobre as condições de iluminação dentro da edificação.

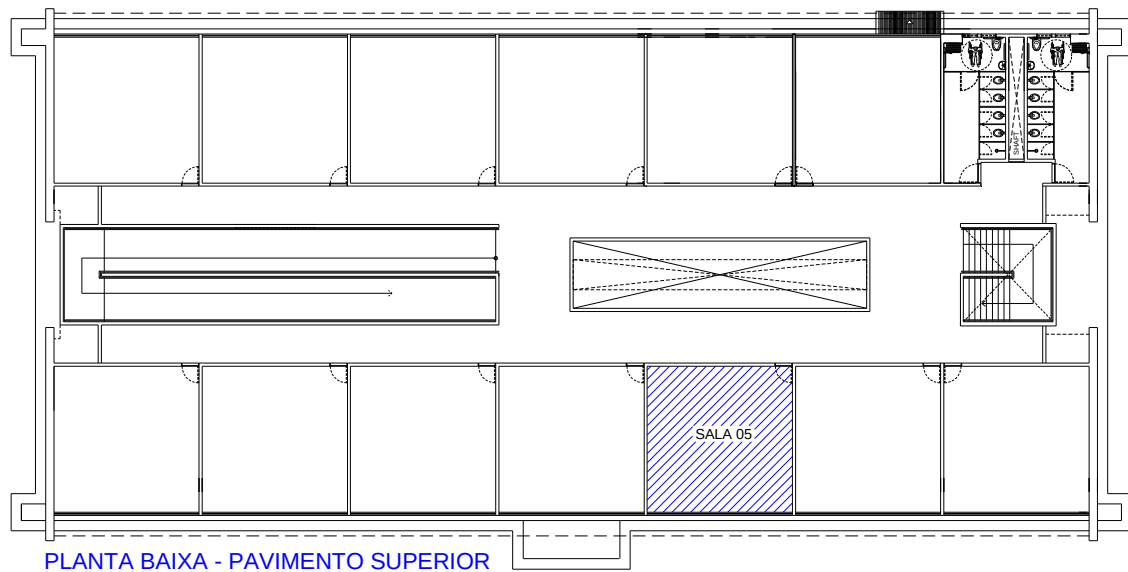
Em função da disponibilidade de equipamentos para realizar as medições, foram selecionadas duas escolas, de acordo com os seguintes critérios:

- a) a orientação de ambas as escolas deveria ser rigorosamente a mesma e;
- b) o entorno das escolas deveriam apresentar grandes diferenças entre si.

Considerando o horário livre das salas e a necessidade de garantia da integridade e segurança dos equipamentos, as medições só puderam ser realizadas nos momentos em que as mesmas não estavam sendo utilizadas, o que determinou que as medições ocorressem somente em finais de semana e eventuais feriados. Os equipamentos utilizados foram 02 conjuntos compostos por 03 sensores fotômetros LI-210SA e 01 DataLogger modelo LI-1400, produzidos pela Li-Cor Biosciences. O número de sensores em cada sala assim como o número de salas foi definido em função da quantidade disponível de equipamentos. Diante disso, foi selecionada a sala número 05 de cada escola, conforme figura 3.2.

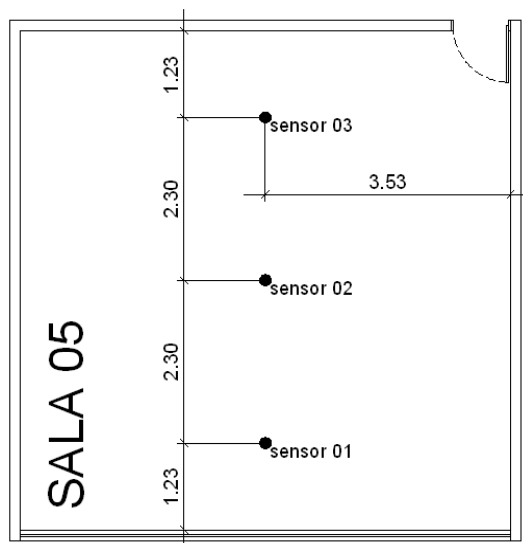
Os sensores para as medições foram posicionados conforme as recomendações da norma NBR-15.215:4 (2005), no plano onde a tarefa é executada, ou seja, sobre as carteiras, a 75 cm do piso. O sensor foi mantido de forma paralela à superfície avaliada, atentando-se para o nivelamento da fotocélula em relação à superfície. Os sensores foram dispostos em linha reta, posicionando-se um deles no centro da sala e os outros dois a uma distância de 2,30m do centro e distantes 1,23m das paredes, conforme figura 3.3 e fotografia 3.1.

Figura 3.2 – Sala onde foram realizadas as medições *in loco*



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 3.3 – Disposição dos sensores na sala



Fonte: elaborado pela autora.

Fotografia 3.1 – DataLogger e sensores instalados



Fonte: registrada pela autora, 2011.

O equipamento foi programado para iniciar as medições às 07h00min da manhã, coincidindo com o horário de início das atividades da escola, e encerrá-las às 17h00min, horário de término das atividades vespertinas, com intervalo de 5 minutos entre uma leitura e outra. Devido à disponibilidade coincidente de horário nas duas escolas, foi possível realizar as medições durante 5 dias. Os dados resultantes dessas medições receberam tratamento gráfico e estatístico.

Em paralelo às medições com DataLoggers *in loco*, foram realizadas medições da luz natural em ambiente externo desobstruído, a cada 1 hora, com um

luxímetro modelo MLM 1011, produzido pela Minipa, coincidindo o horário da primeira medição com o horário da primeira leitura do DataLogger. As medições em ambiente externo desobstruído objetivaram acompanhar as condições de céu para compará-las com os dados obtidos nas medições *in loco*. Ainda com o mesmo objetivo foram obtidos no site do Inmet, dados sobre a radiação solar em João Pessoa para o mesmo período.

Para efeito prático e devido à grande variedade e complexidade de condições reais de céu, dificultando a sua identificação à olho nú, adotou-se nessa pesquisa a NBR 15.215:2 (ABNT, 2005), que classifica as condições de céu em apenas três: céu claro, céu encoberto e céu parcialmente encoberto.

Para evidenciar as diferenças de entorno entre as escolas em que foram realizadas as medições da luz natural, foi necessário fazer uma caracterização da obstrução do mesmo. Foram registradas várias fotografias nas duas escolas selecionadas, utilizando-se uma lente grande angular 8mm F3.5 “olho de peixe” CS, acoplada a uma câmera fotográfica digital da marca Nikon, modelo D90. O ponto de onde foram tiradas as fotografias foi o mesmo em ambas as escolas, qual seja, o ponto central de cada fachada da edificação, direcionando-se a câmera para frente e posteriormente para cima. Em seguida, comparou-se as fotografias das duas escolas. Primeiramente as registradas com a câmera direcionada à frente e depois aquelas com a câmera direcionada ao céu. Através do programa Autocad, mapeou-se a área de céu visível e a área de céu obstruído. Isso permitiu identificar e comparar o grau de obstrução dos entornos nas duas situações. Aliado a isso, com auxílio do programa Ecotec Analysis 2011, calculou-se o diagrama estereográfico das duas escolas em questão. Isso permitiu quantificar a diferença no grau de obstrução do entorno das duas escolas.

3.4 Simulações computacionais

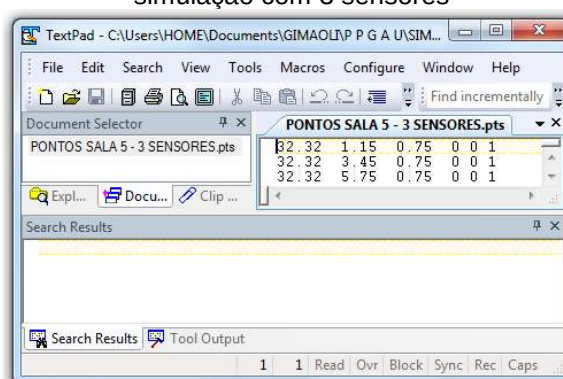
A última etapa dessa pesquisa diz respeito às **simulações computacionais** onde foi empregado o Daysim v. 3.0b, um programa validado produzido no Canadá, cuja base de cálculo utiliza os mesmos algoritmos do Radiance. Essa etapa foi subdividida em: simulações piloto, onde foram utilizadas as duas escolas nas quais

foram realizadas as medições *in loco* e; simulações principais, realizadas com as dez escolas da amostra, selecionada para essa pesquisa.

3.4.1 Simulações piloto

Devido à existência de inúmeras discrepâncias entre os resultados das simulações computacionais e as condições reais de iluminação natural dentro dos ambientes, como as apontadas por Maamari *et al* (2003), fez-se necessário um ajuste do modelo digital tridimensional. Dessa forma, realizou-se inicialmente a simulação computacional nas duas escolas onde haviam sido feitas as medições *in loco* da iluminação natural. A simulação computacional nessas duas escolas específicas teve a intenção de repetir as mesmas condições das medições *in loco*, descritas no item 3.3, de modo que, no final das simulações, os resultados pudessem ser comparados. Como a intenção era realizar a simulação de forma semelhante às medições *in loco*, foram locados 03 pontos (sensores) de simulação da iluminação natural no software, posicionados no mesmo local e com o mesmo distanciamento entre si, que os sensores das medições *in loco*. Esses pontos, que o programa entende como sensores, são coordenadas definidas em um arquivo tipo *.txt, fornecido ao Daysim no momento oportuno. Para definição desses pontos utilizou-se o programa TextPad v. 5.4 (ver figura 3.4).

Figura 3.4 – Arquivo de pontos para a simulação com 3 sensores

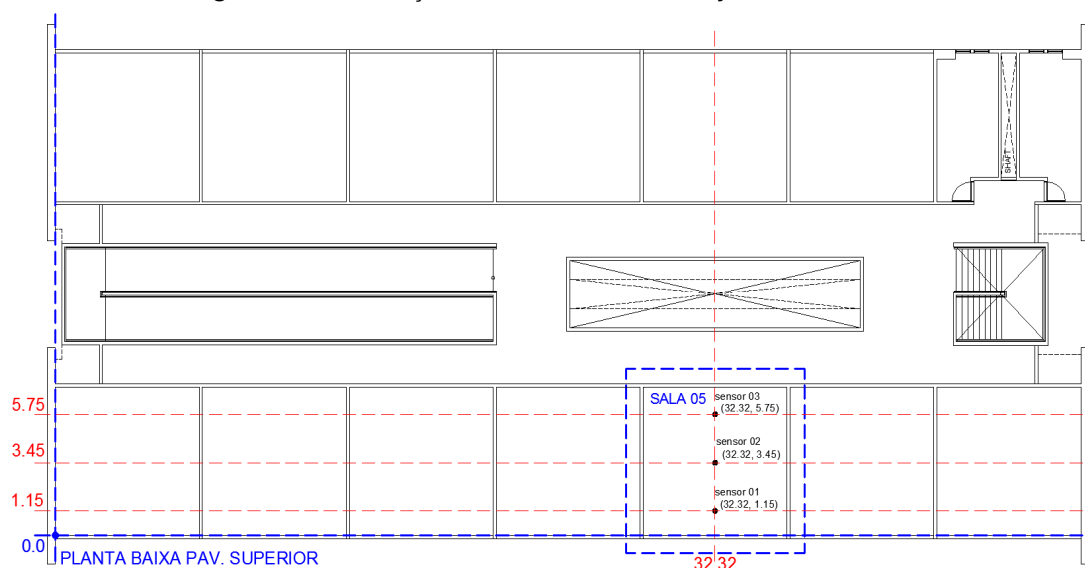


Fonte: adaptado de TextPad v. 5.4.

Nele são gravados as coordenadas x, y e z dos pontos que se pretende que funcionem como sensores. No caso o valor de z corresponde à altura do plano de

trabalho, ou seja, 0,75cm e os valores de x e y são definidos em relação ao ponto 0,0, previamente estabelecido para o pavimento todo (ver figura 3.5).

Figura 3.5 – Definição das coordenadas x e y dos 3 sensores



Fonte: elaborado pela autora.

Assumindo-se que os valores medidos apresentam maior confiabilidade, a similaridade entre estes e os valores simulados confirmam ou não a adequação do modelo digital construído para a simulação, entendendo-se que na definição do modelo existem inúmeras variáveis que podem não ser levadas em conta em função da complexidade do ambiente real. A comparação entre a simulação computacional e a medição *in loco* foi, portanto, uma forma de alcançar maior confiabilidade dos resultados obtidos com a simulação.

Por ser um software que realiza simulações dinâmicas, o Daysim necessita de um arquivo climático. Nessa pesquisa utilizou-se o *PB-João Pessoa.epw*, referente à cidade onde realizou-se a pesquisa.

Foi necessário definir também um intervalo de tempo durante o qual o software deveria realizar a simulação. Como as medições *in loco* foram realizadas das 07h00min às 17h00min, horário de início e término das atividades didáticas do período diurno, esse também foi o horário determinado para realização das simulações computacionais nas duas escolas.

As simulações computacionais geram relatórios com vários parâmetros, dentre os quais foram de interesse dessa pesquisa o ALN, por relacionar as áreas com o percentual de horas durante o ano em que será mantido um valor mínimo de

iluminância pré-determinado utilizando-se apenas a luz natural. Para o cálculo desse indicador de desempenho foi fornecido ao programa um nível de iluminância mínimo de 500lux, conforme estabelece a NBR 5413 (ABNT, 1992) para realização de tarefas em salas de aula. Outro parâmetro utilizado por essa pesquisa foi o INU, por permitir classificar a iluminância dentro do ambiente segundo três faixas de iluminância pré-determinadas: $INU < 100\text{lux}$, considerado insuficiente para a realização de tarefas, $INU > 2000\text{lux}$, considerado além do necessário para a realização de tarefas, provavelmente causando desconforto aos usuários, e $100\text{lux} < INU < 2000\text{lux}$, considerada a faixa útil, ideal para a realização de tarefas.

Deve-se fornecer também ao programa os coeficientes de reflexão dos materiais e das cores utilizados no modelo digital, em conformidade com a pesquisa de campo. Para a correta atribuição das cores e dos respectivos coeficientes utilizou-se LAM (1986), CASTRO *et al* (2003) e a tabela da CIBSE (2001).

Os resultados obtidos com essas simulações receberam tratamento gráfico e estatístico através do programa Microsoft Excel 2010. Os resultados e a análise dos resultados obtidos nessa pesquisa são apresentados no capítulo 6, juntamente com os resultados das medições *in loco*.

No entanto, para essa comparação ser possível, os valores das medições tiveram que ser tratados de forma a se equipararem aos dados fornecidos pela simulação, ou seja o INU e o ALN. Para o INU, os valores em lux obtidos com as medições *in loco* em cada sensor foram classificados com a ajuda de filtros no Excel segundo 3 faixas de valores, exatamente como a simulação computacional, ou seja, abaixo de 100lux, entre 100 e 2.000lux e acima de 2.000lux. Em seguida calculou-se a quantidade de valores que ficavam em cada faixa e obteve-se assim o parâmetro INU para as três faixas. Para o parâmetro ALN calculou-se quantos valores obtidos nas medições *in loco* ocorriam acima de 500lux em cada sensor. Então, dividiu-se esse número pelo total de ocorrências, obtendo-se assim o percentual de autonomia da luz natural das medições permitindo compará-lo ao ALN das simulações.

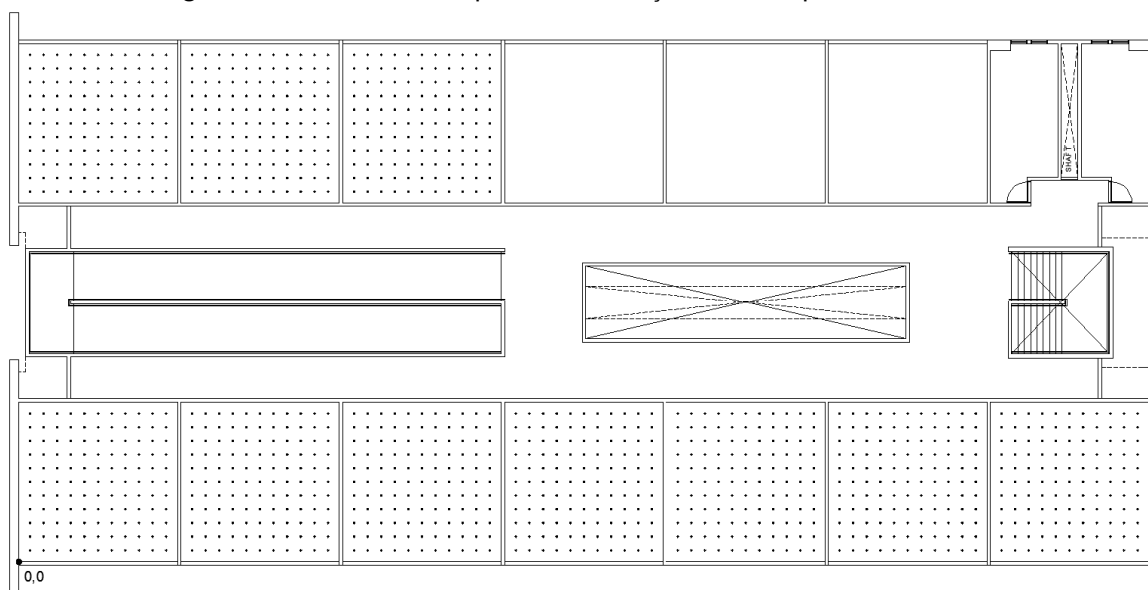
3.4.2 Simulações principais

As simulações computacionais principais, realizadas nas 10 escolas da amostra, seguiram o mesmo procedimento estabelecido no item anterior, com

diferenças apenas no que diz respeito às salas simuladas e ao número de sensores distribuídos. Aqui foram consideradas as 10 salas de aula existentes no pavimento superior, ou seja, o total de salas de aula de cada escola.

Com relação ao número de pontos (sensores) por sala, a NBR-15.215-4 (ABNT, 2005) estabelece para as dimensões das salas em questão um número mínimo de 25 pontos. No entanto, com a intenção de se obter um resultado mais pormenorizado, utilizou-se 121 pontos por sala de aula, totalizando 1210 pontos por escola, conforme figura 3.6. Para que a distribuição desses pontos pudesse ser feita de forma equitativa e de acordo com a norma, utilizou-se o software AutoCAD, de modo que os pontos de análise fossem distribuídos com afastamento de 0,605m entre si, iniciando a 0,50m da parede e localizados a uma altura de 0,75m do piso, altura do plano de trabalho. Os resultados obtidos com essas simulações receberam o mesmo tratamento das simulações anteriores, realizadas apenas com 3 sensores.

Figura 3.6 – Pavimento superior: distribuição dos 121 pontos nas salas



Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados obtidos com essas simulações receberam o mesmo tratamento gráfico e estatístico realizado nas simulações piloto com o programa Microsoft Excel 2010. Em seguida, utilizando-se o programa Surfer v.8, foram criadas isolinhas para visualização, dentro da sala de aula, da distribuição dos valores obtidos com os parâmetros estudados. Os resultados e a análise dos resultados obtidos nessa etapa são apresentados no capítulo 7.

4 UNIVERSO DE ANÁLISE

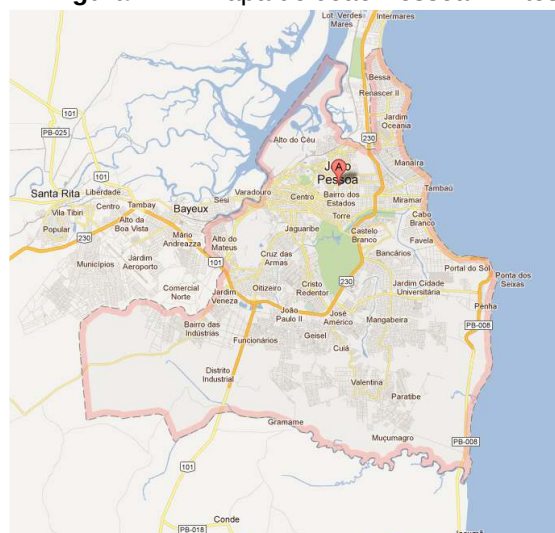
Localizada na região Nordeste do Brasil, João Pessoa é a capital do Estado da Paraíba e possui uma área de 210,45km² (ver figura 4.1), dividida em 64 bairros. Com uma população estimada em 723.514 habitantes¹⁵, situa-se na porção oriental do Estado, a uma latitude de 7°08'S e a uma longitude de 34°53'O. Tem como limites a cidade de Cabedelo ao Norte; o município do Conde ao Sul; o Oceano Atlântico a Leste e os municípios de Bayeux e Santa Rita a Oeste (ver figura 4.2).

Figura 4.1 – Mapa do Brasil: regiões



Fonte: IBGE - Diretoria de Geociências, 2012.

Figura 4.2 – Mapa de João Pessoa: limites

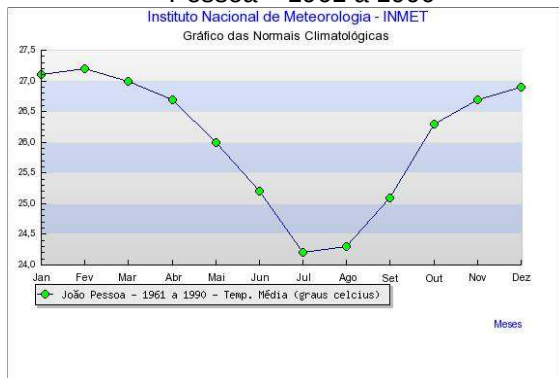


Fonte: Google Maps, 2012.

Fundada em 5 de agosto de 1585, é uma das cidades mais antigas do país. Nasceu às margens do Rio Sanhauá e cresceu em direção ao mar. Sua vegetação é predominantemente de mata atlântica e, além do Sanhauá, é entrecortada também pelo rio Jaguaribe. Sua localização próxima ao Equador determina um clima quente, com temperatura média acima de 25°C durante a maior parte do ano (ver gráfico 4.1). Essa localização também determina a existência de insolação por aproximadamente 3.000 horas durante o ano, sendo a maior incidência nos meses de outubro e novembro (ver gráfico 4.2). Quanto à nebulosidade, os índices variam entre 5,5 e 6,5, resultando em condições de céu que variam de céu claro a céu encoberto, com predominância de céu parcialmente encoberto.

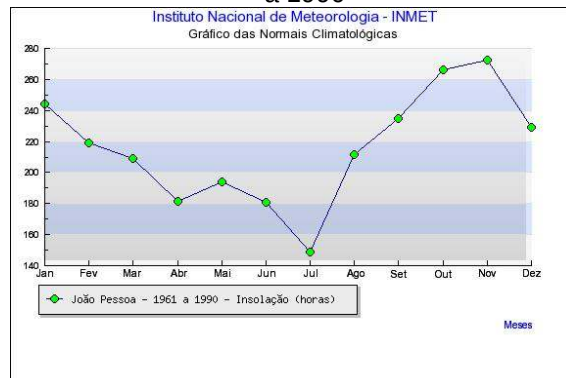
¹⁵ Segundo censo do IBGE realizado em 2010.

Gráfico 4.1 – Temperatura média em João Pessoa – 1961 à 1990



Fonte: IBGE - Diretoria de Geociências, 2012.

Gráfico 4.2 – Insolação em João Pessoa – 1961 à 1990



Fonte: IBGE - Diretoria de Geociências, 2012.

O princípio motivador dessa pesquisa foi auferir o potencial de uso da iluminação natural nas salas de aula das escolas municipais da cidade de João Pessoa-PB, que conta no momento com 93 unidades educacionais, de nível fundamental e médio, distribuídas em 09 pólos ao longo de sua extensão geográfica.

Fotografia 4.1 – Vista aérea da cidade de João Pessoa



Fonte: Aeroclube da Paraíba, Dirceu Tortorello, 2012.

O capítulo aqui desenvolvido descreve o processo e os dados obtidos na definição do objeto de análise. Esta etapa foi dividida em três momentos: definição do universo de análise; caracterização da amostra e; pesquisa de campo.

4.1 Definição do universo de análise

Em visitas realizadas a duas escolas do pólo 01, a Escola Municipal Aruanda e a Escola Municipal Olívio Ribeiro Campos, ambas localizadas no bairro dos Bancários e escolhidas sem critérios específicos, percebeu-se que as mesmas não

possuíam semelhança entre si (ver fotografia 4.2 e 4.3). O partido arquitetônico, o dimensionamento das salas de aula, as cores, os revestimentos, as soluções construtivas e o tamanho e localização das aberturas diferiam consideravelmente (ver fotografia 4.4 e 4.5), até mesmo na própria escola, devido histórico de reformas e adaptações realizadas.

Fotografia 4.2 – E.M. Aruanda



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 4.3 – E.M. Olívio Ribeiro Campos



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 4.4 – E.M. Aruanda: sala de aula



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 4.5 – E.M. Olívio R. Campos: sala de aula



Fonte: registrada pela autora, 2011.

A visita às unidades mencionadas teve a intenção de definir e delimitar uma amostra representativa das escolas existentes na rede municipal de João Pessoa-PB que possibilitasse a realização dos estudos de iluminação natural pretendidos nessa pesquisa. Mas, em função da enorme heterogeneidade existente entre elas, fez-se necessário a adoção de um recorte que pudesse apresentar dados mais consistentes.

Em pesquisa à Diretoria de Gestão Curricular (DGC) da Secretaria de Educação e Cultura (SEDEC) da Prefeitura Municipal de João Pessoa, pôde-se

perceber que desde o ano de 2006 as escolas municipais vinham sendo construídas segundo um projeto arquitetônico padrão único, definido pelo Governo Municipal, de acordo com diretrizes estabelecidas pelo FNDE/MEC. Diante disso, foi possível estabelecer um recorte temporal: as escolas municipais da cidade de João Pessoa-PB, construídas de 2006 aos dias atuais, cujo projeto arquitetônico segue um padrão único estabelecido pela prefeitura.

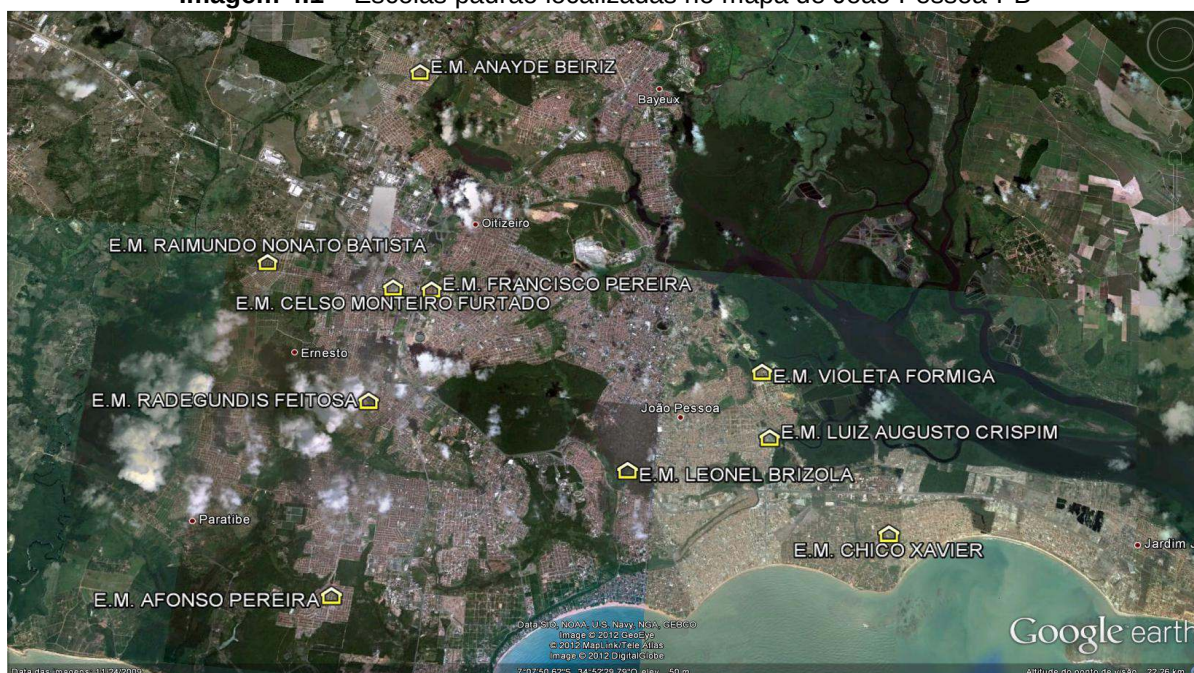
A utilização desse recorte representou uma redução significativa do número de escolas estudadas. No entanto, os resultados obtidos com a pesquisa terão maior aplicabilidade para a comunidade, visto que poderão gerar sugestões objetivas às escolas padrão construídas, bem como alterações no projeto arquitetônico utilizado para a construção de escolas futuras. Isso poderá significar ganhos em qualidade e conforto ambiental dentro das salas de aulas, bem como grande economia aos cofres públicos.

4.2 Caracterização da amostra

Definido o universo de análise dessa pesquisa, iniciou-se o processo de caracterização da amostra por meio da identificação e localização de cada uma das escolas, aquisição das plantas arquitetônicas e análise das mesmas. O contato com a DGC/SEDEC/PMJP-PB, revelou a existência de 10 unidades educacionais construídas segundo o projeto padrão e já em funcionamento. A identificação da amostra consistiu em relacionar quantitativamente e qualitativamente dados como nome, endereço, telefone, etc., listados no Anexo A.

Através das ferramentas Google Earth e Google Map e de contatos com os diretores de cada unidade educacional, estabeleceu-se a exata localização das 10 escolas no mapa da cidade (observar imagem 4.1) e as respectivas coordenadas geográficas (latitude e longitude) de cada uma delas, listadas no Anexo B.

Imagem 4.1 – Escolas padrão localizadas no mapa de João Pessoa-PB



Fonte: Google Earth, 2012, com adaptações da autora.

A ferramenta Google Earth permitiu ainda obter as imagens aéreas de 08 escolas já construídas. As outras duas, a Luiz Augusto Crispim e a Radegundis Feitosa, ainda não aparecem construídas nas imagens do satélite, pois as imagens disponíveis datam de 2008 e 2009 respectivamente. Em função disso, para um melhor entendimento, desenhou-se os contornos dos prédios da escola e do ginásio. Todas as imagens das escolas e terrenos adquiridos do Google Earth foram salvos separadamente a uma altitude de 200m, o que possibilitou a padronização das imagens e facilitou a comparação entre elas (ver imagem 4.2).

A obtenção da imagem aérea, tanto das escolas construídas, como dos terrenos das não construídas, possibilitou estabelecer o Norte geográfico de cada uma delas, auxiliando na construção das plantas de implantação e dos entornos. Pôde-se observar, de imediato, que o formato dos terrenos em que as escolas foram implantadas são significativamente diferentes comparando-se uns aos outros, o que gerou implantações e afastamentos diferenciados. No entanto, apesar das diferenças existentes nos lotes e nas implantações, observadas pela análise das imagens de satélite, percebeu-se a intenção de posicionar as escolas com seu eixo transversal direcionado no sentido norte-sul.

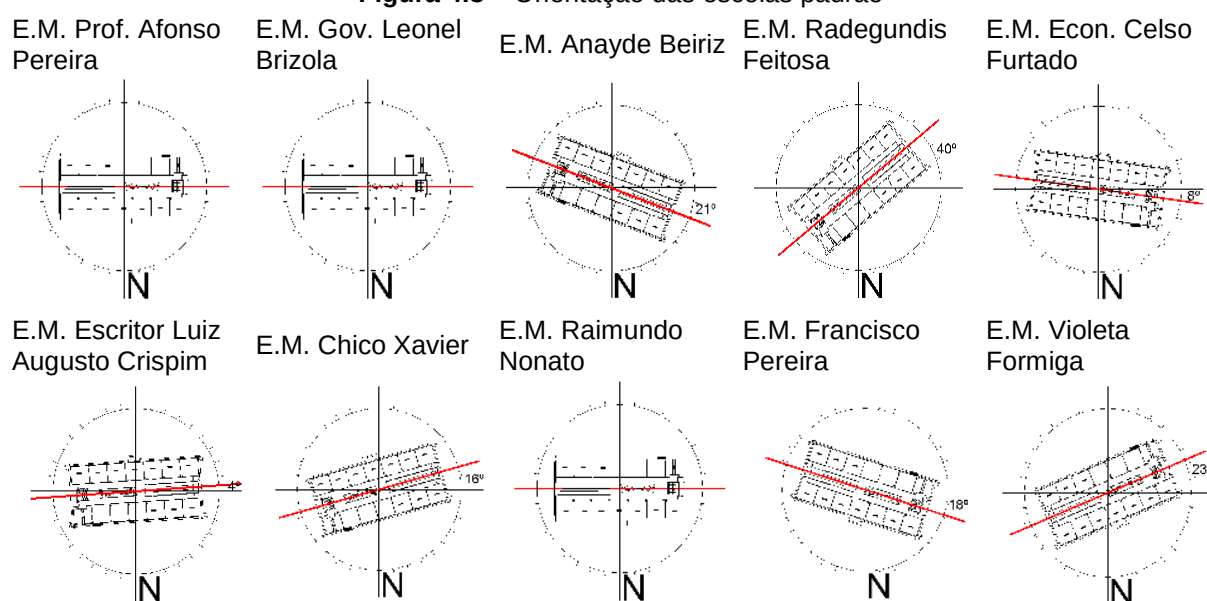
Imagem 4.2 – Imagens de satélite das escolas padrão



Fonte: Google Earth, 2011.

Com isso, as aberturas das salas de aula ficaram predominantemente voltadas para a direção norte-sul, com algumas variações (ver figura 4.3), apesar de alguns prédios estarem invertidos em relação aos outros, como pode ser observado pelo posicionamento das escadas. É oportuno observar que a E.M. Radegundis Feitosa é a unidade que possui o eixo transversal menos alinhado com o norte geográfico, sugerindo a possibilidade de incidência de raios solares no interior da sala de aula. Vale salientar também que as escolas Afonso Pereira, Leonel Brizola e Raimundo Nonato possuem orientações rigorosamente iguais e eixo transversal perfeitamente alinhado com o Norte geográfico.

Figura 4.3 – Orientação das escolas padrão



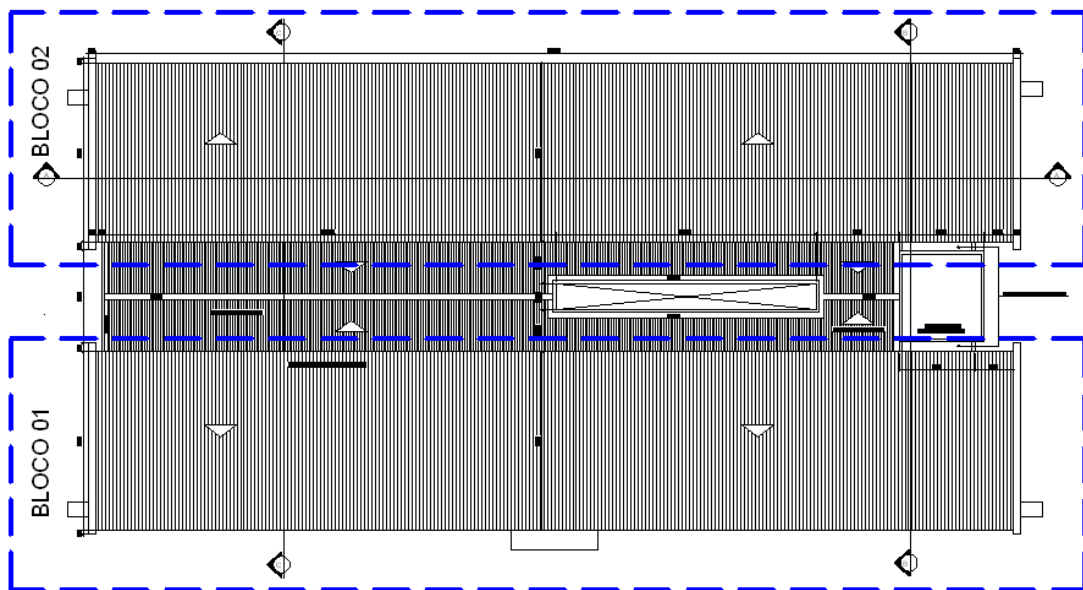
Fonte: elaborado pela autora.

A aquisição das plantas arquitetônicas do projeto padrão das escolas municipais se deu junto à SEDEC/PMJP-PB. O projeto foi desenvolvido por arquitetos da prefeitura, em conformidade com a legislação vigente, o Código de Obras do Município, e as diretrizes do FNDE/MEC para construção de escolas. Tais diretrizes dizem respeito apenas ao conteúdo programático e à distribuição e organização dos setores da unidade educacional em administrativo, de aulas, de laboratórios, etc., aspectos de conforto ambiental e eficiência energética não foram mencionados.

O projeto da escola é dividido horizontalmente em dois blocos (ver figura 4.4) e verticalmente em dois pavimentos (ver figura 4.5). Tanto horizontalmente quanto

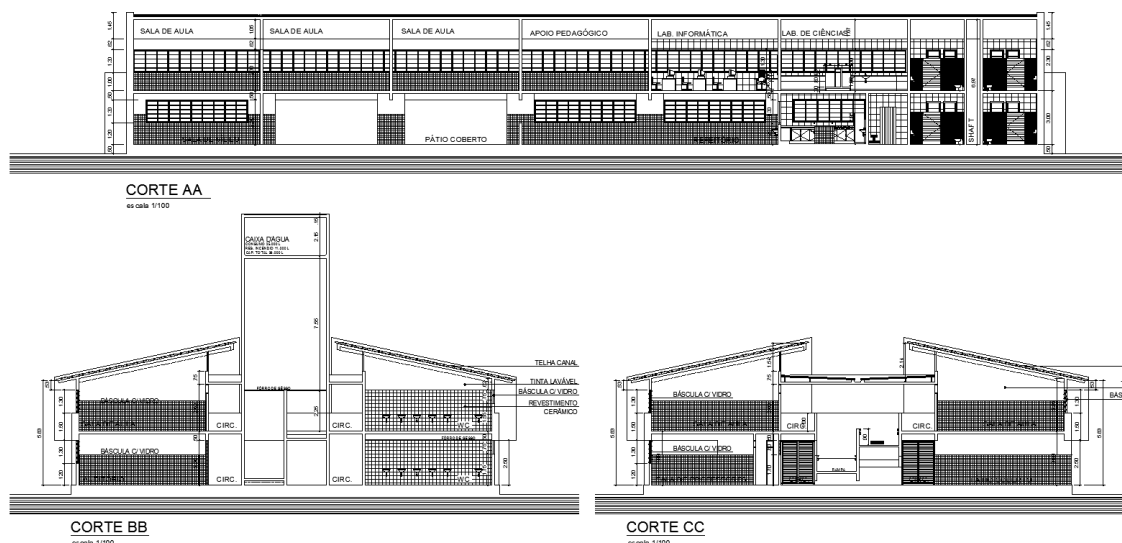
verticalmente, são ligados por áreas de circulação que também funcionam como entrada de ventilação e iluminação natural. Interiormente, os ambientes são distribuídos da seguinte forma: a) no térreo: administração, biblioteca, auditório, refeitório, serviços, sanitários e apoio (ver figura 4.6); b) no pavimento superior: 10 salas de aula, laboratórios e sanitários (ver figura 4.7).

Figura 4.4 - Projeto arquitetônico padrão: planta de cobertura



Fonte: SEDEC/PMJP-PB

Figura 4.5 - Projeto arquitetônico padrão: cortes

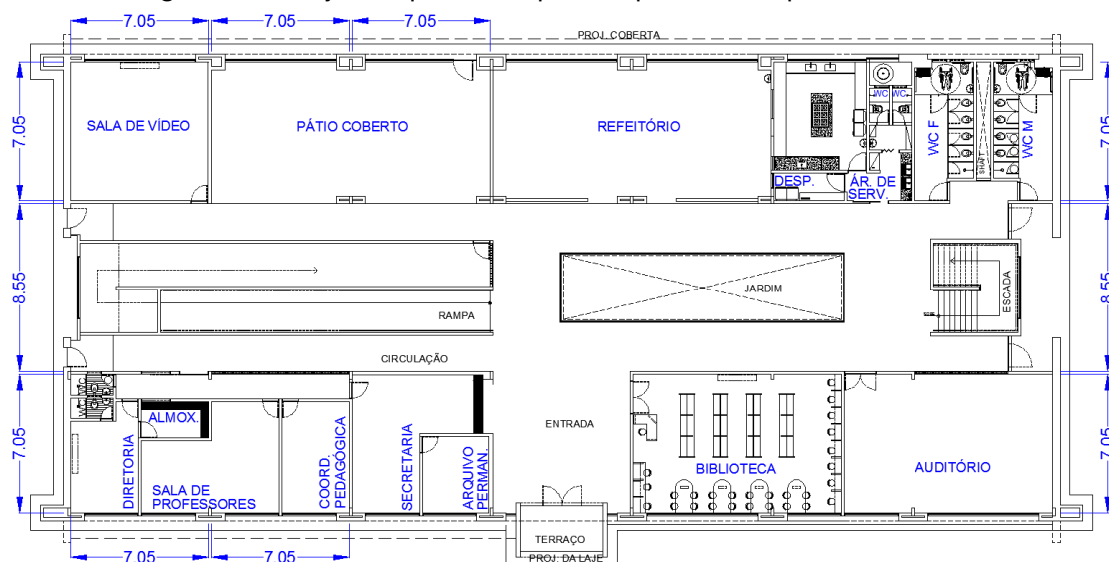


Fonte: SEDEC/PMJP-PB

O projeto segue uma modulação longitudinal de 7,05m marcada por seus pilares. No outro sentido os dois blocos também possuem 7,05m, de modo que as

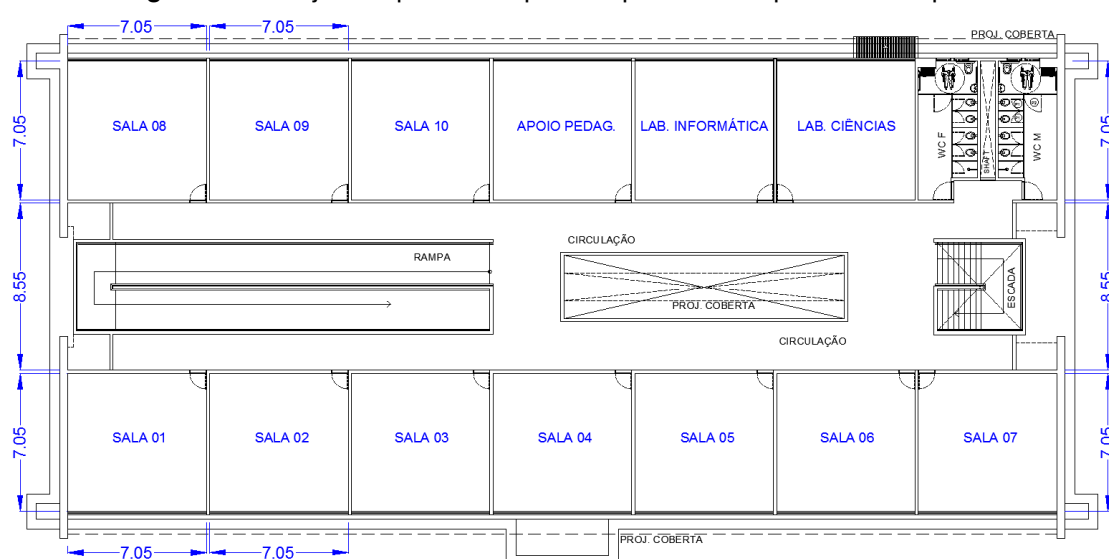
salas de aulas são quadradas, possuindo 7,05m de largura por 7,05m de profundidade e, portanto, uma área de 49,7m². A área de circulação que liga os dois blocos possui 8,55m de largura. No pavimento térreo concentram-se a parte administrativa e de serviços da escola, no superior, as salas de aula. A área de circulação é coberta por laje e telha de alumínio e possui uma abertura zenital no pavimento superior, de 1,45m de largura por 14,25m de comprimento, responsável pela iluminação dos halls de circulação dos dois pavimentos, já que ambas são interligadas.

Figura 4.6 - Projeto arquitetônico padrão: planta baixa pavimento térreo



Fonte: SEDEC/PMJP-PB

Figura 4.7 - Projeto arquitetônico padrão: planta baixa pavimento superior



Fonte: SEDEC/PMJP-PB

4.3 Pesquisa de campo

A pesquisa de campo teve como principal intuito estabelecer contato direto com o objeto de análise e aprofundar os conhecimentos a respeito do tema. Nesse estudo, a pesquisa de campo foi feita, sobretudo, com os seguintes objetivos:

- a) criar uma base iconográfica de cada escola;
- b) conferir a identidade entre a execução e o projeto padrão;
- c) levantar e caracterizar a implantação e o paisagismo;
- d) levantar e caracterizar o entorno;
- e) identificar acabamentos e detalhes construtivos; e
- f) verificar a adequação entre a edificação construída e o uso proposto.

Esses objetivos foram alcançados por meio de visita a cada uma das escolas selecionadas. Essa etapa se subdividiu em: levantamento fotográfico e levantamento arquitetônico.

4.3.1 Levantamento fotográfico

No levantamento fotográfico foram observados os detalhes relevantes para o estudo da iluminação natural dentro da sala de aula, como: soluções construtivas, cores, mobiliário e materiais utilizados. Também foram registrados: o entorno do prédio no que diz respeito às edificações existentes, a massa vegetal, etc. Tudo isso com o intuito de criar um banco de dados fotográficos referente a cada escola, que possibilitasse a construção do modelo digital tridimensional o mais aproximado possível da realidade.

4.3.2 Levantamento arquitetônico

Com o objetivo de conferir a identidade entre a execução e o projeto padrão, ou seja, verificar se a unidade escolar foi construída rigorosamente de acordo com o projeto arquitetônico padrão, foram conferidas medidas gerais do prédio, dos corredores, das aberturas, pés-direitos, rampas, etc., dando-se especial atenção às salas de aula. Ambientes não diretamente relacionados a elas como refeitório,

laboratórios, bibliotecas, banheiros, etc. não foram levados em consideração por não influenciarem no estudo da iluminação natural dentro das mesmas. Nessa etapa se pôde observar que a execução das unidades escolares seguiram fielmente o projeto arquitetônico padrão. Constatou-se que as medidas dos prédios construídos diferiam pouco do projeto, algo em torno de 5 a 10 cm nas situações de grandes dimensões. No geral, portanto, a grande maioria das medidas conferidas foi bastante semelhante as do projeto.

Com o objetivo de levantar e caracterizar a implantação de cada escola no lote e seu entorno, foram medidos os afastamentos, os desníveis e o distanciamento das obstruções mais próximas, naturais ou construídas, como prédios, vegetações, morros, etc. Para obtenção das medidas de maior extensão foi utilizada uma trena analógica da marca Komelon, de roda, com alcance de até 10.000m e precisão em decímetros. Essa etapa permitiu confirmar o que já se havia observado nas imagens por satélite, que apesar da utilização de um único projeto para a construção das 10 escolas, os terrenos utilizados são diferentes em relação ao dimensionamento dos lotes (ver imagem 4.3 e 4.4), predominando os retangulares.

Imagem 4.3 – Lote quadrado da E. M. Raimundo Nonato



Fonte: Google Earth, 2011.

Imagem 4.4 – Lote retangular da E. M. Afonso Pereira



Fonte: Google Earth, 2011.

Com relação à topografia, na maioria das escolas (seis delas), o terreno utilizado é predominantemente plano, como é o caso da Radegundis Feitosa, da Chico Xavier e da Afonso Pereira (ver fotografias 4.6, 4.7 e 4.8, respectivamente). Em outras, o terreno possui declividades de até 1,60m de altura, o que implicou em situações onde a escola foi implantada abaixo do nível do entorno, como é o caso da

Governador Leonel Brizola, da Violeta Formiga e da Luiz Augusto Crispim (ver fotografias 4.9, 4.10 e 4.11, respectivamente).

Fotografia 4.6 - Terreno plano da E. M. Radegundis Feitosa



Fotografia 4.7 - Terreno plano da E. M. Chico Xavier



Fotografia 4.8 - Terreno plano da E. M. Afonso Pereira



Fonte: registradas pela autora, 2011

Fotografia 4.9 – Declividade do terreno da E. M. Leonel Brizola



Fotografia 4.10 – Declividade do terreno da E. M. Violeta Formiga



Fotografia 4.11 – Declividade do terreno da E. M. L. A. Crispim



Fonte: registradas pela autora, 2011

Com relação ao paisagismo adotado nas escolas, essa foi uma das características que se evidenciou, particularmente, diferente. Em nenhuma delas observou-se semelhanças significativas no traçado paisagístico como podemos ver nas fotografias 4.12, 4.13 e 4.14 abaixo.

Fotografia 4.12 – Paisagismo da E. M. Celso M. Furtado



Fotografia 4.13 – Paisagismo da E. M. Anayde Beiriz



Fotografia 4.14 – Paisagismo da E.M. Francisco P. Nóbrega



Fonte: registradas pela autora, 2011

É oportuno destacar que cada unidade educacional possui como anexo à edificação da escola um ginásio poliesportivo, cujo posicionamento está condicionado às dimensões e a topografia de cada lote. Repetidas vezes o seu posicionamento encontra-se bem próximo à escola, representando um elemento significativo de obstrução da luz natural que chega às salas de aula. (ver fotografias 4.15, 4.16 e 4.17).

Fotografia 4.15 – Ginásio da E. M. Celso M. Furtado



Fotografia 4.16 – Ginásio da E. M. Luiz Augusto Crispim



Fotografia 4.17 – Ginásio da E. M. Violeta Formiga



Fonte: registradas pela autora, 2011

Com relação à morfologia do entorno das escolas padrão, essa se mostrou bastante diferenciada. Enquanto em algumas unidades educacionais o entorno é completamente desobstruído (ver fotografia 4.18), em outras se observou a presença bem próxima de prédios altos (ver fotografia 4.19) e de grande adensamento de construções.

Fotografia 4.18 - Entorno desobstruído da E. M. Radegundis Feitosa



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 4.19 - Entorno obstruído da E. M. Gov. Leonel Brizola



Fonte: registrada pela autora, 2011.

As escolas E. M. Afonso Pereira e Radegundis Feitosa estão dentre as mais desobstruídas enquanto que a Gov. Leonel Brizola é uma das mais obstruídas. A

comparação entre a escola mais obstruída e a menos obstruída, com mesma orientação permitiu quantificar o grau de influência do entorno na disponibilidade de luz natural dentro da sala de aula, um dos objetivos específicos dessa pesquisa.

Com relação aos acabamentos e detalhes construtivos utilizados nas edificações, as visitas às escolas permitiram identificar várias características, as quais são relacionadas a seguir.

As salas de aula das escolas, construídas segundo o projeto padrão, são todas localizadas no pavimento superior da edificação e a cobertura do prédio é feita com laje inclinada, cujo pé-direito é de 3,0m no ponto mais baixo e 5,0m no ponto mais alto. As salas possuem aberturas laterais posicionadas em paredes opostas. Essa solução, além de proporcionar ventilação cruzada e saída superior para o ar quente, gera um sistema de iluminação bilateral que distribui uniformemente a iluminação natural no ambiente (ver fotografia 4.20).

Fotografia 4.20 – Laje inclinada e aberturas opostas na sala de aula



Fonte: registrada pela autora, 2012.

As aberturas são bastante generosas. Considerando a fotografia 4.20, a abertura do lado esquerdo possui peitoril de 1,10m, comprimento de 7,05m, correspondente ao comprimento da sala de aula, e altura de 1,30m, totalizando uma área de $9,16\text{m}^2$, que representa 43,3% da área da parede. A esquadria é basculante metálica, pintada de tinta a óleo cinza claro, com divisões de aproximadamente $0,59\text{m} \times 0,19\text{m}$ e vidro incolor. A abertura lateral da direita, que funciona como um

clerestório, localiza-se a 4,15m de altura do chão e possui 0,50m de altura por 7,05m de comprimento, também correspondente ao comprimento da sala, totalizando 3,52m² da área da parede. Essa abertura não possui nenhum tipo de fechamento, como pode ser observado na fotografia 4.21.

Nas aberturas bilaterais existentes nas salas de aulas não foi encontrado nenhum tipo de elemento de controle interno da iluminação natural, nem fixo, nem móvel. Externamente, contudo, o beiral constitui-se em um importante elemento de controle, com dimensão em torno de 1,0 m de largura, posicionado ao longo de toda a extensão longitudinal do prédio (ver fotografia 4.22).

Fotografia 4.21 – Clerestório existente nas salas



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 4.22 – Detalhe do beiral das escolas



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Cada sala de aula possui uma porta de acesso que permite a ligação com a área de circulação da edificação. Esse espaço de circulação possui uma abertura zenital, que ilumina não apenas o pavimento superior, mas também o inferior (ver fotografia 4.23), e duas aberturas laterais, localizadas nas extremidades do eixo longitudinal da edificação (ver fotografia 4.24). No entanto, a área de circulação funciona apenas como um espaço de transição, não influencia na iluminação dentro da sala de aula, visto que durante o momento em que estão sendo ministradas as aulas, as portas das salas de aula permanecem fechadas.

Como observado anteriormente, a orientação predominante das aberturas é norte e sul, com pequenas variações; essa orientação favorece a redução de problemas como ofuscamento, luminosidade excessiva e incidência direta de raios solares dentro das salas de aula.

Fotografia 4.23 - Abertura zenital existente na área de circulação



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 4.24 – Abertura lateral na extremidade da área de circulação



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Com relação à iluminação artificial adotada nas salas de aula das escolas padrão, observou-se que é feita de forma geral e distribuída uniformemente ao longo de todo o ambiente. O sistema é constituído por duas fileiras com 3 luminárias, totalizando 6 luminárias. As luminárias são duplas, compostas por 2 lâmpadas fluorescentes de 40 W cada uma (ver fotografia 4.25). O sistema de iluminação por tarefa não foi utilizado. Não existe nenhum tipo de iluminação específica localizada nas proximidades do quadro nem em qualquer outro local. As salas de aula possuem 3 circuitos acionadores da iluminação artificial (1 para cada par de luminárias), que permitem o acionamento independente de cada par de luminária, reduzindo os gastos com energia elétrica (ver fotografia 4.26).

Fotografia 4.25 - Detalhe da iluminação artificial existente nas salas



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 4.26 - Detalhe do acionamento da iluminação artificial



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Quadro 4.1 - Materiais encontrados na escola padrão

Material/Objeto	Descrição	Material/Cor	Descrição
	Teto e paredes com acabamento em tinta pvc branca		Esquadria metálica do tipo basculante com acabamento em tinta a óleo cinza e vidro incolor
	Piso de granilite cinza		Parede com acabamento em pastilha cerâmica nas cores cinza e vermelho
	Quadro em fórmica branca		Carteiras em ferro e fibra na cor cinza
	Porta com acabamento em tinta a óleo cinza		Mesa do professor em ferro e fibra pintados na cor cinza
	Paredes externas da escola com acabamento em tinta pvc azul, vermelho, cinza e branco		Gramma; areia de praia; árvores e vegetação arbustiva
	Paredes externas do ginásio com acabamento em tinta pvc cinza, branco e amarelo; cobertura em telha metálica ondulada.		Ruas com pavimentação em paralelepípedos graníticos; ruas com pavimentação em concreto asfáltico
	Cobertura da escola em telha cerâmica tipo canal		Calçadas em piso cimentado

Fonte: elaborado com fotos registradas pela autora em 2011.

O coeficiente de reflexão das superfícies é uma das propriedades físicas imprescindíveis à realização da simulação computacional. Devem ser especificados

no momento da construção do modelo digital. Diante disso, foram levantados os materiais e as cores encontrados tanto dentro das salas de aula quanto fora da edificação de cada escola. Percebeu-se que, destarte pequenas variações em um complexo ou outro, as cores e os materiais encontrados nos acabamentos, no mobiliário, nos equipamentos, no paisagismo e no entorno se repetiam praticamente em todas as unidades educacionais. Os principais materiais encontrados foram, portanto, relacionados no quadro 4.1, com o intuito de facilitar a definição dos coeficientes de reflexão no momento da construção dos modelos digitais.

No que diz respeito à adequação da edificação construída com o uso proposto, pode-se dizer pela observação das atividades ali desenvolvidas, que o projeto padrão atende satisfatoriamente às funções requeridas por uma escola de nível fundamental e médio, visto que oferece salas de aulas, laboratórios, biblioteca, sala de vídeo, refeitório, etc. No entanto, com relação à iluminação natural dentro da sala de aula, só com a conclusão dessa pesquisa se poderá emitir um juízo de valor fundamentado nos resultados obtidos.

5 CONSTRUÇÃO DO MODELO

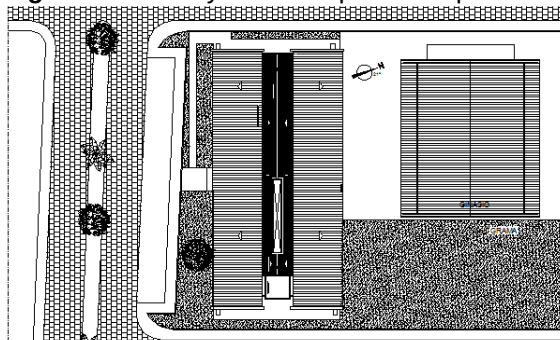
O conjunto de informações adquiridas na fase de caracterização da amostra e pesquisa de campo forneceu subsídios para a construção do modelo digital necessário à simulação da luz natural, que se iniciou com a construção da planta esquemática de cada complexo utilizando o programa Autocad 2012.

Imagem 5.1 – Anayde Beiriz: entorno real



Fonte: Google Earth, 2011.

Figura 5.1 – Anayde Beiriz: planta esquemática



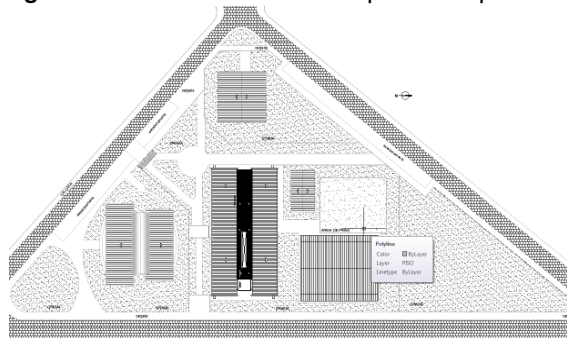
Fonte: elaborado pela autora.

Imagem 5.2 – Raimundo Nonato: entorno real



Fonte: Google Earth, 2011.

Figura 5.2 – Raimundo Nonato: planta esquemática



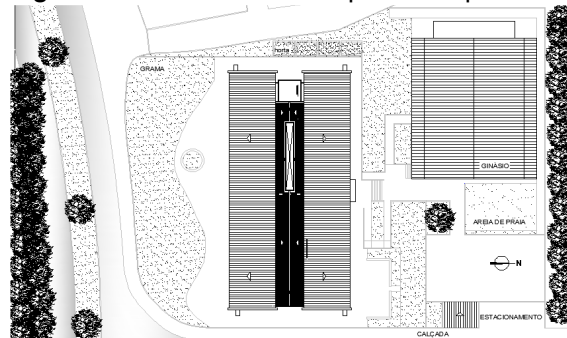
Fonte: elaborado pela autora.

Imagem 5.3 – Leonel Brizola: entorno real



Fonte: Google Earth, 2011.

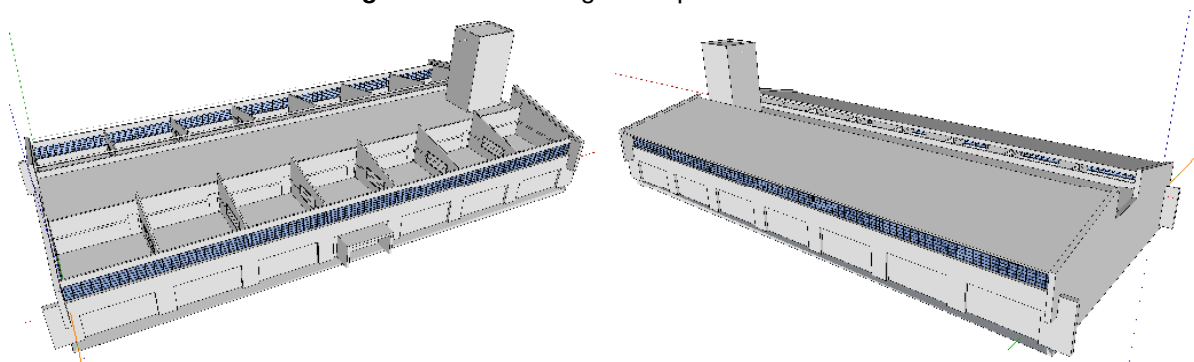
Figura 5.3 – Leonel Brizola: planta esquemática



Fonte: elaborado pela autora.

A elaboração das plantas esquemáticas foi feita da forma mais fidedigna à realidade possível, como se pode perceber ao se comparar as imagens 5.1, 5.2 e 5.3 com as respectivas figuras 5.1, 5.2 e 5.3. Em seguida, iniciou-se o processo de modelagem em 3D utilizando o Google Skechtup Pro v.8. Modelou-se primeiramente o prédio da escola padrão, detendo-se principalmente no andar superior, onde estão localizadas as salas de aula, e na parte externa do prédio (ver figura 5.4). O pavimento térreo não foi modelado internamente por não influenciar na iluminação dos objetos em estudo.

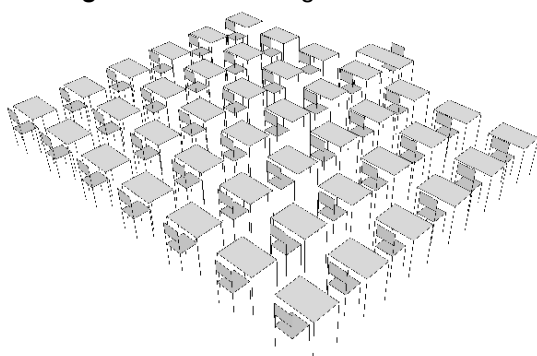
Figura 5.4 – Modelagem do prédio da escola



Fonte: elaborado pela autora.

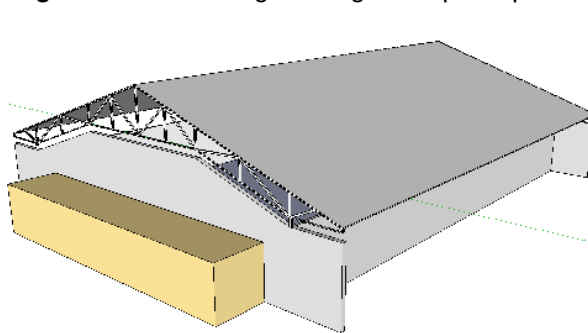
Em seguida, construiu-se o mobiliário básico das salas de aula, composto por 01 mesa com cadeira para o professor, 01 quadro branco e 40 carteiras com as respectivas cadeiras para os alunos. Esse mobiliário foi modelado de forma simplificada como podemos ver na figura 5.5 abaixo. Foram priorizadas as superfícies do encosto e assento das cadeiras e do tampo das mesas, posto que, muitos elementos no modelo sobrecarregam o arquivo, dificultando seu manuseio no momento da modelagem e no da simulação.

Figura 5.5 – Modelagem do mobiliário



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 5.6 – Modelagem do ginásio poliesportivo

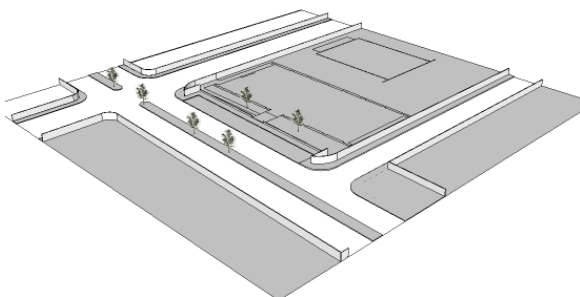


Fonte: elaborado pela autora.

O ginásio poliesportivo, elemento presente em todos os entornos das escolas em análise, também foi modelado em separado, como pode ser observado na figura 5.6. Com exceção de pequenos detalhes construtivos os ginásios possuíam praticamente o mesmo tamanho e a mesma forma.

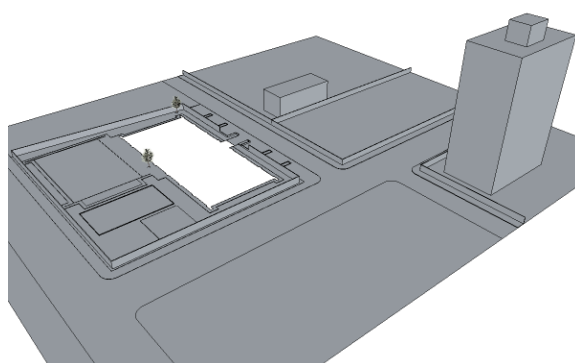
Finalizadas as modelagens dos prédios da escola e do ginásio, iniciou-se as modelagens dos entornos, como podemos ver nas figuras 5.7 a 5.10, priorizando-se os volumes significativos e a massa vegetal existentes nas proximidades.

Figura 5.7 – Anayde Beiriz: entorno modelado



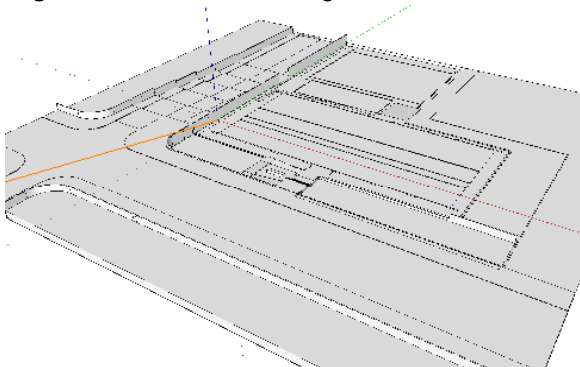
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 5.8 - Chico Xavier: entorno modelado



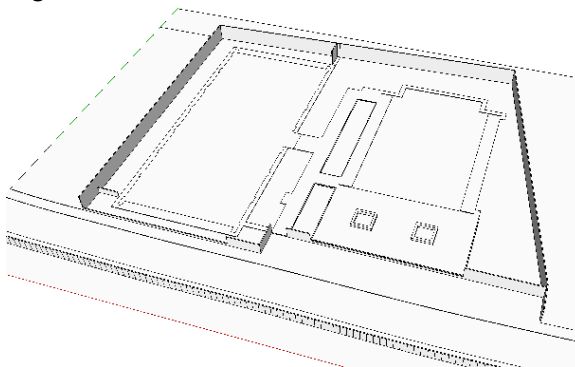
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 5.9 – Violeta Formiga: entorno modelado



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 5.10 – Afonso Pereira: entorno modelado



Fonte: elaborado pela autora.

Finalizadas as modelagens dos prédios e dos entornos, todos feitos separadamente, os complexos foram montados um a um. Em cada modelagem do entorno inseriu-se o prédio da escola, o ginásio, o mobiliário, a vegetação. Em seguida, as propriedades ópticas de cada material e cor foram atribuídos às superfícies, de acordo com o encontrado na pesquisa de campo, como pode ser observado a seguir.

Figura 5.11 – Modelo digital das escolas em análise

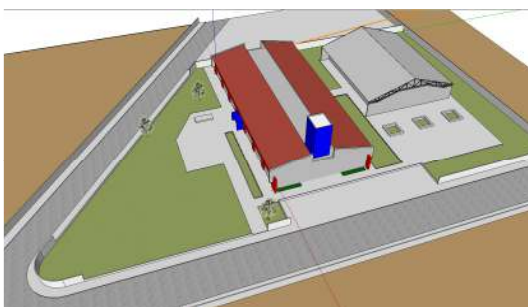
E.M. Afonso Pereira



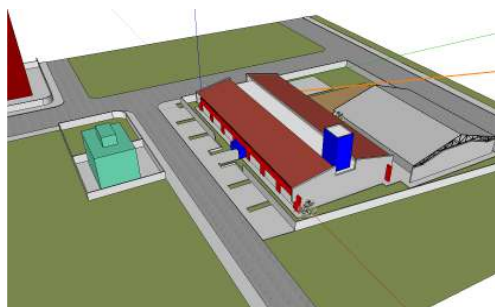
E.M. Anayde Beiriz



E.M. Celso Monteiro Furtado



E.M. Chico Xavier



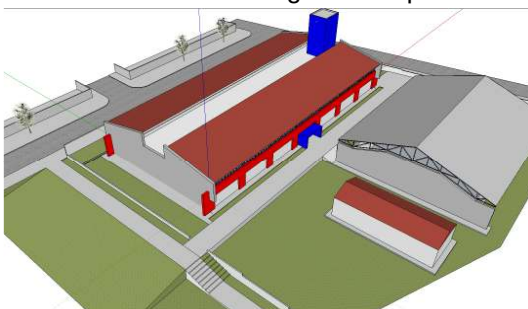
E.M. Francisco Pereira



E.M. Gov. Leonel Brizola



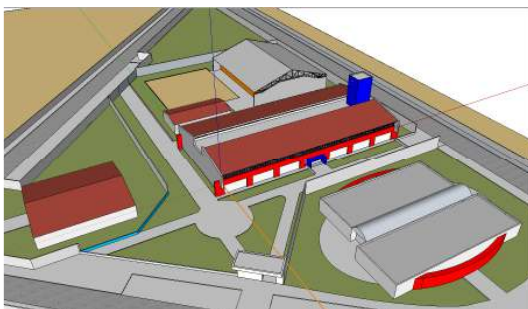
E.M. Luiz Augusto Crispim



E.M. Radegundis Feitosa



E.M. Raimundo Nonato Batista



E.M. Violeta Formiga



Fonte: elaborado pela autora.

Apesar das diferentes condições de implantação e de terrenos, os materiais e as cores se repetem em todas as escolas com pouquíssimas exceções, como é o caso da E.M. Violeta Formiga e da E.M. Leonel Brizola cujas paredes externas do prédio da escola são pintadas em amarelo e laranja, respectivamente, ao invés de vermelho como as demais. Grama, areia de praia, asfalto, calçamento, etc. estão presentes em praticamente todas as unidades.

Atribuiu-se a cada modelo, as cores observadas durante a pesquisa de campo. Para a correta identificação das cores e respectivos coeficientes de reflexão, utilizou-se o cartão de cores do Lighting Guide 11: Surface reflectance and colour (2001). As cores e os materiais encontrados nas escolas foram relacionados aos respectivos coeficientes de reflexão, como pode ser observado no quadro 5.1 abaixo:

Quadro 5.1 – Cores, materiais e coeficientes utilizados no modelo digital

	Cor/material	Local encontrado	Coeficiente de reflexão
Materiais comuns a todas às escolas	vermelho	paredes externas	0,25
	azul escuro	entrada e caixa d'água	0,26
	branco	paredes internas e externas, mobiliário, muros	0,81
	cinza claro	paredes internas, mobiliário	0,77
	cinza médio	portas, piso, calçadas	0,65
	cinza escuro	paredes externas, paredes ginásio	0,36
	amarelo	paredes ginásio	0,54
	grama	paisagismo	0,57
	areia de praia	playground	0,60
	asfalto/calçamento	ruas e avenidas	0,24
	arvores	paisagismo	0,32 e 0,50
	metal corrugado	telhado ginásio	0,76
	metal alumínio	treliças e janelas	0,82
	vidro transparente	janelas	0,91
Leonel Brizola	laranja	paredes externas	0,56
	cinza muito escuro	calçadas	0,15
	azul claro	prédio alto do entorno	0,37
Chico Xavier	vinho	prédio do entorno	0,19
	azul cyan	prédio do entorno	0,64
Raimundo Nonato	laranja escuro	parede ginásio	0,49
	azul médio	muro	0,37
Violeta Formiga	amarelo claro	paredes externas	0,72
Fonte: elaborado pela autora.			

6 MEDIÇÕES DA LUZ NATURAL EM ESCOLAS

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos com as medições *in loco* realizadas em duas escolas, a E.M. Gov. Leonel Brizola, com o entorno aparentemente mais obstruído, e a E.M. Prof. Afonso Pereira, com o entorno menos obstruído. A E.M. Raimundo Nonato Batista, apesar de possuir a mesma orientação que as outras duas escolas, foi descartada por aparentar uma situação de entorno intermediária. Surgiu, portanto, a necessidade de se quantificar essa aparente diferença nos graus de obstrução entre os entornos das duas escolas e correlacioná-la com a disponibilidade de luz natural no interior das salas de aula.

6.1 Análise e caracterização da obstrução do entorno

O processo de análise e caracterização do entorno passou por duas etapas. Inicialmente, na tentativa de se calcular o Fator de Céu Visível (FCV), foram registradas fotografias do céu, com o observador posicionado no teto da escola. Utilizou-se nessa etapa uma câmera digital Samsung acoplada a uma lente de "olho mágico", da marca Timmer. No entanto, esse procedimento se mostrou inviável em função da dificuldade de acesso físico ao telhado das escolas em análise, sobretudo na E.M. Prof. Afonso Pereira cujo acesso foi considerado impraticável em virtude dos riscos oferecidos. Além disso, as fotos registradas na E.M. Gov. Leonel Brizola, cujo telhado se mostrou mais acessível, não foram satisfatórias, por não corresponderem à obstrução percebida visualmente no entorno. (ver fotografia 6.1). Outra tentativa foi realizada a partir da janela da sala de aula, com a máquina direcionada para o céu, mas também não apresentou bons resultados em função da dimensão do beiral (ver fotografia 6.2).

A caracterização das diferenças de obstrução nos entornos só se tornou mais evidente com a aquisição de um novo equipamento: uma lente grande angular 8mm F3.5 "olho de peixe" CS, acoplada a uma câmera fotográfica Nikon. Essa lente, cuja abertura é maior do que a da máquina que se vinha utilizando, permitiu captar de forma mais evidente as obstruções existentes. Na primeira sequência, foram registradas fotos com o observador posicionado de costas, no ponto central de cada uma das fachadas das escolas e com a máquina direcionada à frente; na segunda

seqüência, as fotos foram registradas com o observador na mesma posição da primeira, mas com a máquina direcionada para o céu.

Fotografia 6.1 – Céu visível do teto da E.M. Leonel Brizola



Fonte: registrada pela autora, 2011.

Fotografia 6.2 – Céu visível da janela da E.M. Afonso Pereira



Fonte: registrada pela autora, 2011.

É oportuno salientar que, com o intuito de minimizar as diferenças de iluminação natural entre as fotos das duas escolas, estas foram registradas no mesmo dia, sem flash e com intervalo de tempo aproximado de 35 minutos entre uma escola e outra. Na E.M. Prof. Afonso Pereira as fotos foram tiradas por volta de 15h40min e na E.M. Gov. Leonel Brizola por volta de 16h19min.

As fotos foram relacionadas em dois quadros comparativos. No primeiro deles, o quadro 6.1, foram agrupadas aquelas registradas com a máquina fotográfica direcionada à frente. No segundo, o quadro 6.2, as registradas com a máquina direcionada ao céu. Em ambos os quadros, na coluna da esquerda foram agrupadas as fotos da E.M. Prof. Afonso Pereira e na da direita as da E.M. Gov. Leonel Brizola. Na primeira linha, foram relacionadas as fotos registradas a partir da fachada norte, na segunda linha, as fotos registradas a partir da fachada leste, em seguida as da fachada sul e, por fim, as da fachada oeste. Comparando as fotos das duas escolas, registradas com a máquina direcionada à frente, relacionadas no quadro 6.1, percebe-se que as fachadas norte e oeste da E.M. Prof. Afonso Pereira (coluna da esquerda) encontram-se bem iluminadas pela luz natural, enquanto as respectivas fachadas da E.M. Gov. Leonel Brizola (coluna da direita) encontram-se na sombra.

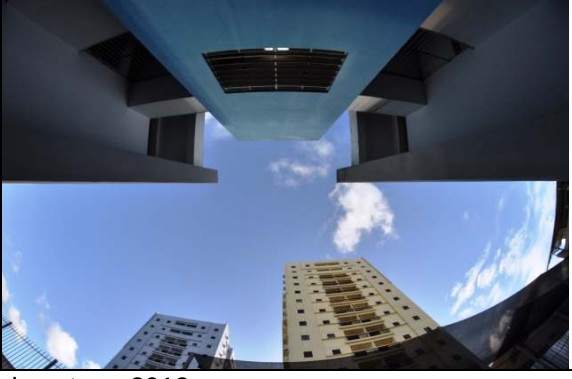
Esse fato pode ser atribuído tanto à proximidade das edificações do entorno, como ao fato da escola se encontrar num plano mais baixo que o seu entorno.

Quadro 6.1 – Fotos tiradas com máquina direcionada à frente

	Escola Municipal Prof. Afonso Pereira	Escola Municipal Gov. Leonel Brizola
A partir da fachada norte:		
A partir da fachada leste:		
A partir da fachada sul:		
A partir da fachada oeste:		

Fonte: registradas pela autora, 2012.

Quadro 6.2 – Fotos tiradas com máquina direcionada ao céu

	Escola Municipal Prof. Afonso Pereira	Escola Municipal Gov. Leonel Brizola
À frente da fachada norte:		
À frente da fachada leste:		
À frente da fachada sul:		
À frente da fachada oeste:		

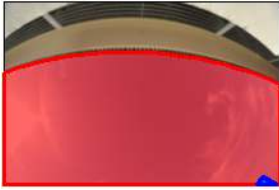
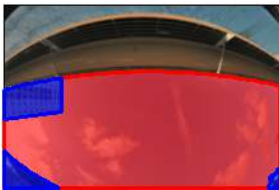
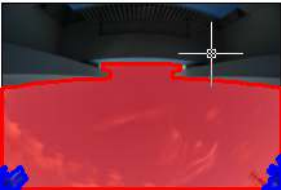
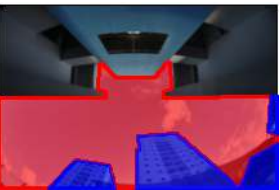
Fonte: registradas pela autora, 2012.

As fotos registradas a partir das fachadas leste e sul das duas escolas demonstram situações de sombreamento diferenciadas. Enquanto na E.M. Prof. Afonso Pereira a sombra projetada no chão é nitidamente referente aos contornos

do prédio da escola, na E.M. Gov. Leonel Brizola a projeção é maior e não se consegue identificar os contornos da edificação, sugerindo que os prédios posicionados na lateral oeste da escola sejam os responsáveis por esse sombreamento. As fotos evidenciam também que, além da E.M. Gov. Leonel Brizola possuir um adensamento maior de construções ao seu redor, esse é composto por prédios de grande porte, posicionados bem próximos ao prédio da escola, o que não é observado na E.M. Prof. Afonso Pereira.

Analizando visualmente o quadro 6.2, onde estão relacionadas as fotos das escolas registradas com a máquina direcionada ao céu, percebe-se que nas fotos da E.M. Prof. Afonso Pereira (coluna da esquerda), registradas a partir das fachadas leste, sul e oeste, não aparece nenhuma edificação obstruindo o céu, além do próprio prédio da escola. Na fachada norte percebe-se uma pequena obstrução referente ao ginásio poliesportivo. Já nas fotos da E.M. Gov. Leonel Brizola (coluna da direita), nas quatro fachadas aparecem edificações obstruindo o céu. O céu menos obstruído é visto a partir da fachada leste e o mais obstruído, a partir da fachada oeste, onde se percebe a presença de dois prédios de grande porte, com cerca de 12 andares cada um, que além de possuírem altura em torno de 30 metros, estão situados num plano mais elevado do que o do prédio da escola. Para facilitar a percepção visual dessas obstruções, tendo por base as fotos relacionadas no quadro 6.2, delimitou-se em vermelho a área correspondente ao céu visível e em azul as áreas correspondentes às obstruções do céu, conforme quadro 6.3.

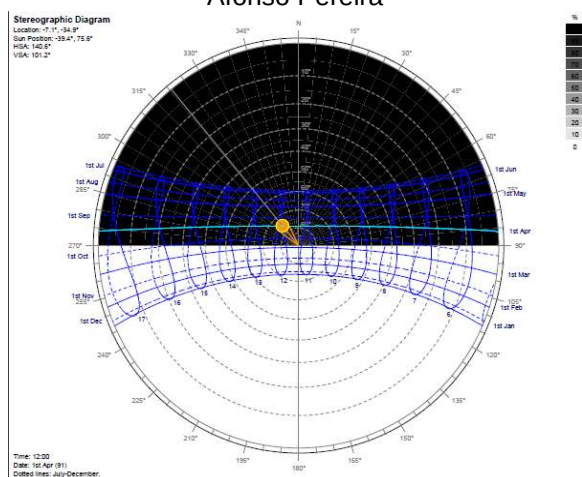
Quadro 6.3 - Céu visível e obstruído das escolas A. Pereira e L. Brizola

	Fachada Norte	Fachada Leste	Fachada Sul	Fachada Oeste
Afonso Pereira				
Leonel Brizola				
Legenda:  - área de céu visível  - área de céu obstruída				
Fonte: elaborado pela autora.				

Esse método empírico permitiu perceber mais claramente as obstruções encontradas no entorno das escolas, indicando a E.M. Gov. Leonel Brizola como mais obstruída do que a E.M. Afonso Pereira.

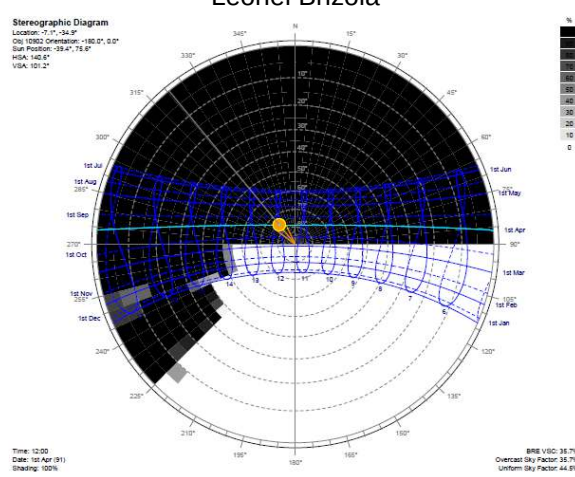
Além desse método utilizou-se o programa Ecotec Analysis para construção do diagrama estereográfico de cada uma das duas escolas. Tal procedimento, realizado com os modelos digitais das escolas permitiu quantificar o grau de obstrução encontrado no entorno de cada uma delas, revelando a E. M. Brizola com um entorno 35,7% mais obstruído do que a E. M. Afonso Pereira.

Figura 6.1 – Diagrama estereográfico da E.M. Afonso Pereira



Fonte: elaborado pela autora, 2012.

Figura 6.2 – Diagrama estereográfico da E.M. Leonel Brizola



Fonte: elaborado pela autora, 2012.

Em seguida, tiveram início as medições *in loco*, cujos resultados são apresentados a seguir.

6.2 Medições da iluminância

As medições de iluminância foram realizadas das 07h00min da manhã às 17h00min da tarde, coincidindo com o início e o término das aulas, sem a presença de alunos, portanto, em finais de semana e eventuais feriados. Isso resultou em 5 dias de medições realizadas em intervalos de 5 minutos entre uma leitura e outra. É oportuno ressaltar que nos dias 03/09 e 10/09, devido à atividades extra realizadas nas escolas, as leituras não puderam ser feitas das 07h00min às 17h00min, conforme previsto (ver quadro 6.4).

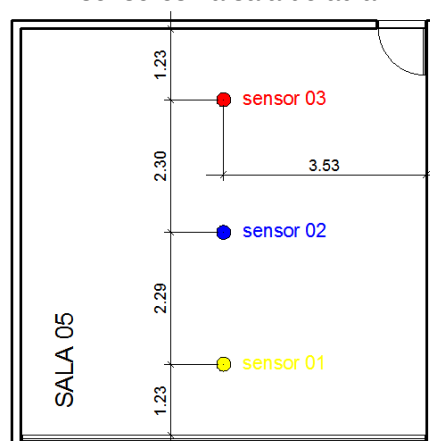
Quadro 6.4 - Data e horário das medições *in loco*

Data	Hora
03/09/11	De 12h25minàs17h00min
04/09/11	De 07h05minàs17h00min
05/09/11	De 07h05minàs17h00min
10/09/11	De 11h50minàs17h00min
11/09/11	De 07h05minàs17h00min

Fonte: elaborado pela autora.

Em virtude da disponibilidade de apenas dois conjuntos de equipamentos de medição, como visto anteriormente, um conjunto foi posicionado na sala 05 da E.M. Gov. Leonel Brizola e outro na sala correspondente da E.M. Prof. Afonso Pereira. O critério de escolha da sala foi o de garantia de segurança dos equipamentos ali colocados. Os sensores foram instalados na mesma posição nas duas escolas, conforme figura 6.3.

Figura 6.3 – Posicionamento dos sensores na sala de aula.



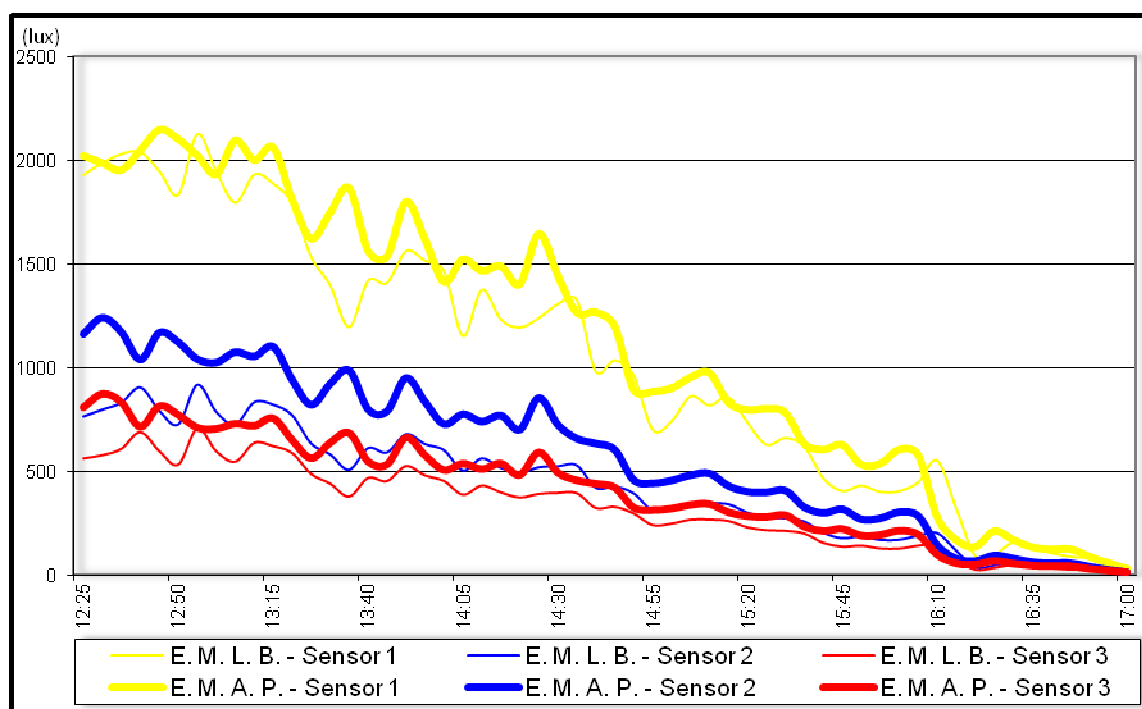
Fonte: elaborado pela autora.

Os dados obtidos com as medições resultaram em 1437 observações por escola, sendo 479 observações por sensor. Esses dados receberam tratamento gráfico e foram agrupados conforme a data da medição. Os gráficos (ver gráficos 6.1 a 6.5) referem-se, portanto, a cada um dos dias de medição. Neles foram agrupados os dados dos 03 sensores posicionados em cada uma das escolas e também a condição predominante de céu observada para aquele dia. Isso possibilitou comparar os dados entre as escolas, sensor por sensor. Os sensores foram identificados com uma cor de acordo com a figura 6.3. O sensor 01, posicionado mais próximo à abertura lateral recebeu a cor amarela. O sensor 02, posicionado no

centro da sala, recebeu a cor azul e o sensor 03, posicionado mais longe da janela e mais próximo da abertura zenital recebeu a cor vermelha. Como em cada gráfico são comparados os dados dos sensores das duas escolas por dia de medição, a diferenciação entre as escolas foi feita através da espessura das linhas. Os sensores da E. M. Gov. Leonel Brizola são representados com a espessura mais fina e os da E. M. Prof. Afonso Pereira com a espessura mais grossa. Além disso, a E. M. Gov. Leonel Brizola é identificada pela sigla E.M.L.B. e a E. M. Prof. Afonso Pereira pela sigla E.M.A.P.

Observando-se os gráficos percebe-se que os dados referentes aos sensores pintados em amarelo possuem valores maiores que os demais. Isso se dá em função desses sensores estarem posicionados mais próximo da abertura lateral da sala. Por outro lado, o sensores pintados em vermelho possuem os menores valores em lux, em função de estarem posicionados no ponto mais distante da abertura lateral da sala de aula.

Gráfico 6.1 - Dados obtidos nas medições *in loco*: dia 03/09/11



Condição predominante de céu observada: **céu claro**

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 6.2 - Dados obtidos nas medições *in loco*: dia 04/09/11

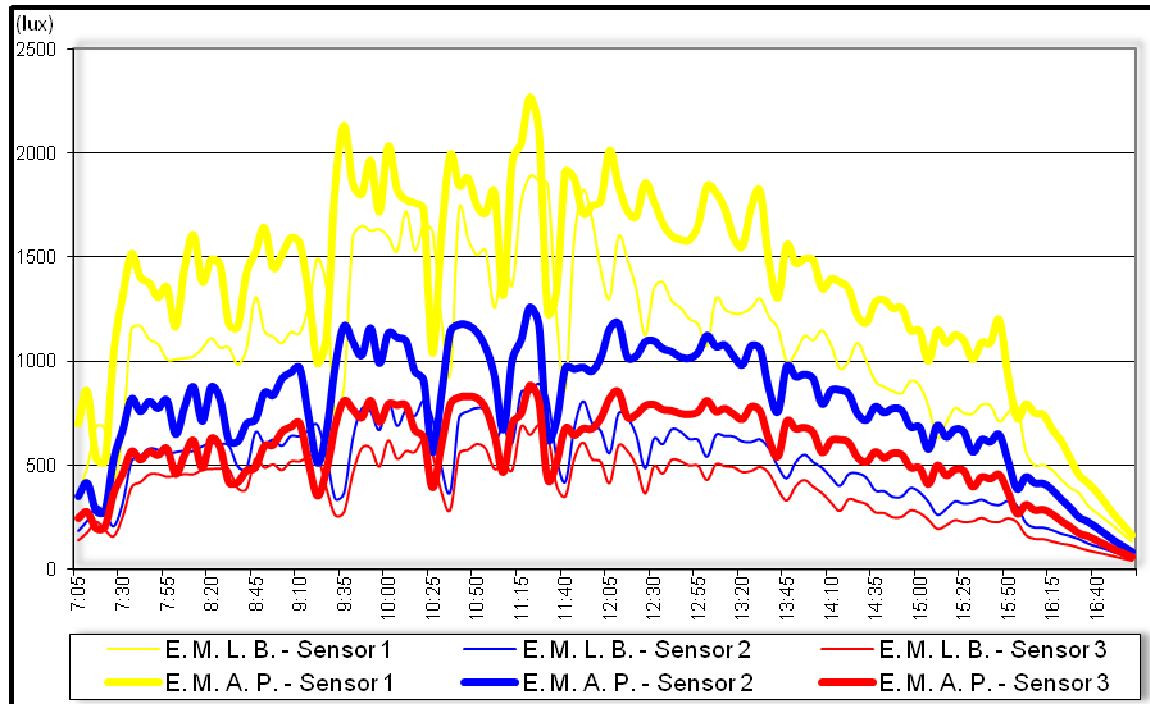


Gráfico 6.3 - Dados obtidos nas medições *in loco*: dia 05/09/11

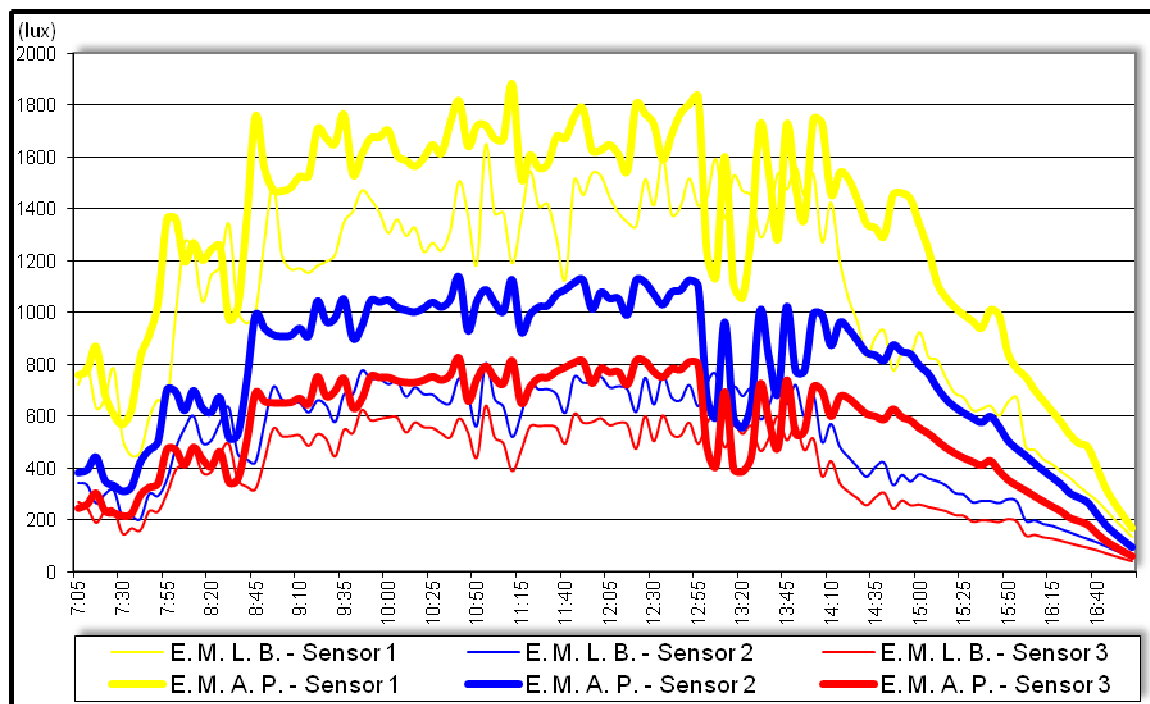


Gráfico 6.4 - Dados obtidos nas medições *in loco*: dia 10/09/11

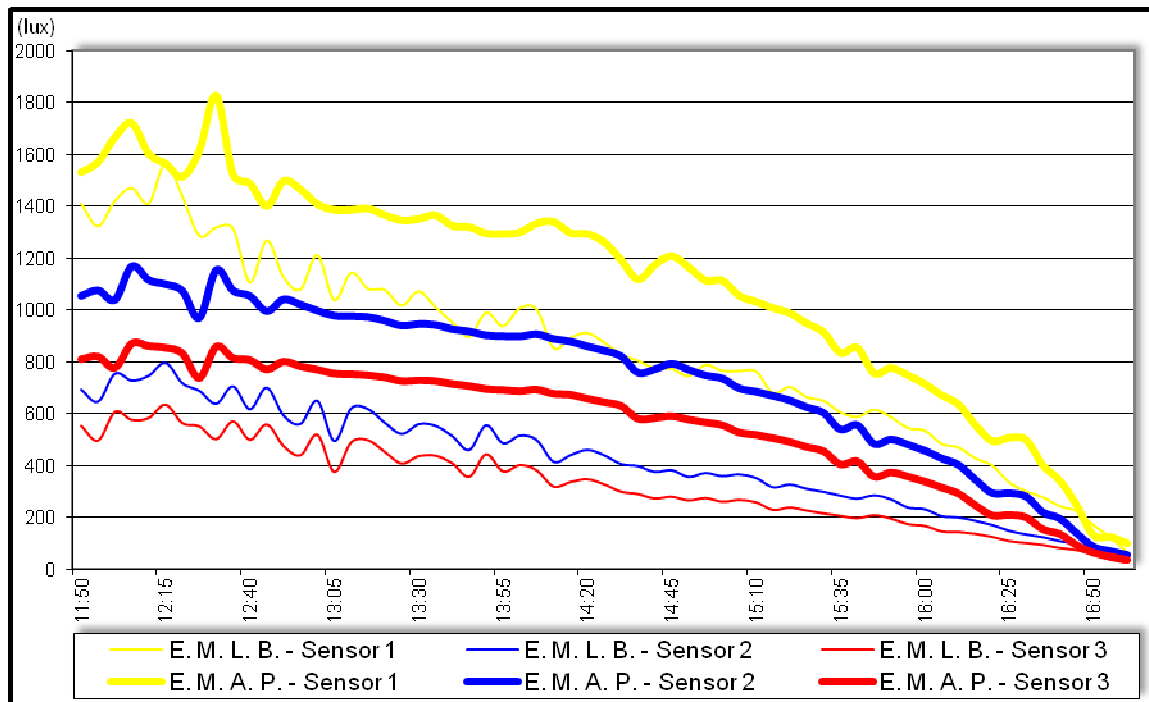
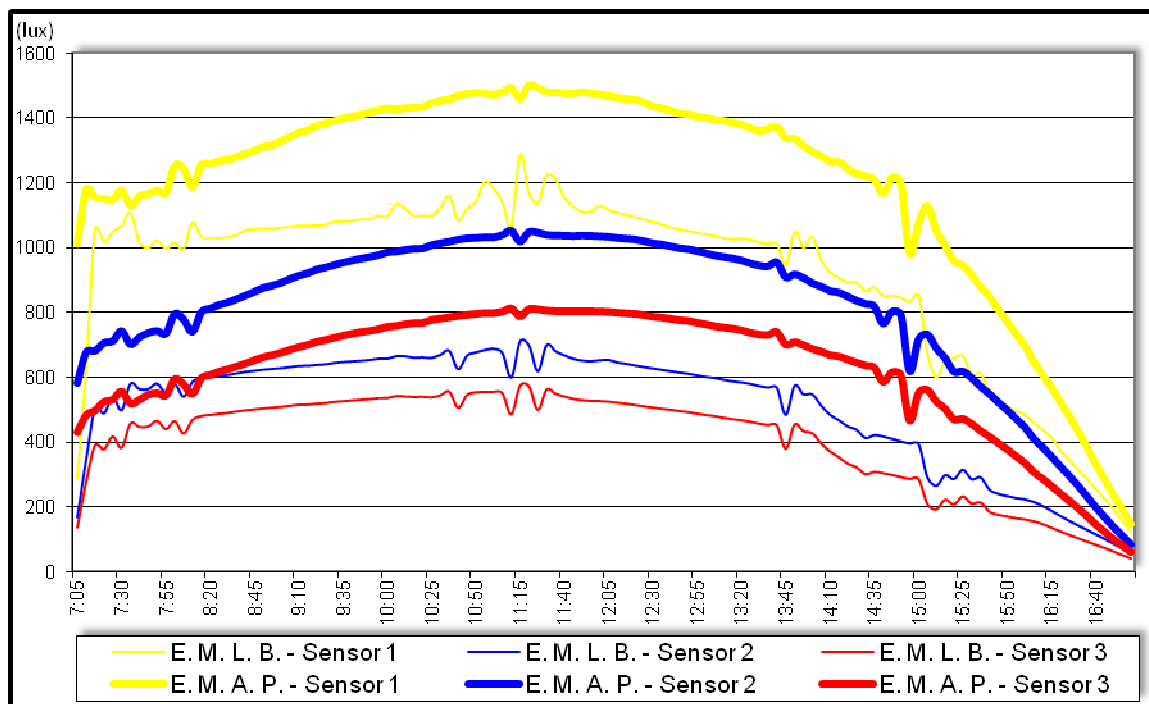


Gráfico 6.5 - Dados obtidos nas medições *in loco*: dia 11/09/11



Analisando os gráficos com os resultados dos cinco dias de medições, pode-se perceber que a E.M. Prof. Afonso Pereira apresenta sempre nos três sensores valores de iluminância superiores aos apresentados pela E.M. Gov. Leonel Brizola. Essa situação se repete durante todo o dia, nos 05 dias de medições. Em alguns casos esse valores são tão superiores, que o sensor 3 (o mais distante da abertura lateral da sala, ver figura 6.3) da E. M. Afonso Pereira possui valores mais elevados que o sensor 2 da E.M. Leonel Brizola, que supostamente deveria apresentar valores superiores por estar posicionado mais próximo à abertura lateral da sala de aula. No entanto, isso não ocorreu em nenhum dia de medição o que pode ser atribuído aos diferentes graus de obstrução do entorno existente entre as escolas.

Em média, a iluminância captada pelo sensor 01 (pintado em amarelo grosso) da E.M. Prof. Afonso Pereira é 19% maior que àquela registrada pelo mesmo sensor da E.M. Gov. Leonel Brizola (pintado em amarelo fino). No sensor 2, a diferença entre as duas escolas em análise é ainda maior: 36%. No sensor 3, a diferença média entre as duas escolas é similar àquela do sensor 1, ou seja, a Afonso Pereira é 18% maior do que a Leonel Brizola.

Em paralelo às medições da luz natural realizadas no interior das salas de aula, foram conduzidas também medições da luz natural em ambiente externo desobstruído para verificar as condições de céu. A cada 1 hora, durante os cinco dias de medições realizadas no interior das salas de aula, os valores da iluminância externa ao ar livre foram captados e anotados com o auxílio de um luxímetro. Essas medições tiveram o intuito de identificar a predominância do tipo de céu e caracterizar a qualidade da amostra nesses dias. Os resultados estão apresentados no quadro 6.5, a seguir.

Quadro 6.5 – Medições da iluminância externa (lux*100)

Data	07h00min	08h00min	09h00min	10h00min	11h00min	12h00min	13h00min	14h00min	15h00min	16h00min	17h00min	Observação da condição de céu predominante
03/09/11	267	560	761	1032	1002	977	984	475	233	122	15	claro
04/09/11	158	893	987	1052	480	527	986	856	490	112	13	parcialmente encoberto
05/09/11	158	374	939	1031	1042	1050	574	969	573	114	18	parcialmente encoberto
10/09/11	690	556	423	694	966	1075	1053	933	148	091	12	parcialmente encoberto
11/09/11	147	610	943	1023	1042	956	931	796	361	125	18	claro
Legenda:  - céu claro  - céu encoberto												

Fonte: Elaborado pela autora

Pode-se observar pelo quadro 6.5, que os dias 03 e 11/09 apresentaram valores de iluminância mais elevados e estáveis onde os valores medidos aumentam e diminuem gradativamente, sem quedas bruscas, caracterizando uma condição de céu predominantemente claro. Já nos dias 04, 05 e 10/09, observam-se quedas bruscas nos valores da iluminância, característicos de aumentos de nebulosidade, indicando uma condição predominante de céu parcialmente encoberto. Ainda com o mesmo intuito, foram obtidos os dados da radiação solar incidentes sobre a cidade de João Pessoa, referentes ao mesmo período das medições realizadas nas escolas (ver quadro 6.6).

Quadro 6.6 – Radiação total global no plano horizontal: João Pessoa /PB (kJ/m²)

Data	07h00min	08h00min	09h00min	10h00min	11h00min	12h00min	13h00min	14h00min	15h00min	16h00min	17h00min	Observação da condição de céu predominante
03/09/11	698.5	1575	2283	2970	3047	2896	2889	1940	1388	677.7	162.9	claro
04/09/11	442.1	1151	2219	2446	2998	2426	2934	2587	2006	1208	352	parcialmente encoberto
05/09/11	555.6	823.7	1702	2837	3315	3349	2660	2713	1772	1122	467.9	parcialmente encoberto
10/09/11	812.9	1578	1709	1893	3040	3380	3001	2766	2151	1317	349.6	parcialmente encoberto
11/09/11	282.5	1587	2492	3093	3448	3445	3378	2882	2125	1178	448.7	claro
Legenda:  - queda atípica												

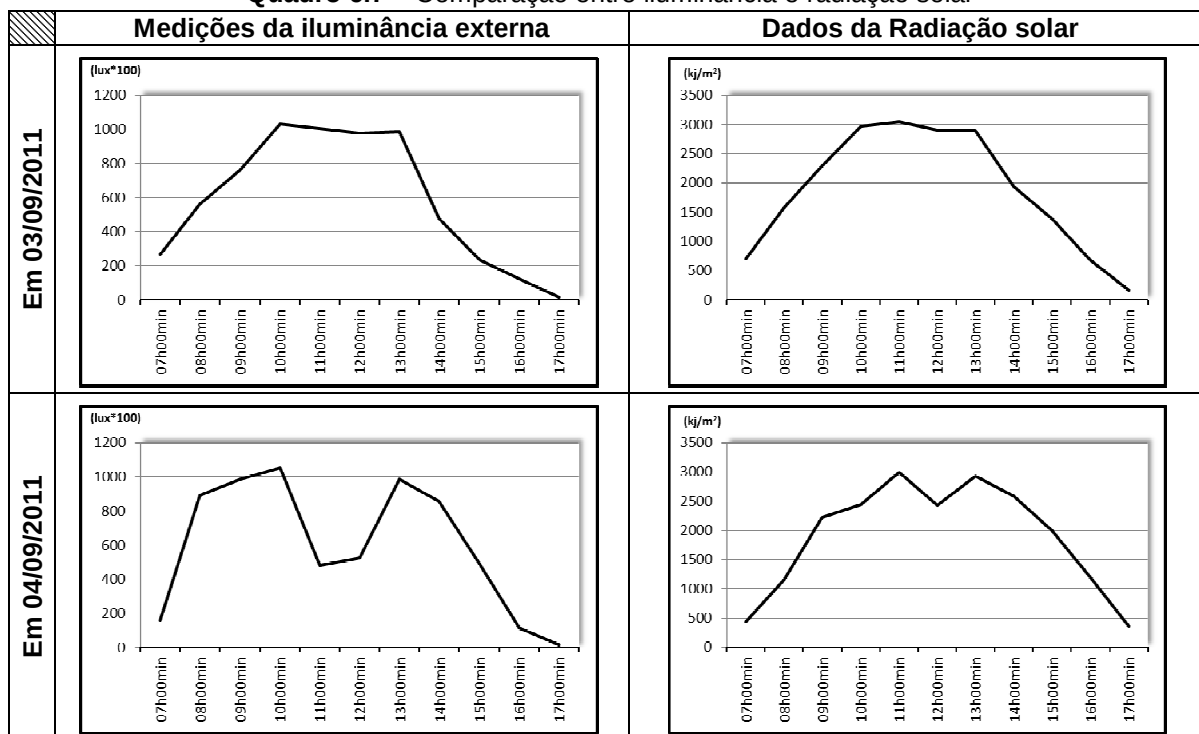
Fonte: Elaborado pela autora

A transformação dos dados dos quadros 6.5 e 6.6 em gráficos e a comparação entre os mesmos permitiu observar que em alguns momentos os valores de radiação (quadro 6.6) se comportam de forma semelhante aos valores da medição da iluminância externa (quadro 6.5), obtidos para os mesmos dias.

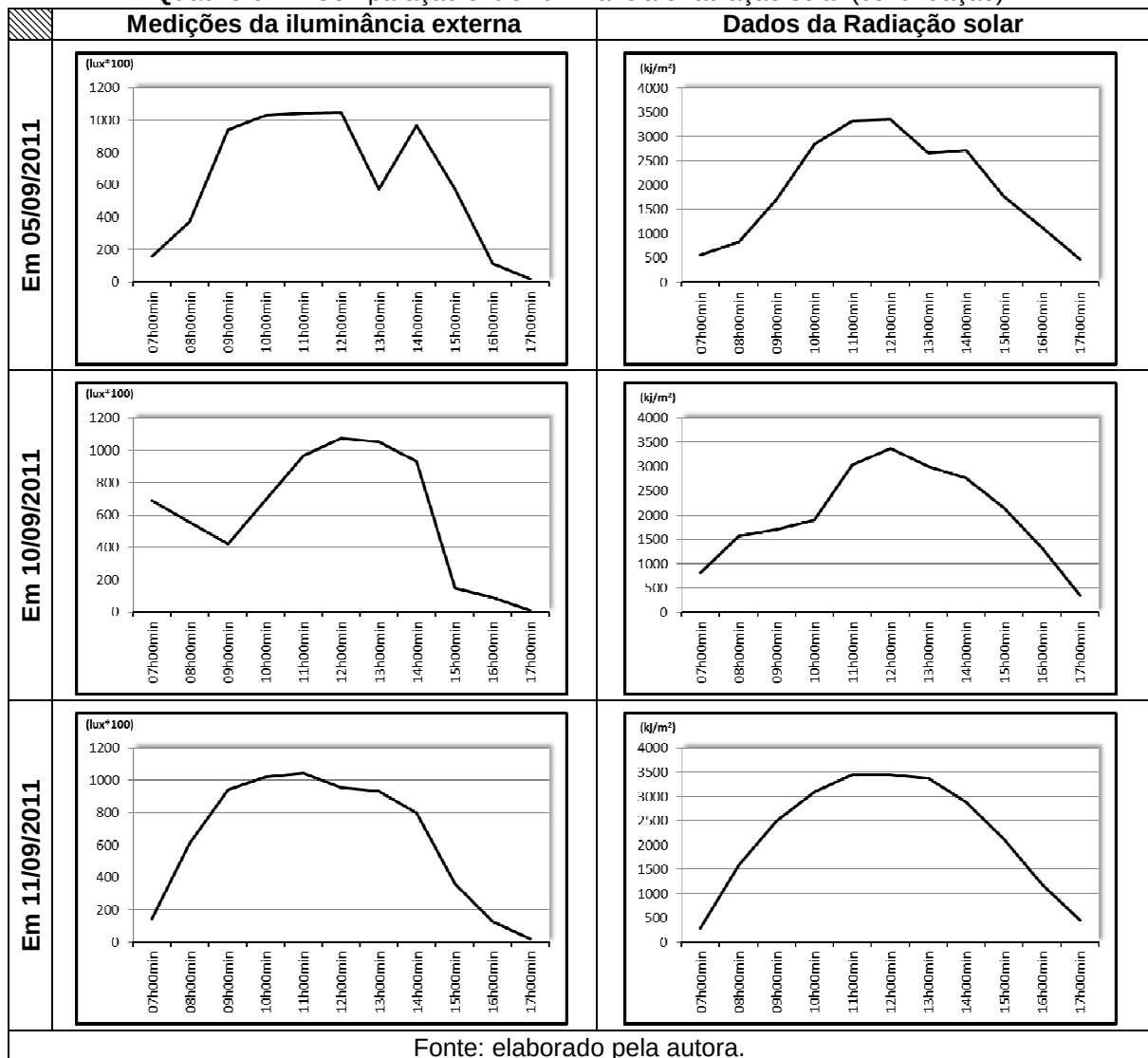
No quadro comparativo 6.7, onde as linhas se referem aos dias de medição e as colunas aos dados da iluminância externa (à esquerda) e da radiação solar (à direita), essa relação pode ser melhor visualizada. Ao se comparar os gráficos relacionados na mesma linha, ou seja, referentes ao mesmo dia de medição, percebe-se uma relação de semelhança entre eles, visivelmente mais acentuada nos dias 03 e 11/09/2011. É importante destacar que em questões de segundos as condições de iluminância externa medidas podem se alterar em razão da nebulosidade do céu. Como as medições dos quadros 6.5 e 6.6 não foram registradas de forma sincronizada podem existir lapsos de tempo entre o registro de uma informação e outra, o que pode explicar algumas discrepâncias percebidas entre os dados, como é o caso dos gráficos dos dias 04, 05 e 10/09/2011.

A coleta dos dados da radiação total global no plano horizontal para a cidade de João Pessoa, referente aos dias das medições *in loco*, foi obtida no site do INMET e teve a intenção de embasar e de certa forma ratificar as condições de céu observadas nas medições realizadas ao ar livre com o luxímetro, que por sua vez foram realizadas com o intuito de caracterizar a qualidade da amostra. Como o objetivo inicial das medições *in loco* era poder comparar as amostras obtidas com as simulações computacionais e através dessa comparação, adequar o modelo digital à realidade existente, era necessário que as amostras das medições *in loco* fossem obtidas com condições variadas de tipos de céu, pois estas seriam comparadas com as simulações computacionais que se utilizam de arquivos climáticos reais que consideram os tipos de céu para um ano inteiro. Portanto, apesar das medições *in loco* terem sido realizadas em apenas cinco dias, neles foram observadas condições variadas de tipos de céu, como pode ser percebido pelos dados obtidos no quadro 6.5 e 6.6, permitindo a realização de uma comparação mais adequada dos dados das medições com os das simulações computacionais.

Quadro 6.7 – Comparação entre iluminância e radiação solar



Quadro 6.7 – Comparação entre iluminância e radiação solar (continuação)



6.3 Simulação computacional

Prosseguindo com a análise da influência da obstrução do entorno, realizou-se a simulação computacional da iluminação natural nas escolas em estudo, repetindo-se as mesmas condições das medições *in loco*. Para isso, utilizou-se os modelos tridimensionais criados para as escolas Prof. Afonso Pereira e Gov. Leonel Brizola. A simulação da luz natural foi, portanto, realizada na sala 05 de cada uma delas, com 03 sensores posicionados da mesma forma que os sensores das medições *in loco*, ou seja, o sensor 1 mais próximo à janela, o sensor 3 mais distante e o sensor 2 posicionado entre o 1 e o 3, conforme figura 6.3, vista anteriormente. Os resultados estão expostos a seguir, relacionados da seguinte

forma: na tabela 6.1, os dados da E.M. Prof. Afonso Pereira e na 6.2, os da E.M. Gov. Leonel Brizola.

Tabela 6.1 - E. M. Afonso Pereira: simulação computacional com 3 sensores

	ALN [%]	INU<100 [%]	INU 100-2000 [%]	INU >2000 [%]
Sensor 1	96	0	53	47
Sensor 2	85	1	99	0
Sensor 3	79	1	99	0

Legenda: ALN – Autonomia da Luz Natural; INU – Iluminação Natural Útil

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 6.2 - E. M. Leonel Brizola: simulação computacional com 3 sensores

	ALN [%]	INU<100 [%]	INU 100-2000 [%]	INU >2000 [%]
Sensor 1	94	0	80	19
Sensor 2	76	1	99	0
Sensor 3	64	2	98	0

Legenda: ALN – Autonomia da Luz Natural; INU – Iluminação Natural Útil

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando os dados do parâmetro INU, obtidos com as simulações das duas escolas, observa-se que no caso da E.M. Afonso Pereira, uma média de 84% dos valores obtidos para a iluminação natural encontra-se dentro da faixa entre 100 e 2.000lux, enquanto que na E.M. Gov. Leonel Brizola esse percentual é de 92%. Na faixa de valores de INU maiores do que 2.000 lux, a E.M. Afonso Pereira apresenta uma média de 16% de ocorrência enquanto a Leonel Brizola apenas 6%. A grande quantidade de valores na faixa acima de 2.000lux indica a possível existência de ofuscamento dentro da sala de aula. Com relação ao parâmetro ALN que indica à capacidade do ambiente em possibilitar a realização de tarefas apenas com a luz natural, a E.M. Afonso Pereira apresentou 87% de autonomia, enquanto a E.M. Leonel Brizola apenas 78%, o que não deixa de ser um resultado satisfatório, considerando que acima de 50% de autonomia, o ambiente já pode ser considerado naturalmente iluminado.

A simulação computacional, reproduzindo as condições das medições *in loco*, possibilitou a comparação entre os valores registrados nas medições e aqueles resultantes da simulação computacional. A comparação entre o INU das medições e o das simulações das escolas Afonso Pereira e Leonel Brizola é apresentada nas tabelas 6.3 e 6.4, respectivamente. Vale salientar que diferenças entre os resultados da simulação e da medição já eram esperadas, visto que o arquivo climático requisitado pela simulação computacional leva em consideração as condições de

céu de um ano inteiro, enquanto os dados da medição referem-se à um intervalo de apenas 5 dias. Por outro lado, nesses 5 dias de medições, a variabilidade das condições de céu identificada permitiu a coleta de uma amostra da luz natural na salas de aula bastante consistente. No entanto, destaca-se que nesses 5 dias de medição, o movimento de translação da Terra, definidor das estações do ano, não pode ser considerado de forma satisfatória na amostra coletada, posto que os cinco dias de medições foram todos realizados no mês de setembro, praticamente em dias seguidos. Em função disso, algumas discrepâncias entre as medições e as simulações puderam ser observadas, como veremos a seguir:

Tabela 6.3 - E.M. Afonso Pereira: medição e simulação com 3 sensores

	sensor 1		sensor 2		sensor 3	
	medição	simulação	medição	simulação	medição	simulação
INU_{<100}lux [%]	0,6	0,0	3,3	1,0	4,6	1,0
INU₁₀₀₋₂₀₀₀lux [%]	96,5	53,0	96,7	99,0	95,4	99
INU_{>2000}lux [%]	2,9	47,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 6.4 - E.M. Leonel Brizola: medição e simulação com 3 sensores

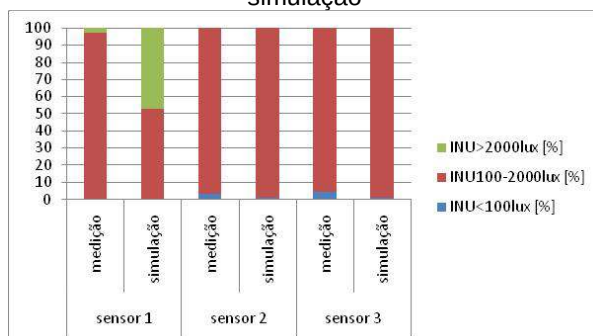
	sensor 1		sensor 2		sensor 3	
	medição	simulação	medição	simulação	medição	simulação
INU_{<100}lux [%]	1,5	0,0	4,8	1,0	7,1	2,0
INU₁₀₀₋₂₀₀₀lux [%]	97,9	80,0	95,2	99,0	92,9	98,0
INU_{>2000}lux [%]	0,6	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: elaborado pela autora.

Analizando as tabelas comparativas 6.3 e 6.4, referentes respectivamente às escolas Afonso Pereira e Leonel Brizola, percebe-se que o percentual de valores dentro das três faixas de iluminância se comportam de forma bastante semelhante, principalmente nos sensores 2 e 3. As discrepâncias, encontradas de forma mais evidente no sensor 1 de ambas as escolas, podem ser explicadas pelo período de medição, enquanto as medições foram feitas num intervalo de 5 dias, em um mesmo mês, as simulações consideraram o período de um ano inteiro.

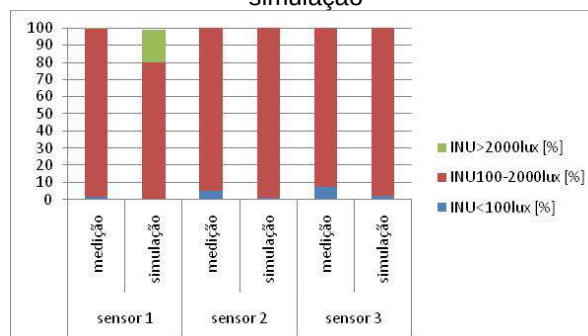
Para melhor compreensão dessas tabelas, elaborou-se o gráfico 6.6, referente à tabela 6.3 da E.M. Afonso Pereira, e o 6.7, referente à tabela 6.4 da E.M. Leonel Brizola, como pode ser observado a seguir:

Gráfico 6.6 – Afonso Pereira: INU da medição e da simulação



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 6.7 – Leonel Brizola: INU da medição e da simulação



Fonte: elaborado pela autora.

Os dados do parâmetro ALN obtidos nas medições *in loco* e nas simulações (tabela 6.1 e 6.2) também foram comparados entre si. Nessa comparação o valor mínimo tido por base foi 500lux. Na tabela 6.5 a seguir, destaca-se a comparação dos valores deste parâmetro, obtidos com as medições *in loco* e, na tabela 6.6, a comparação dos valores obtidos com as simulações.

Tabela 6.5 – Escolas A. Pereira e L. Brizola: ALN das medições *in loco*

	E.M. Afonso Pereira	E.M. Leonel Brizola
	ALN (Autonomia da Luz Natural)	ALN (Autonomia da Luz Natural)
Sensor 1	91,4%	85,2%
Sensor 2	79,5%	56,2%
Sensor 3	64,9%	32,4%

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 6.6 – Escolas A. Pereira e L. Brizola: ALN das simulações

	E.M. Afonso Pereira	E.M. Leonel Brizola
	ALN (Autonomia da Luz Natural)	ALN (Autonomia da Luz Natural)
Sensor 1	96%	94%
Sensor 2	85%	76%
Sensor 3	79%	64%

Fonte: elaborado pela autora.

Na tabela 6.7 a seguir, tem-se a comparação do parâmetro ALN das medições e das simulações nos três sensores, das duas escolas.

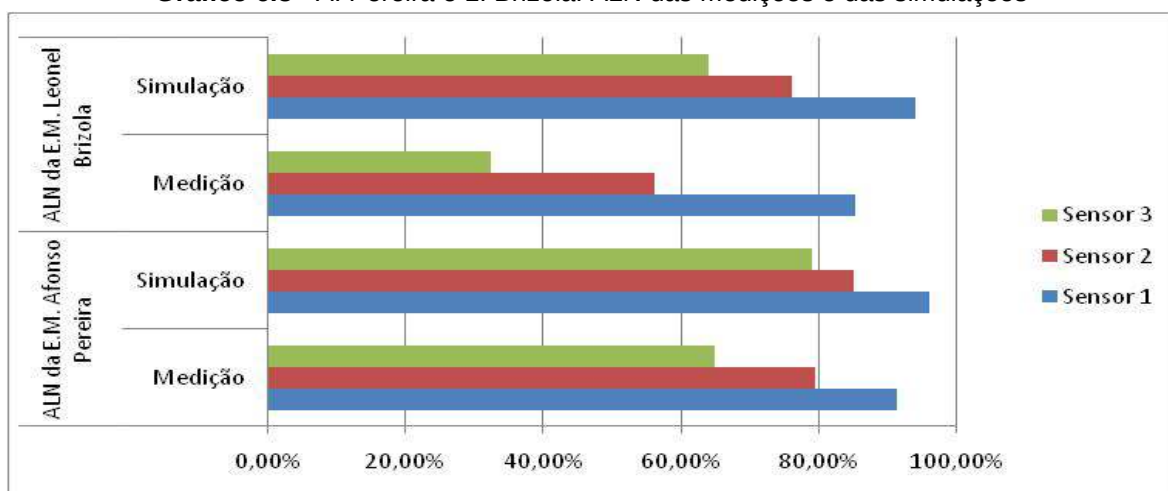
Tabela 6.7 - Escolas A. Pereira e L. Brizola: ALN das medições e simulações

	ALN da E.M. Afonso Pereira		ALN da E.M. Leonel Brizola	
	Medição	Simulação	Medição	Simulação
Sensor 1	91,4%	96%	85,2%	94%
Sensor 2	79,5%	85%	56,2%	76%
Sensor 3	64,9%	79%	32,4%	64%

Fonte: elaborado pela autora.

Os dados do parâmetro ALN relacionados na tabela 6.7 acima permitiram a criação do gráfico comparativo 6.8 a seguir. Analisando-o, pode-se observar que os valores do parâmetro ALN das simulações e das medições são bastante semelhantes nas duas escolas. As maiores discrepâncias foram observadas no sensor 3 da E.M. Leonel Brizola, que na simulação apresentou um valor que representa o dobro da medição. Fato que se atribui ao número limitado das medições *in loco*. Contudo, destaca-se que: a) os valores obtidos com a simulação são, nas duas escolas analisadas, superiores aos valores obtidos com a medição *in loco*; b) a maior diferença entre os valores simulados e medidos (sensor 3) é percebida no sensor que se encontra mais ao fundo da sala; c) tanto nas medições quanto nas simulações a escola Leonel Brizola, de maior obstrução, apresentou iluminâncias inferiores.

Gráfico 6.8 - A. Pereira e L. Brizola: ALN das medições e das simulações



Fonte: Elaborado pela autora.

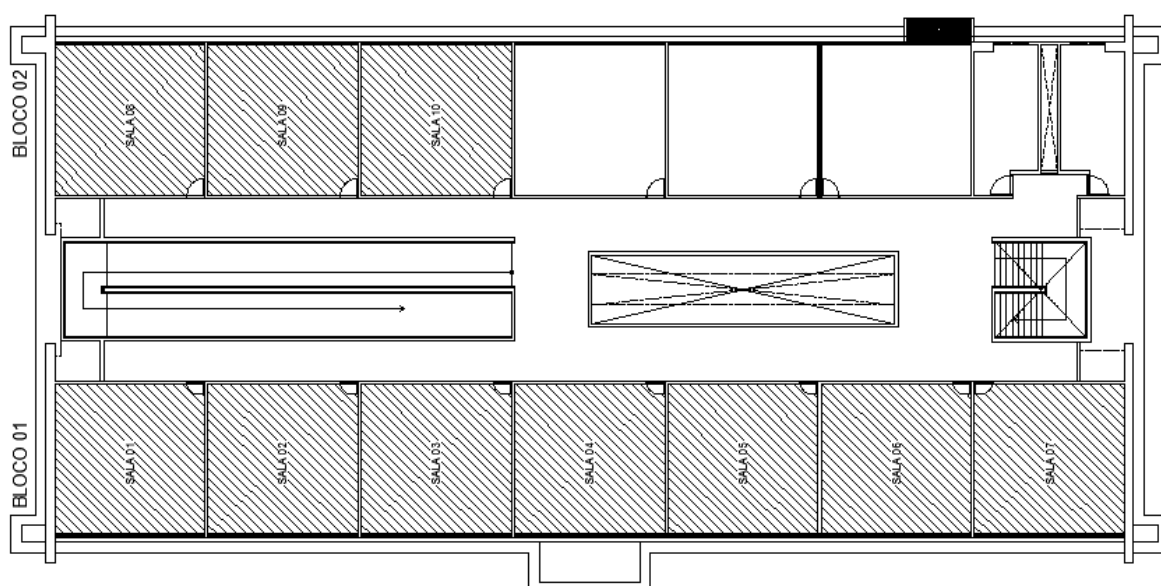
7 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Neste capítulo são apresentados os principais resultados desta pesquisa, quais sejam, as simulações computacionais da luz natural nas 10 escolas estudadas, bem como as respectivas análises e discussões sobre as mesmas.

Para a obtenção dos resultados foi utilizada a versão 3.1b do Daysim, um programa que ao final de cada simulação gera um relatório com vários indicadores de desempenho que podem ser utilizados na avaliação do potencial de iluminação natural de um ambiente. Dentre esses indicadores de desempenho, interessam aos objetivos dessa pesquisa o ALN (Autonomia da Luz Natural) e o INU (Iluminância Natural Útil). O ALN indica o percentual de horas durante um ano em que um determinado ponto de um ambiente atinge, sem o auxílio de iluminação artificial, uma iluminância mínima pré-determinada, que no caso dessa pesquisa foi estabelecida como sendo 500lux. O INU indica a iluminância atingida através da luz natural em determinado ponto, segundo 3 faixas de valores: menor do que 100lux, entre 100 e 2.000lux e maior do que 2.000lux.

Para a melhor compreensão dos dados obtidos com as simulações, o pavimento superior das escolas padrão, destinado às salas de aulas foi dividido em bloco 01, onde se encontram as salas 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07; e bloco 02, onde se encontram as salas 08, 09 e 10 (ver figura 7.1)

Figura 7.1 – Divisão das salas de aula em blocos 01 e 02

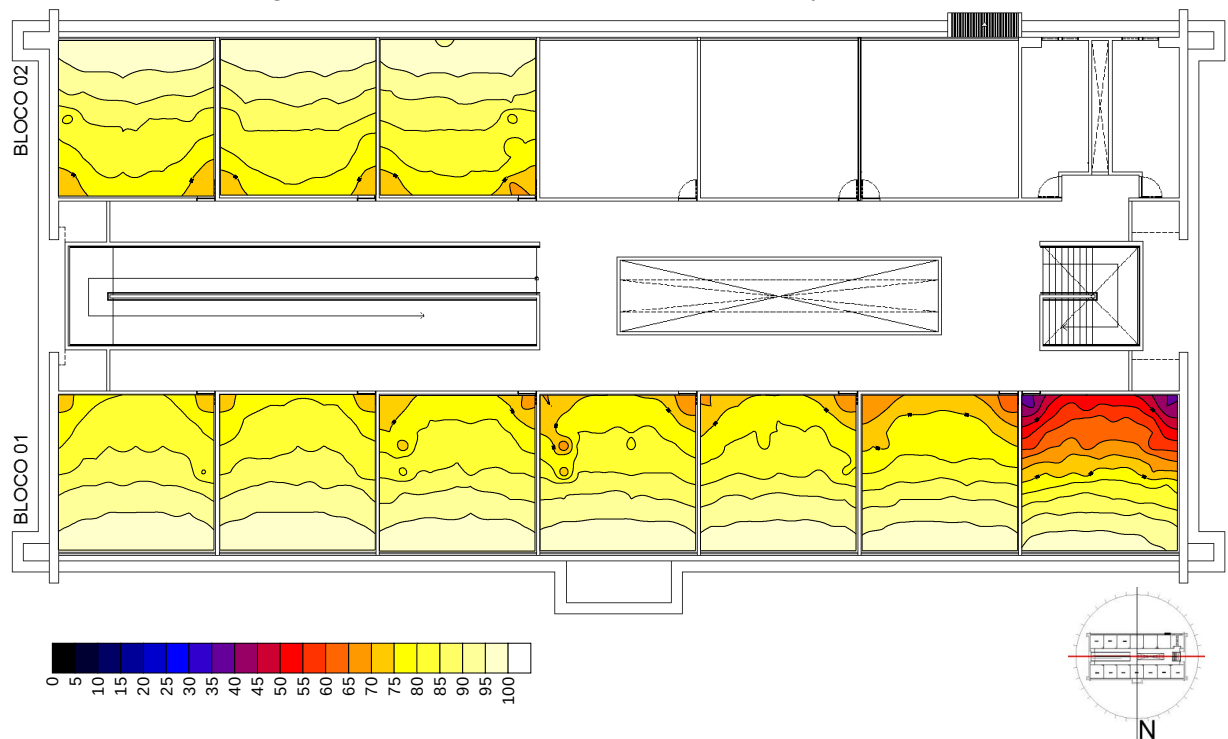


Fonte: Elaborado pela autora.

7.1 Autonomia da luz natural (ALN)

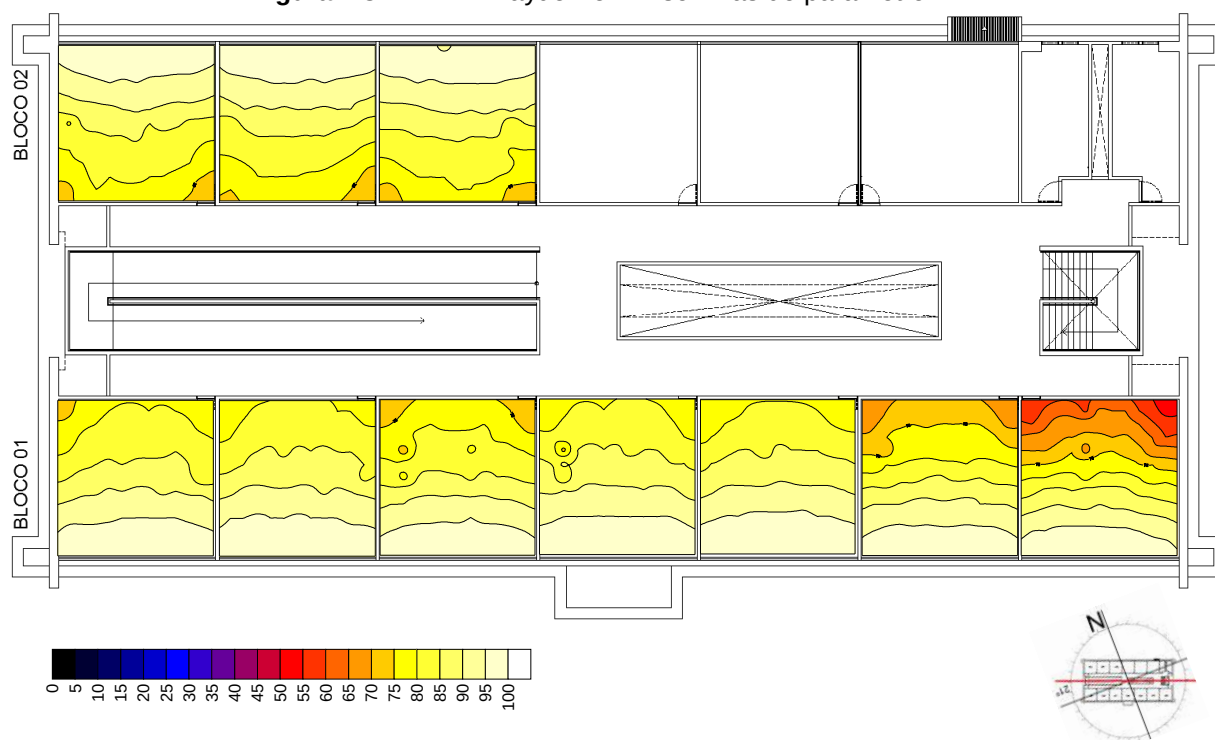
O parâmetro ALN obtido com as simulações das escolas foi tratado e transformado em isolinhas, criadas separadamente para cada sala de aula. Em seguida, cada isolinha obtida foi sobreposta à planta baixa do pavimento superior do prédio. Isso permitiu melhor visualização da distribuição da autonomia da luz natural não apenas dentro da sala, mas ao longo do pavimento. A orientação de cada escola também foi inserida, para facilitar a compreensão da influência da mesma no desempenho da iluminação natural (ver figuras 7.2 à 7.11).

Figura 7.2 – E. M. Afonso Pereira: isolinhas do parâmetro ALN



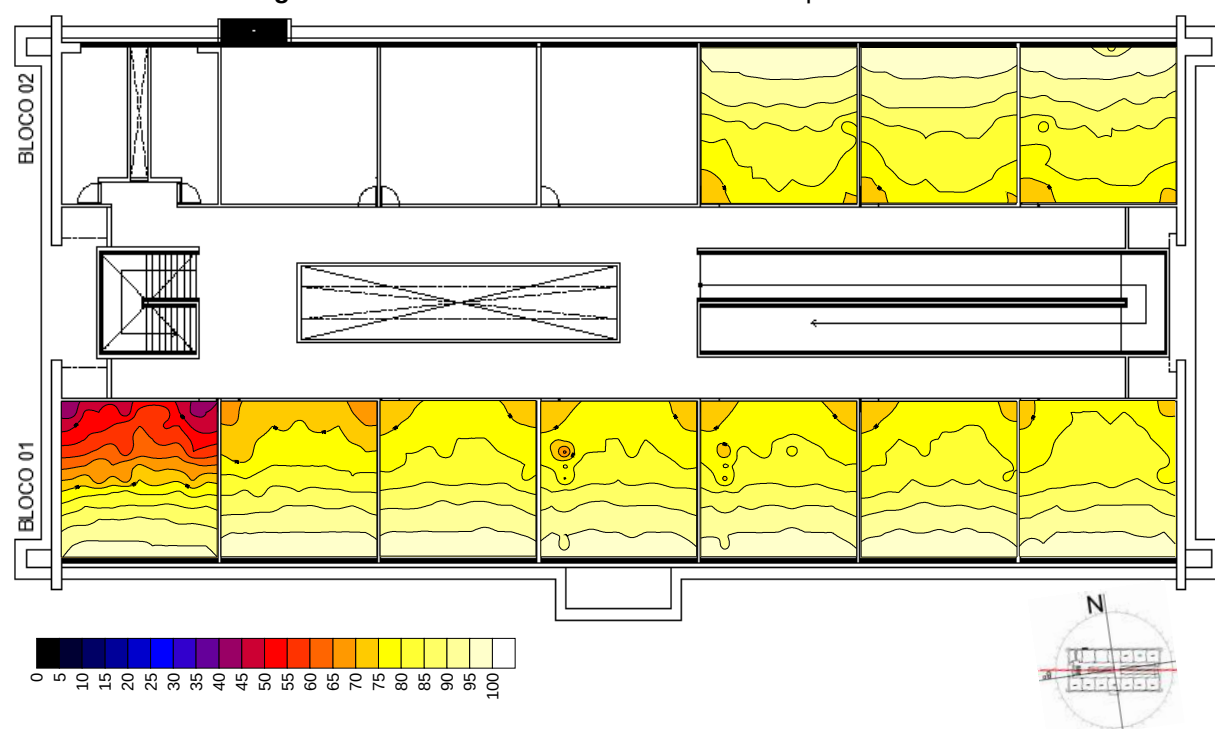
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.3 – E. M. Anayde Beiriz: isolinhas do parâmetro ALN



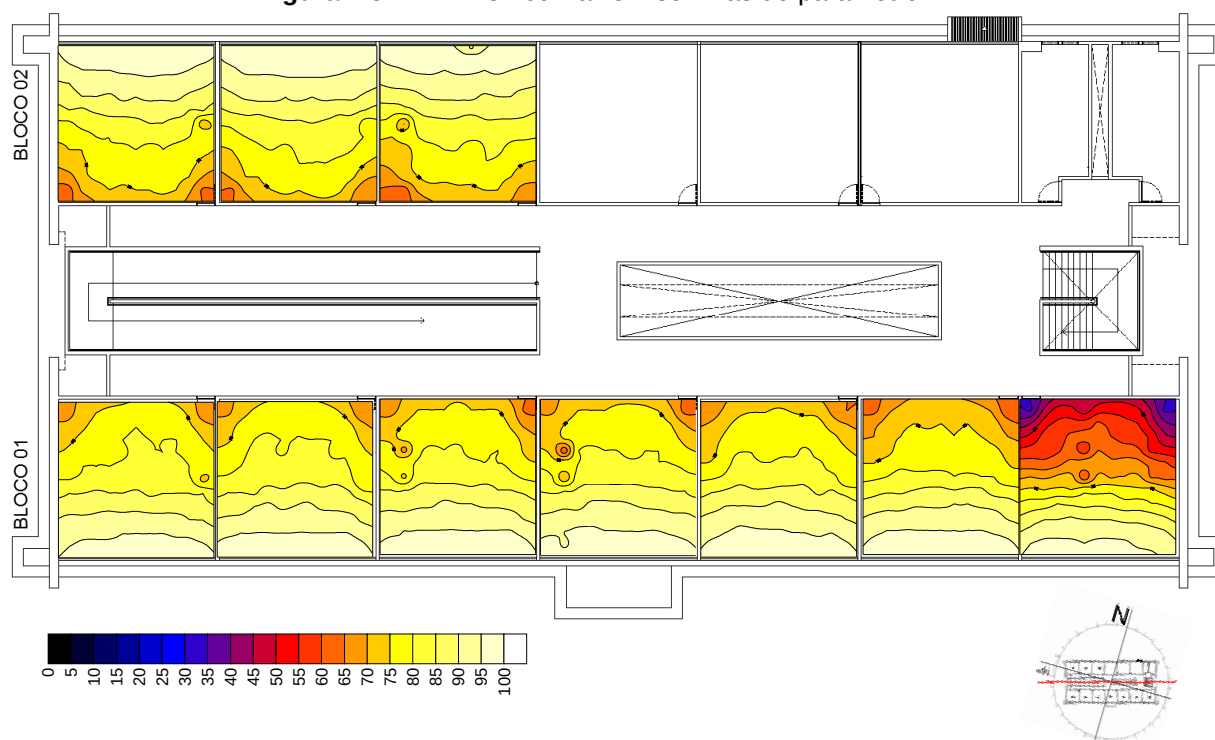
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.4 – E. M. Celso Furtado: isolinhas do parâmetro ALN



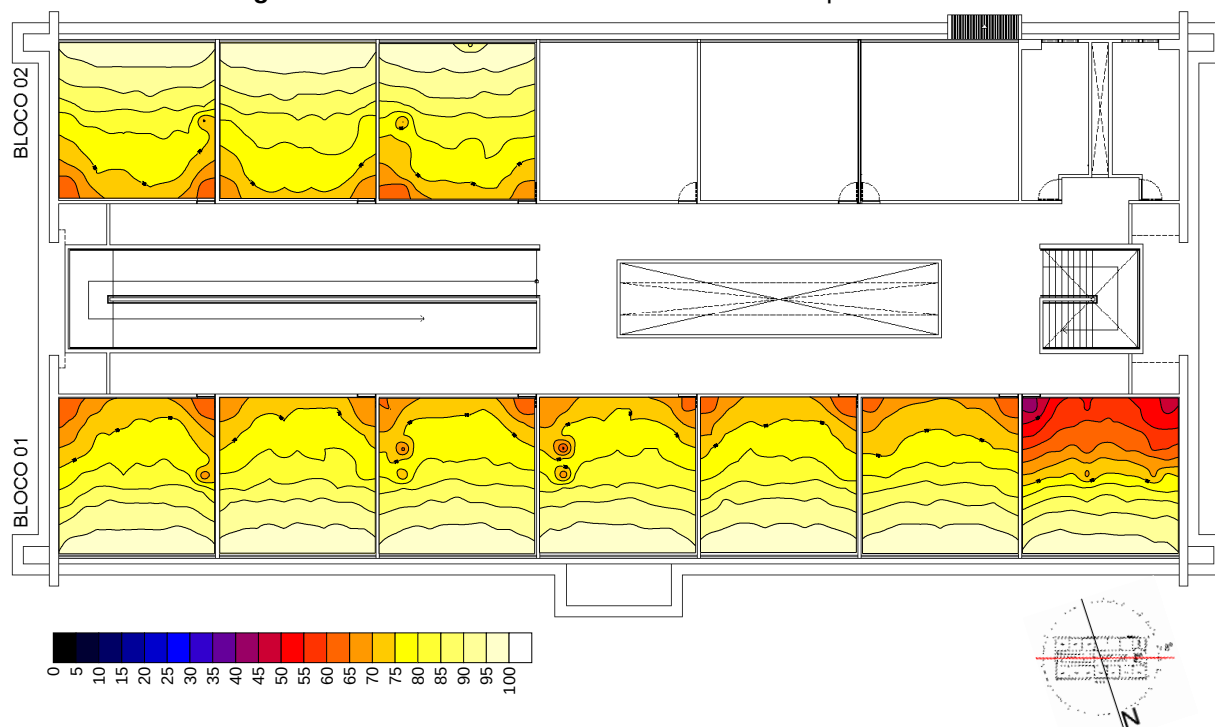
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.5 – E. M. Chico Xavier: isolinhas do parâmetro ALN



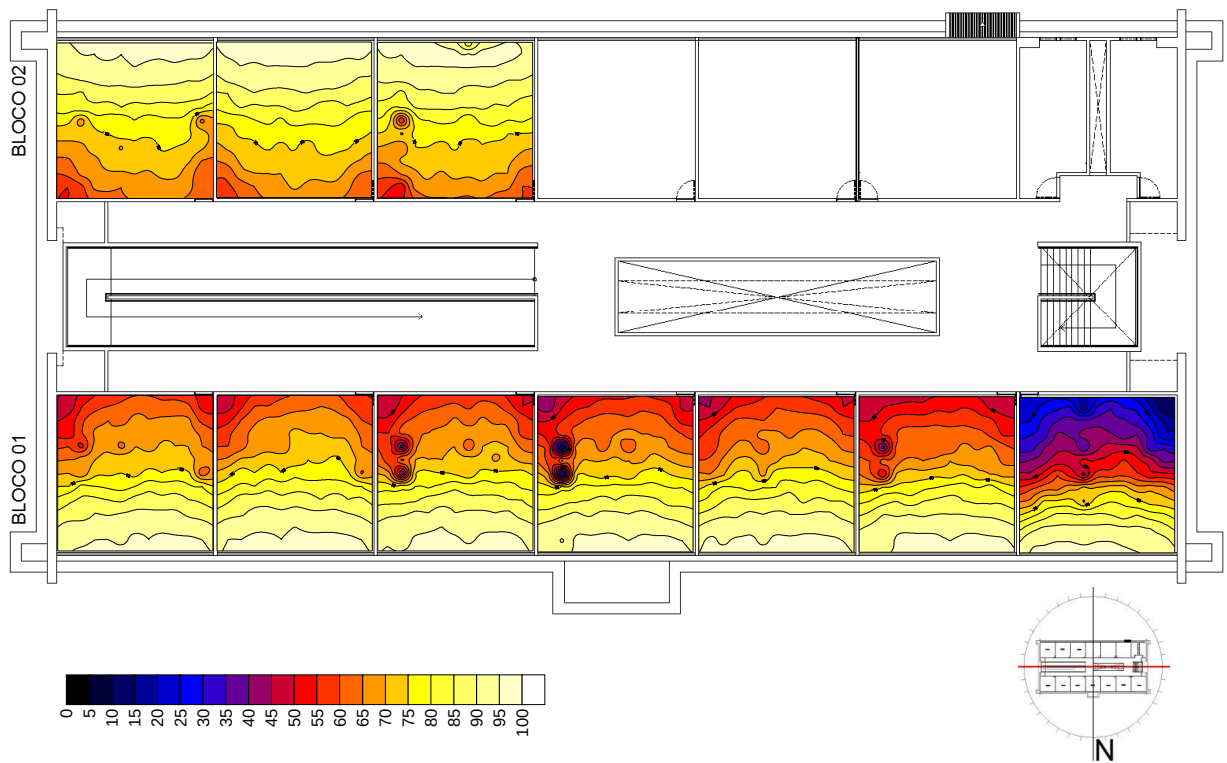
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.6 – E. M. Francisco Pereira: isolinhas do parâmetro ALN



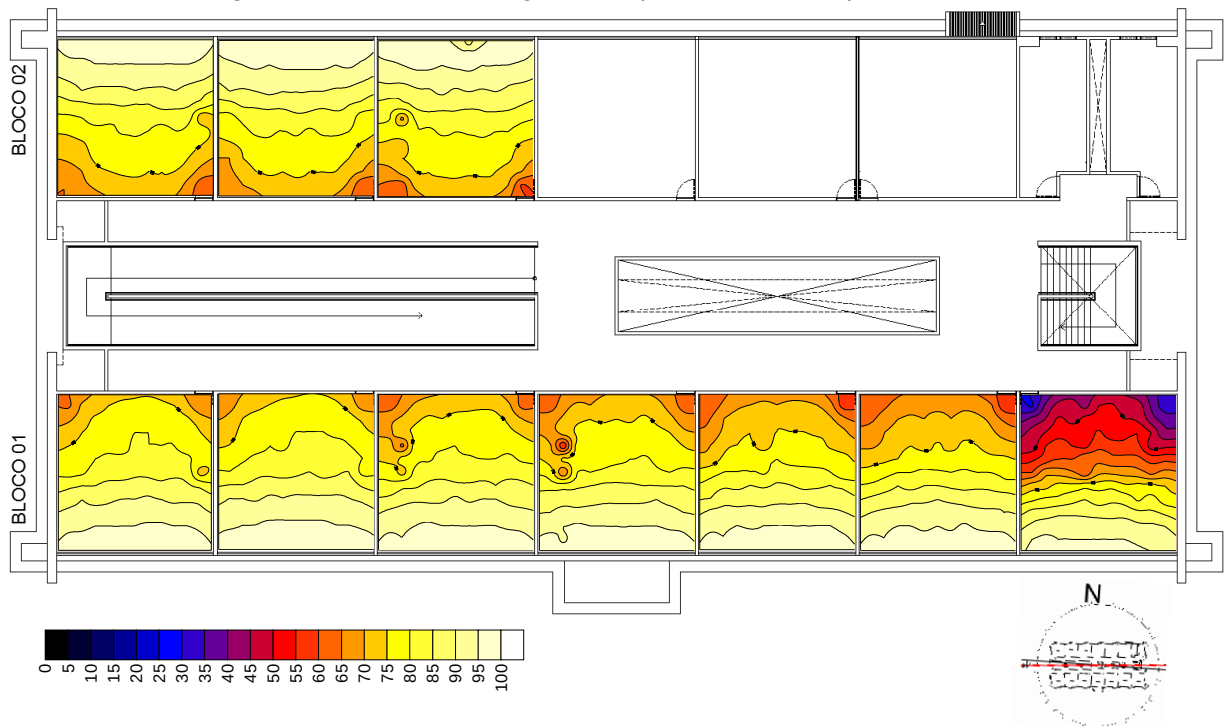
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.7 – E. M. Leonel Brizola: isolinhas do parâmetro ALN



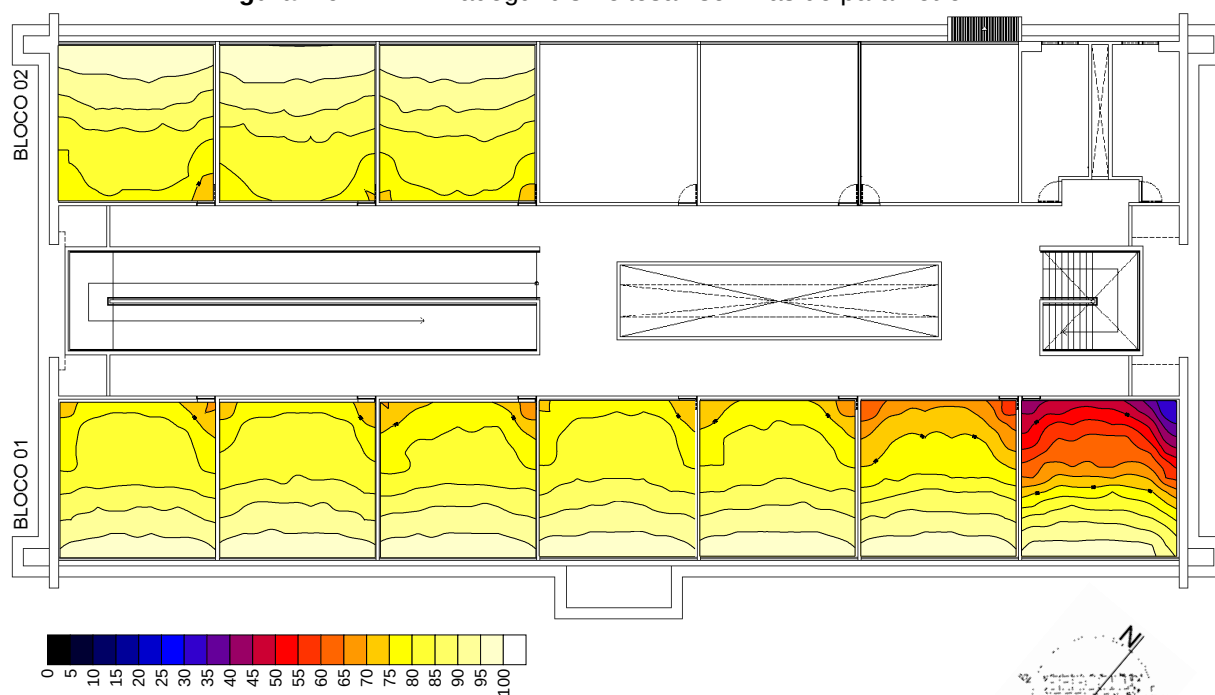
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.8 – E. M. Luiz Augusto Crispim: isolinhas do parâmetro ALN



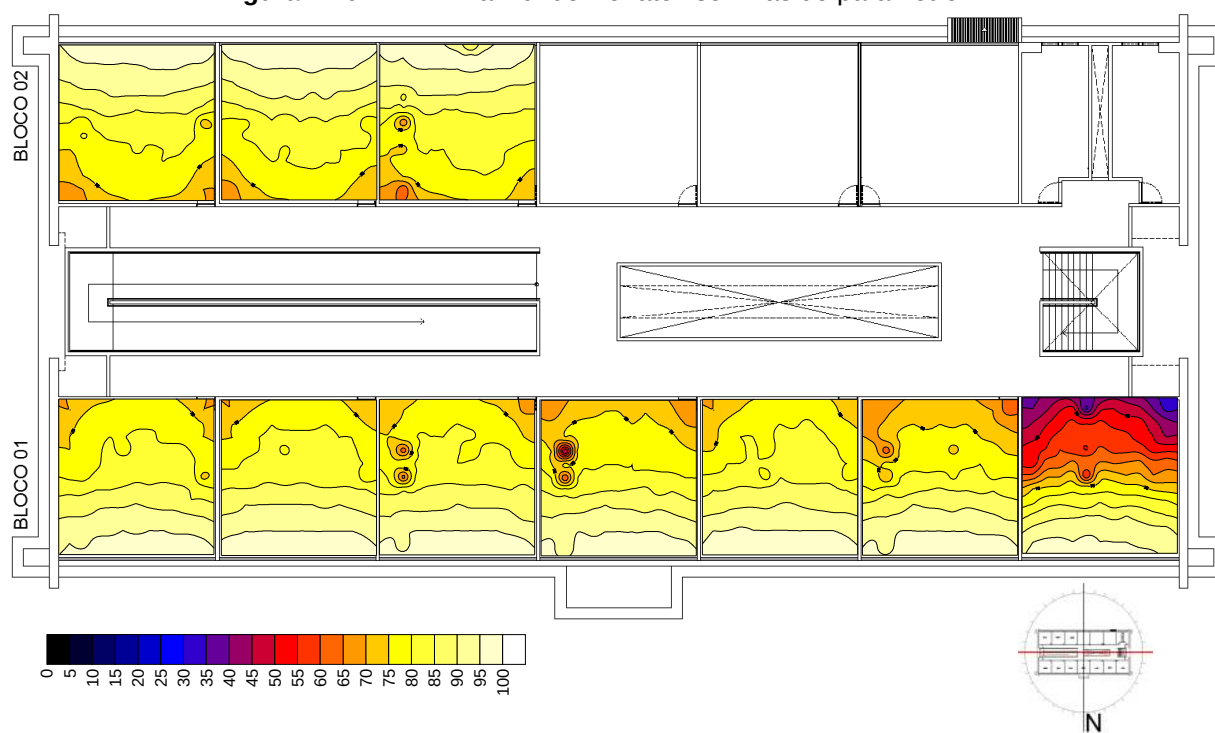
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.9 – E. M. Radegundis Feitosa: isolinhas do parâmetro ALN



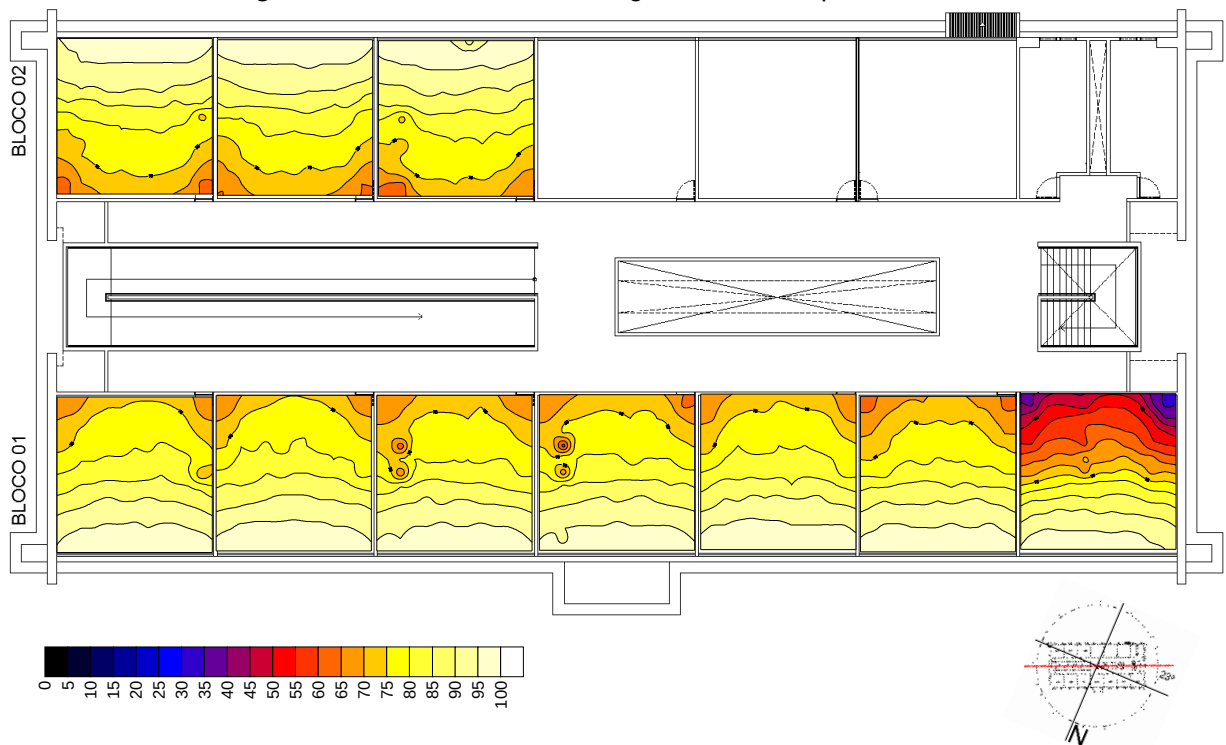
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.10 – E. M. Raimundo Nonato: isolinhas do parâmetro ALN



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.11 – E. M. Violeta Formiga: isolinhas do parâmetro ALN



Fonte: Elaborado pela autora.

Pela análise das isolinhas de todas as escolas percebe-se que as salas posicionadas ao lado da escada apresentam os menores valores de ALN. Isso acontece devido ao sombreamento causado pelo reservatório de água que fica posicionado sobre a escada obstruindo a entrada de luz pelo clerestório. Esse fato evidencia a importante contribuição dada por essa abertura na iluminação do interior dos ambientes em estudo. Por ser um tipo de abertura zenital, o clerestório contribui não apenas para o aumento dos níveis de iluminação dentro da sala, mas também para a homogeneização desses níveis, amenizando o efeito de fundo de sala. À título de ilustração desse fenômeno, pode-se tomar como exemplo a E.M. Anayde Beiriz, cuja sala 01 apresenta valores médios em torno de 9,91% maiores do que os da sala 07. Essa variação entre as salas 01 e 07 se repete em todas as escolas, com pequenas diferenças nos percentuais.

De maneira geral as salas de todas as escolas apresentam valores bastante homogêneos com pelo menos 70% de autonomia da luz natural em quase toda a área do ambiente, independentemente da orientação. Isso significa dizer que em quase toda a extensão da sala a iluminação natural atinge um mínimo de 500lux por pelo menos 70% do ano. E nos trechos próximos às aberturas laterais, esses valores chegam a quase 95% ao ano. Considerando os critérios adotados por

Reinhart e Wienold (2011), um ambiente que apresenta ALN em torno de 50% pode ser considerado naturalmente iluminado.

O cálculo da média dos valores de ALN obtidos nas simulações de cada escola permitiu a elaboração da tabela 7.1 a seguir. Analisando-a, pode-se observar que a E. M. Anayde Beiriz possui a maior média de valores, 86,54%, enquanto a E.M. Leonel Brizola possui a menor, 75,22%.

Tabela 7.1 - Valores médios do parâmetro ALN por escola									
Afonso Pereira	Anayde Beiriz	Celso Furtado	Chico Xavier	Francisco Pereira	Luiz A. Crispim	Leonel Brizola	Radegundes Feltosa	Raimundo Nonato	Violeta Formiga
85,18%	86,54%	84,10%	82,67%	82,77%	81,49%	75,22%	84,43%	82,64%	82,55%
Fonte: Elaborado pela autora.									

O maior valor médio de ALN, encontrado na E. M. Anayde Beiriz, se deve provavelmente à sua orientação. A maior inclinação da escola em relação ao Norte permite que ela esteja mais exposta ao sol nascente e poente, sugerindo uma provável incidência de raios solares dentro das salas de aula. Já o menor valor médio de ALN, encontrado na E. M. Leonel Brizola, pode ser explicado pela topografia do terreno em que a escola está implantada, fazendo com que a mesma fique semi enterrada em relação ao entorno e pelo grau de adensamento encontrado no entorno próximo à escola, responsável pela obstrução da luz natural.

Dentre as escolas estudadas, três delas possuem orientação rigorosamente iguais: a E. M. Afonso Pereira, a Leonel Brizola e a Raimundo Nonato (ver figuras 7.2, 7.7 e 7.10). No entanto, os valores médios do parâmetro ALN encontrados nas três difere, fruto das diferenças encontradas no adensamento do entorno.

Os dados do parâmetro ALN foram ainda organizados em faixas de distribuição de frequência, de 20 em 20% (ver tabela 7.2). Nela estão relacionadas as dez escolas e as respectivas distribuições de frequência dentro dos valores 0 à 20, 20 à 40, 40 à 60, 60 à 80 e 80 à 100. Dessa forma, as escolas podem ser comparadas por faixas de frequência e também pelo valor acumulado. Considerando a quantidade de ocorrências na última faixa de frequência, 80 à 100, percebe-se que a E.M. Anayde Beiriz apresenta o maior índice, ou seja, 946 do total de suas ocorrências apresentam valores acima de 500lux de iluminância, obtida apenas com

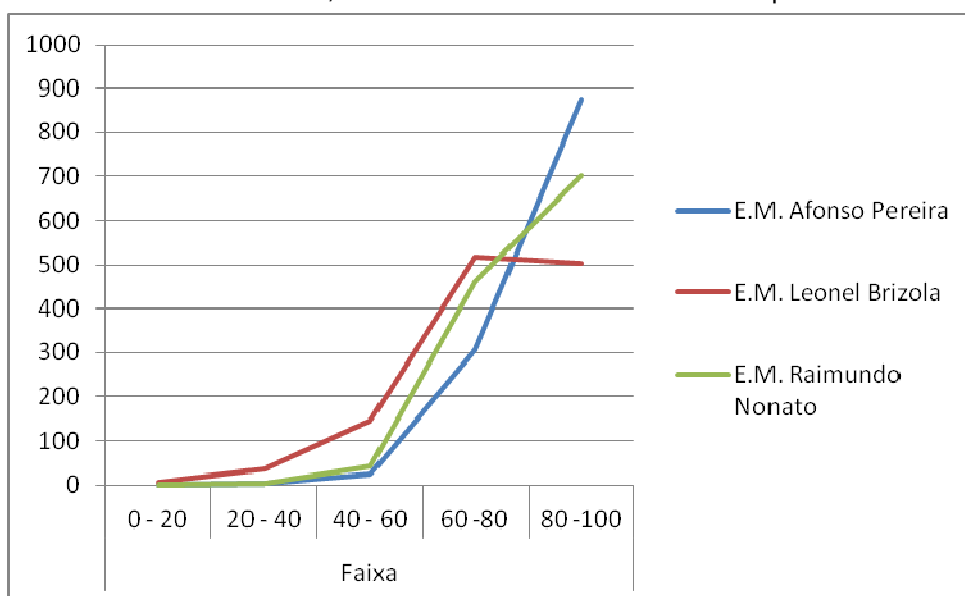
a luz natural, por períodos que variam de 80 a 100% do ano. Levando-se em conta essa mesma faixa de frequência, a E.M. Leonel Brizola apresenta o menor número de ocorrências.

Tabela 7.2 – Distribuição de frequência do parâmetro ALN

Escola	Faixa				
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
E.M. Afonso Pereira	0	2	24	308	876
Acumulado	0,00%	0,17%	2,15%	27,60%	100,00%
E.M. Anaíde Beiriz	0	0	8	256	946
Acumulado	0,00%	0,00%	0,66%	21,82%	100,00%
E.M. Celso Furtado	0	0	37	370	803
Acumulado	0,00%	0,00%	3,06%	33,64%	100,00%
E.M. Chico Xavier	0	2	37	492	679
Acumulado	0,00%	0,17%	3,22%	43,88%	100,00%
E.M. Francisco Pereira	0	0	30	504	676
Acumulado	0,00%	0,00%	2,48%	44,13%	100,00%
E.M. Leonel Brizola	5	35	147	519	504
Acumulado	0,41%	3,31%	15,45%	58,35%	100,00%
E.M. Luis Augusto Crispim	0	4	53	519	634
Acumulado	0,00%	0,33%	4,71%	47,60%	100,00%
E.M. Radegundes Feitosa	1	2	34	270	903
Acumulado	0,08%	0,25%	3,06%	25,37%	100,00%
E.M. Raimundo Nonato	0	4	43	461	702
Acumulado	0,00%	0,33%	3,88%	41,98%	100,00%
E.M. Violeta Formiga	0	3	33	511	663
Acumulado	0,00%	0,25%	2,98%	45,21%	100,00%

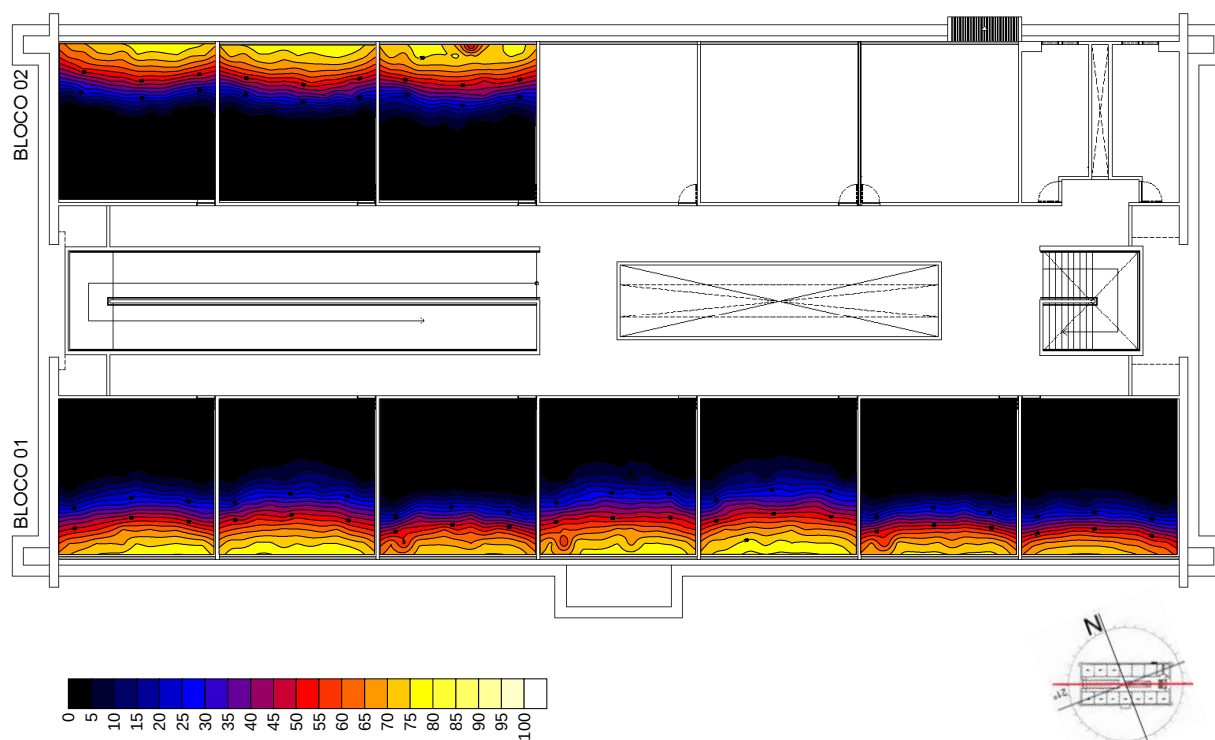
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 7.1 – A. Pereira, L. Brizola e R. Nonato: faixas de frequência da ALN



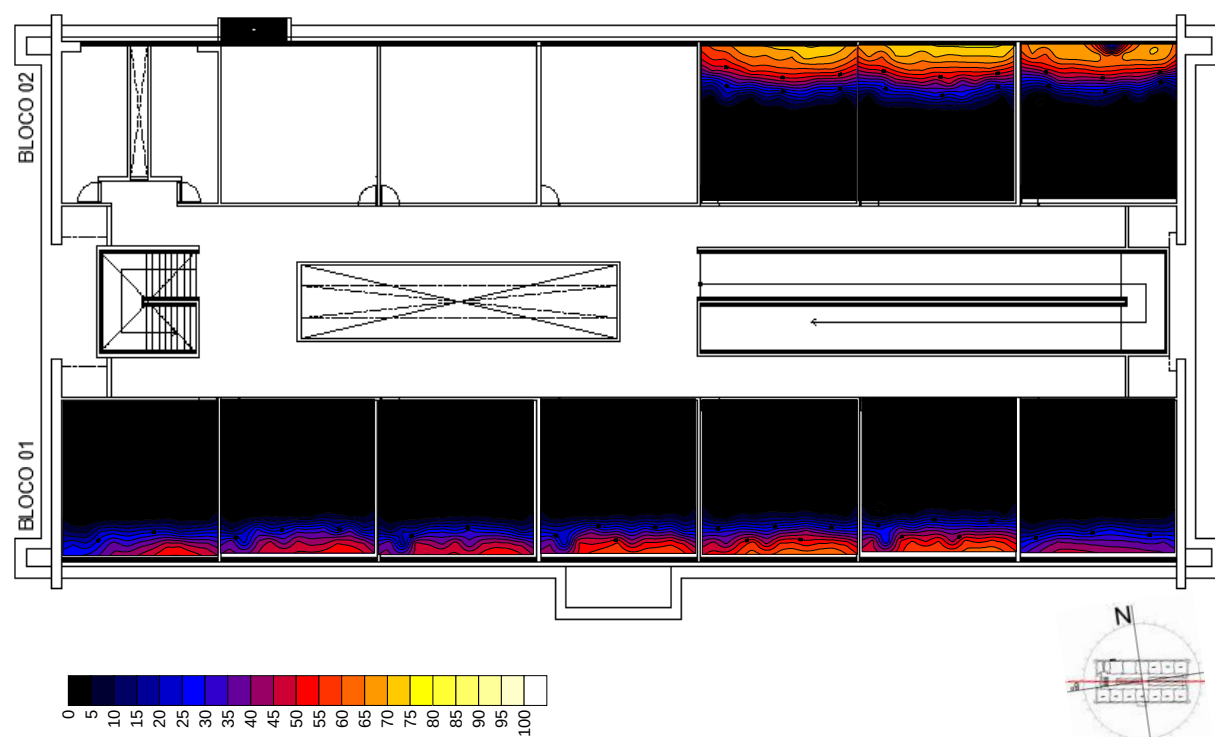
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.13 – E. M. Anayde Beiriz: isolinhas do parâmetro INU >2000



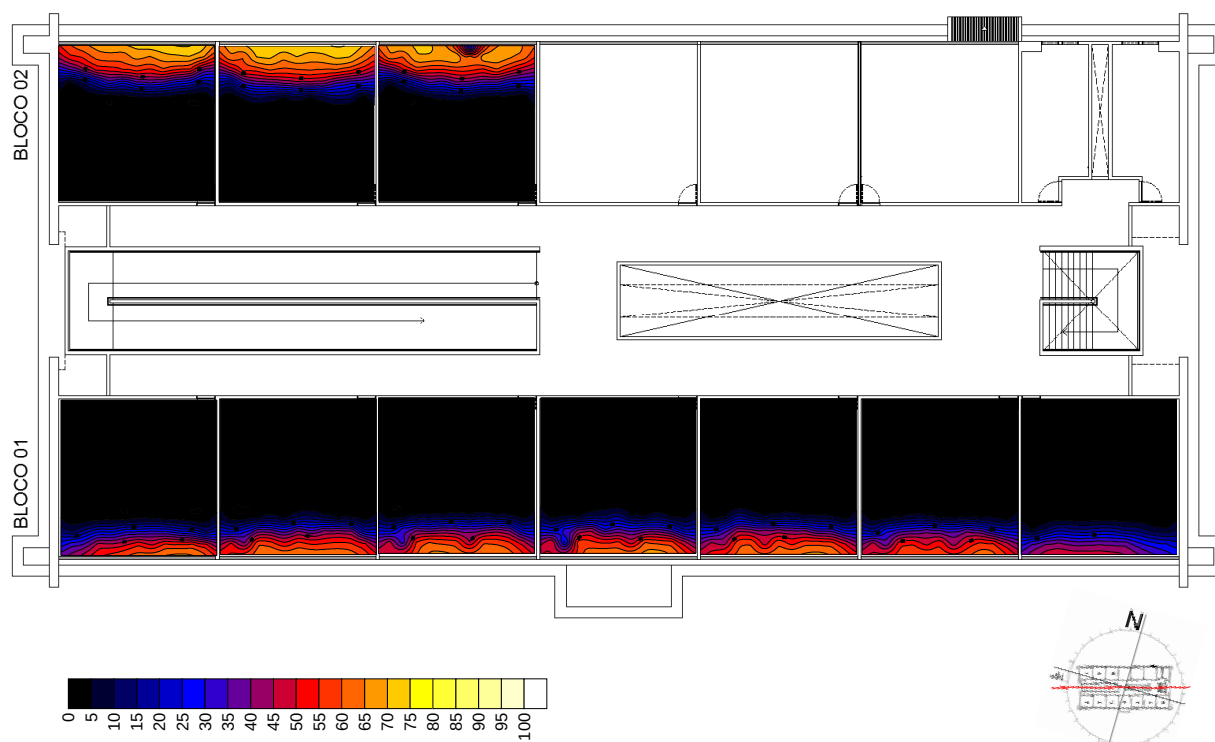
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.14 – E. M. Celso Furtado: isolinhas do parâmetro INU >2000



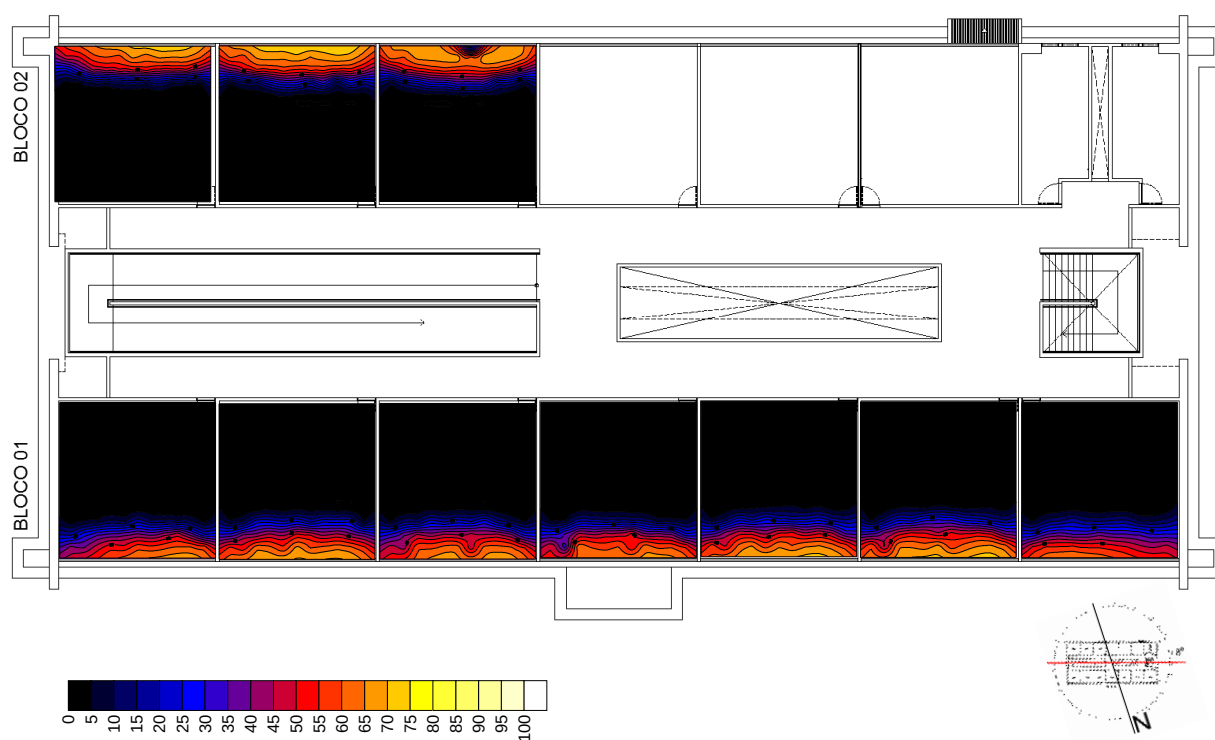
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.15 – E. M. Chico Xavier: isolinhas do parâmetro INU >2000



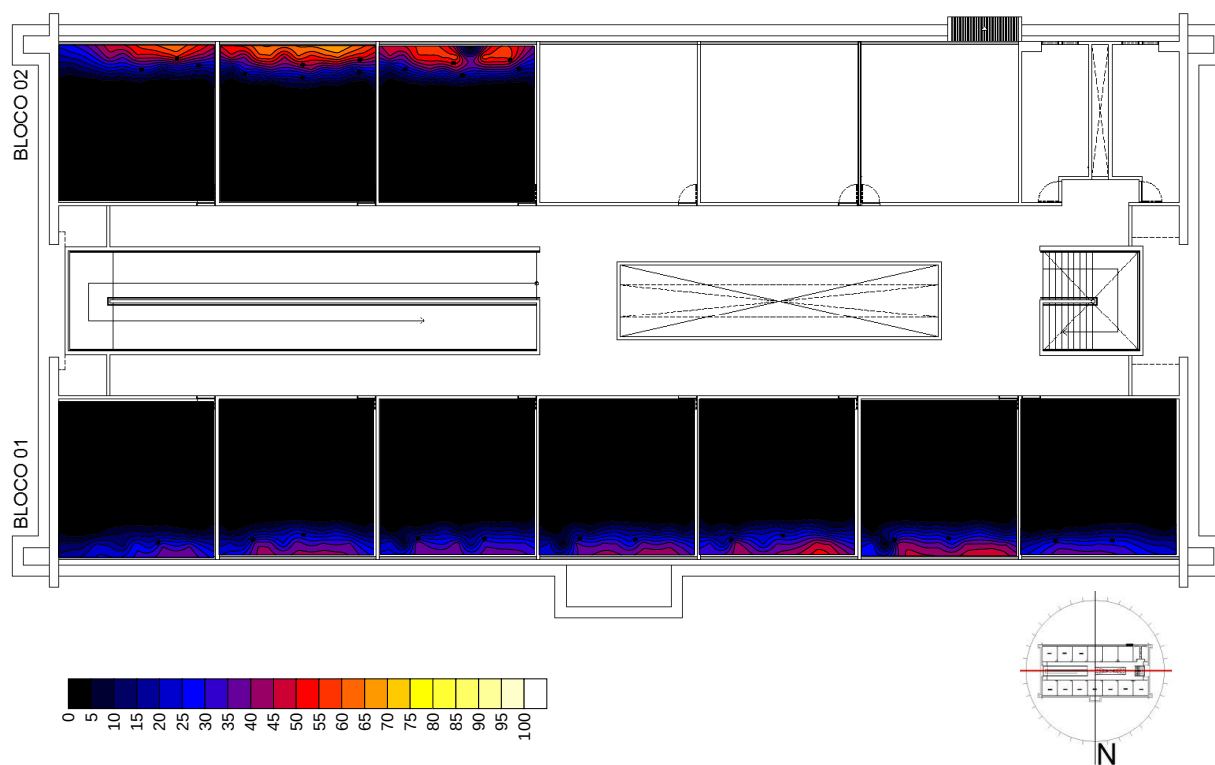
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.16 – E. M. Francisco Pereira: isolinhas do parâmetro INU >2000



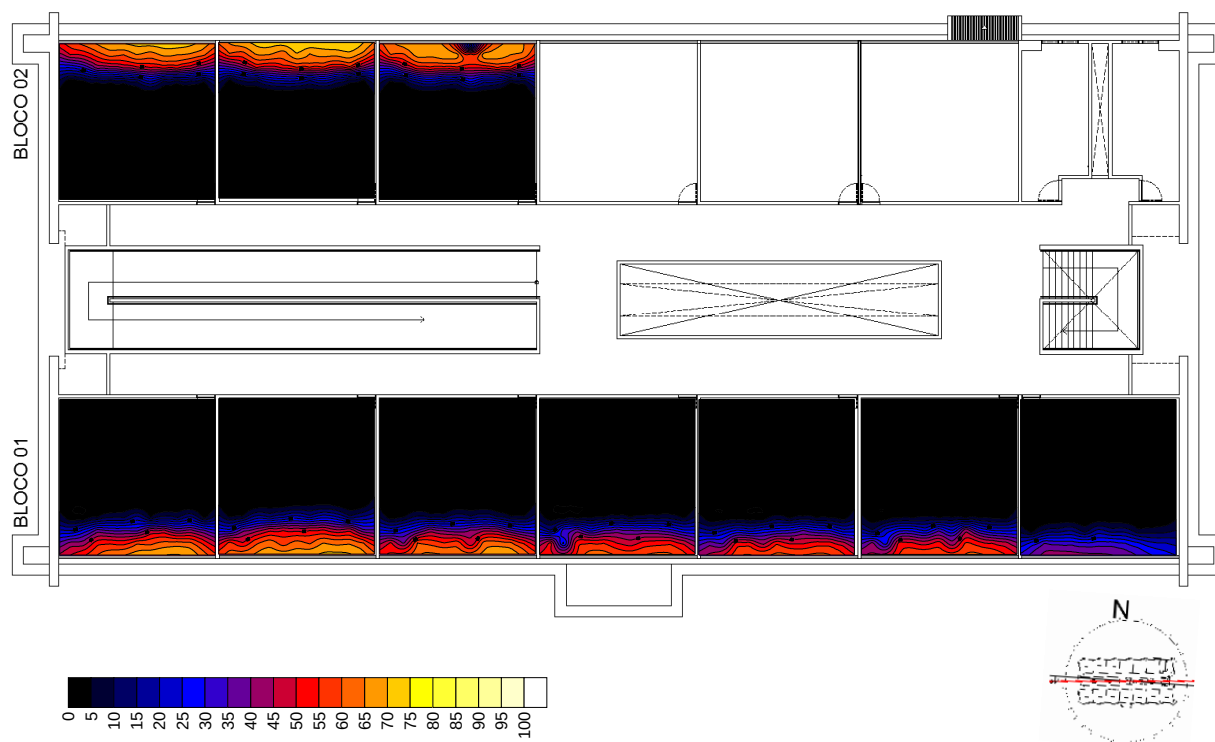
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.17 – E. M. Leonel Brizola: isolinhas do parâmetro INU >2000



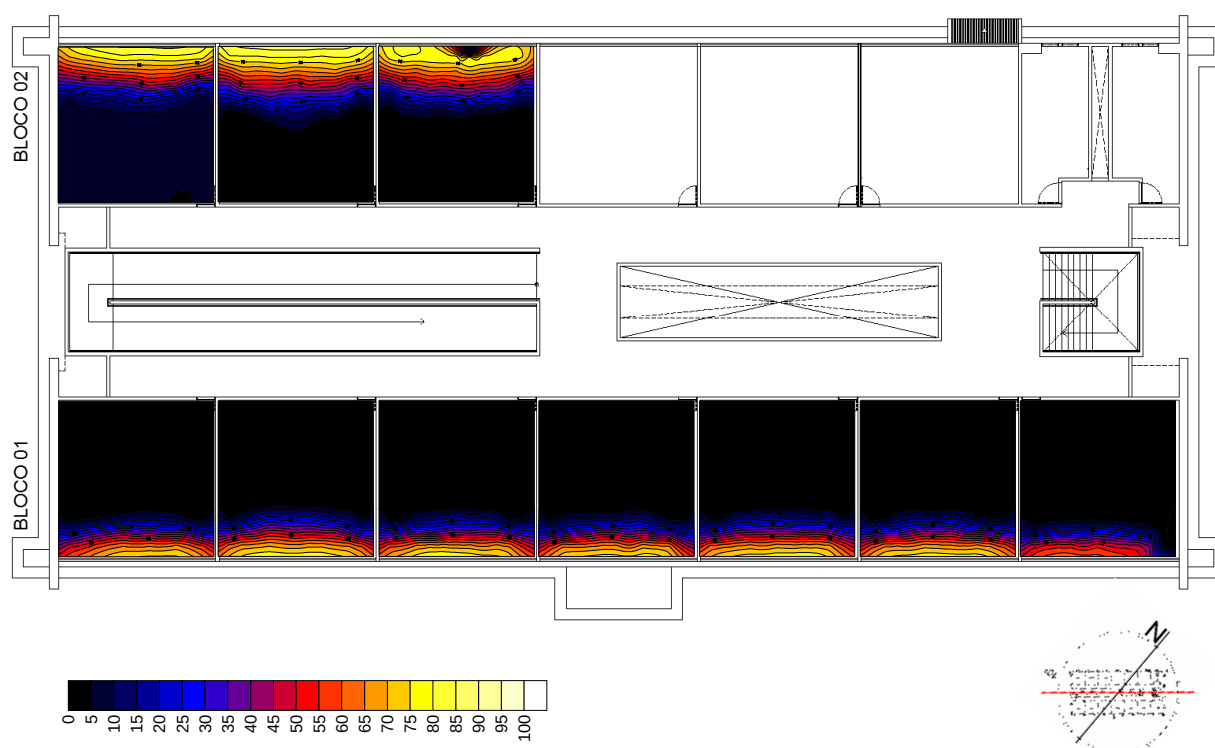
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.18 – E. M. Luiz A. Crispim: isolinhas do parâmetro INU >2000



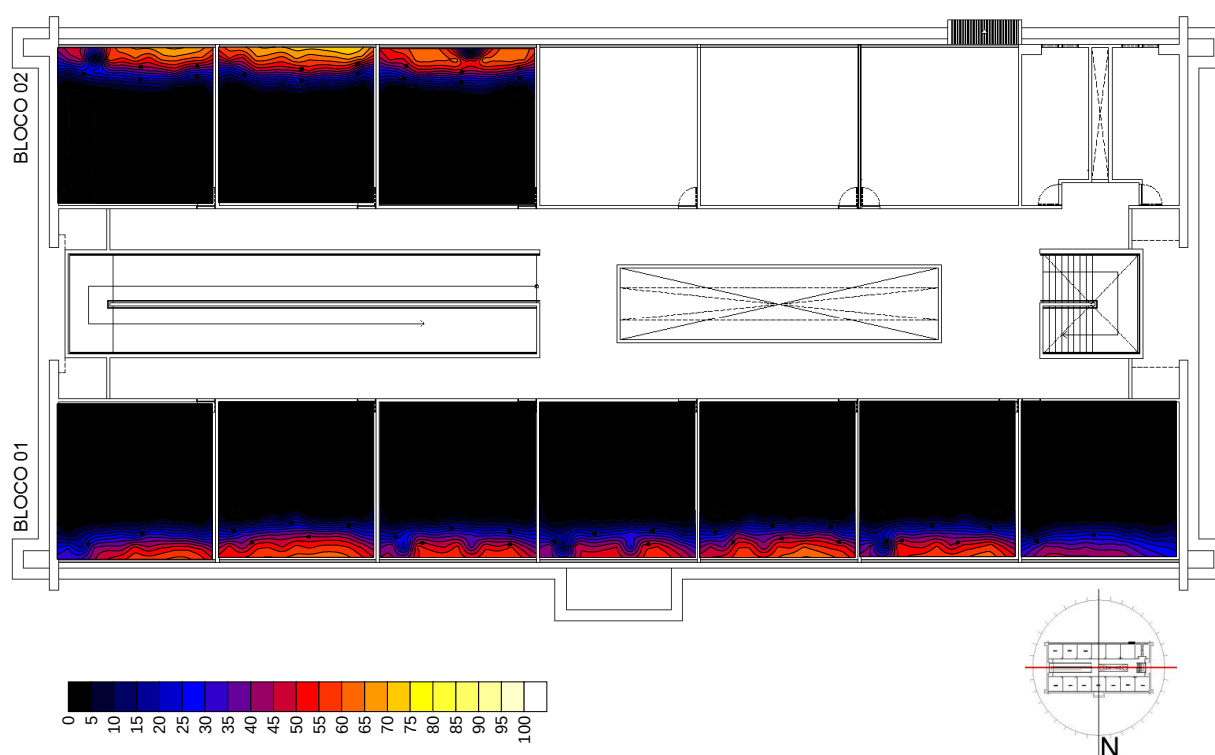
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.19 – E. M. Radegundis Feitosa: isolinhas do parâmetro INU >2000



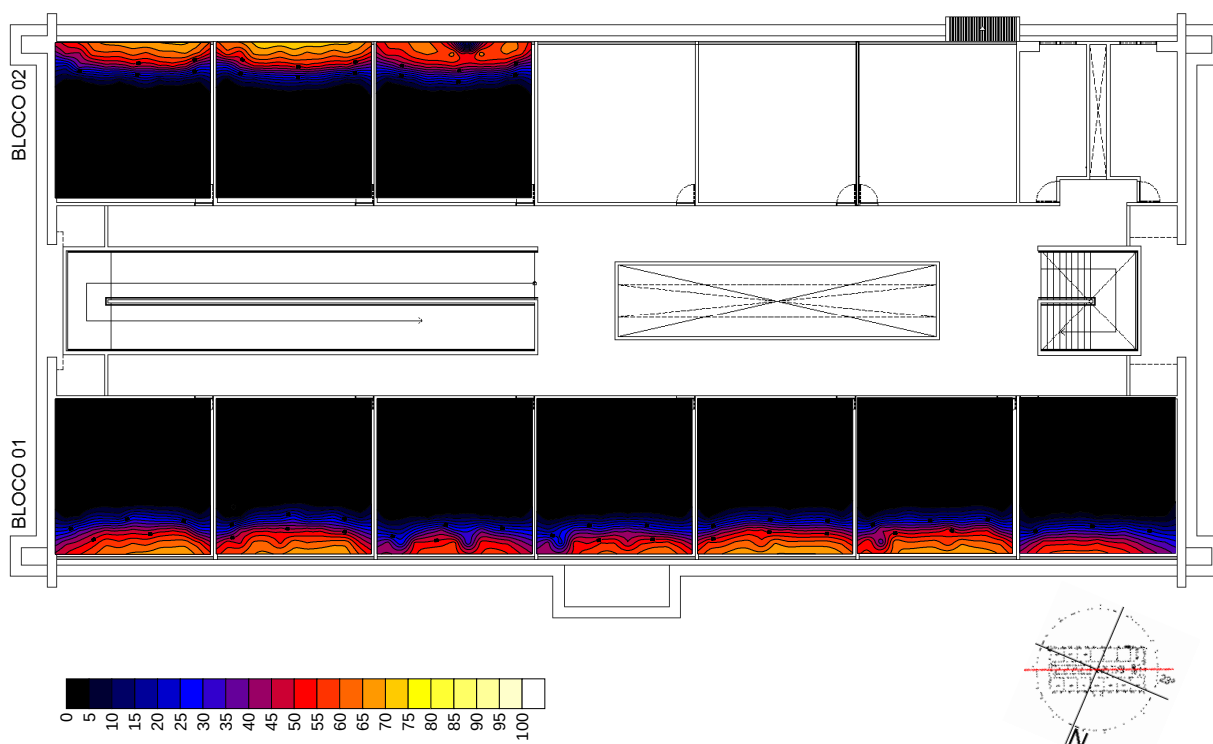
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.20 – E. M. Raimundo Nonato: isolinhas do parâmetro INU >2000



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7.21 – E. M. Violeta Formiga: isolinhas do parâmetro INU >2000



Fonte: Elaborado pela autora.

Pela análise das isolinhas, percebe-se que a maior parte dos valores acima de 2.000lux estão localizados próximos à abertura lateral das salas de aula, tanto no bloco 01, quanto no bloco 02 de todas as escolas estudadas, decrescendo à medida em que se aproxima do fundo da sala, ou seja da abertura zenital, o clerestório. Na maioria das escolas, a área atingida não chega nem à metade da sala. É oportuno destacar que as escolas Afonso Pereira, Anayde Beiriz e Radegundis Feitosa são as mais atingidas pela luminosidade excessiva, como pode ser observado nas isolinhas (ver bloco 02 da R. Feitosa, figura 7.19 e bloco 01 da A. Beiriz, figura 7.13). O cálculo da média dos valores de INU obtidos nas simulações de cada escola permitiu a elaboração da tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Valores médios do parâmetro INU>2000 por escola									
Afonso Pereira	Anayde Beiriz	Celso Furtado	Chico Xavier	Francisco Pereira	Luiz A. Crispim	Leonel Brizola	Radegundes Feitosa	Raimundo Nonato	Violeta Formiga
15,9%	19,8%	9,4%	9,3%	10,6%	8,7%	4,7%	12,4%	7,5%	9,5%

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando-se a tabela 7.3, pode-se observar que a E. M. Anayde Beiriz possui a maior média de valores, 19,8%, enquanto a E. M. Leonel Brizola possui a menor, 4,7%. A maior média de INU, encontrada na E. M. Anayde Beiriz, se deve provavelmente à sua orientação, pois o posicionamento do seu eixo longitudinal em desalinho com o eixo norte-sul, permite que ela esteja mais exposta ao sol nascente e poente, recebendo maior incidência de raios solares dentro das salas de aula. O menor valor médio de INU encontrado foi na E. M. Leonel Brizola, apesar de sua orientação em relação ao Norte não justificar tais resultados. Isso, no entanto, pode ser explicado pela topografia do terreno em que a escola está implantada, fazendo com que a mesma fique semi enterrada em relação ao entorno, e pelo grau de adensamento encontrado nas proximidades da escola que compromete a disponibilidade da luz natural.

Continuando a análise desse parâmetro e comparando-os entre si, obtivemos a tabela 7.4, para a qual foram calculadas a quantidade total de ocorrências por escola. Em seguida, contou-se a quantidade de ocorrências que ficavam dentro das faixas: 0 à 100lux; entre 100 e 2000lux; e acima de 2000lux. Com isso obteve-se o percentual de ocorrências por faixa. Considerando esse percentual, a E.M. Leonel Brizola possui o melhor aproveitamento da luz natural, ou seja, o maior número de ocorrências na faixa entre 100 e 2000lux, equivalente a 93,7%, apesar de ser a que apresentou a menor média de ALN na faixa entre 80 e 100%. Já a E.M. Anayde Beiriz possui o pior aproveitamento da luz natural, 79,6%.

Tabela 7.4 – Comparação do parâmetro INU entre as escolas

Escola	Faixa		
	0 - 100	20 - 2000	> 2000
E. M. Afonso Pereira	0,7%	83,4%	15,9%
E. M. Anaíde Beiriz	0,6%	79,6%	19,8%
E. M. Celso Furtado	0,7%	89,9%	9,4%
E. M. Chico Xavier	0,8%	89,8%	9,3%
E. M. Francisco Pereira	0,8%	88,5%	10,6%
E. M. Leonel Brizola	1,6%	93,7%	4,7%
E. M. Luis Augusto Crispim	0,9%	90,3%	8,7%
E. M. Radegundes Feitosa	1,6%	85,9%	12,4%
E. M. Raimundo Nonato	0,8%	91,7%	7,5%
E. M. Violeta Formiga	0,8%	89,6%	9,5%

Fonte: elaborado pela autora.

Sabe-se que valores acima de 2000lux estão relacionados com a probabilidade de ofuscamento, sendo também associados à presença de luz solar direta no ambiente. A E.M. Anaíde Beiriz apresentou os maiores valores, com um

percentual de ocorrência de 19,8% na faixa acima de 2000lux. Isso sugere a possibilidade de luz direta dentro das salas de aulas. As escolas Leonel Brizola e Raimundo Nonato apresentaram os menores valores, 4,7 e 7,5% respectivamente.

8 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral analisar o potencial de aproveitamento da luz natural, considerada para efeitos dessa pesquisa, como fonte única de iluminação em salas de aula das escolas municipais de João Pessoa-PB, construídas a partir de um projeto padrão elaborado pela prefeitura.

A abordagem desse tema teve a intenção de evidenciar a necessidade imperativa e inadiável de se elaborar projetos que atendam não apenas as prerrogativas básicas de programa, funcionalidade, partido arquitetônico, tipologia, etc., mas também as exigências de conforto ambiental e eficiência energética. A harmonia com a natureza e a extração de recursos de forma sustentável tem caracterizado um novo tipo de edificação uma nova forma de construir, preocupada com a eficiência energética, chamada de “construção verde”.

As escolas são ambientes bastante propícios para pôr em prática esse tipo de atitude, posto que desenvolvem a maioria de suas atividades durante o dia e, com isso, podem ser plenamente atendidas com o uso da iluminação natural. Além disso, são ambientes ideais para educar, conscientizar e ensinar os futuros cidadãos à respeito da importância da utilização sustentável dos recursos naturais, em sua maioria escassa e esgotável.

A inesgotabilidade da luz solar torna seu uso prioritário em detrimento da utilização de outras fontes de iluminação artificial, que demandam caros recursos para a sua produção e instalação, onerando a manutenção de edifícios, principalmente públicos, onde geralmente não há preocupação do usuário final em poupar energia. Essa preocupação deve, portanto, partir dos projetistas por meio da adoção de medidas direcionadas, desde a concepção inicial do projeto, ao aproveitamento dos recursos naturais.

Diante da existência de 10 escolas construídas na cidade de João Pessoa segundo um mesmo projeto padrão, surgiu a possibilidade de avaliação do potencial lumínico das mesmas, no que diz respeito à iluminação natural. Isso representou uma grande oportunidade, não apenas por permitir avaliar o potencial de aproveitamento da luz natural nas escolas já construídas, mas também por permitir a realização de contribuições à construção de novas escolas através de

recomendações e sugestões ao projeto padrão que ainda continua em uso pela Prefeitura Municipal de João Pessoa.

Na análise do potencial de aproveitamento da luz natural nas salas de aula das escolas padrão foi empregado como método medições da iluminância *in loco* e simulações dinâmicas da luz natural com modelos digitais e arquivos climáticos reais. A existência de três escolas com orientações rigorosamente iguais e entornos diferenciados permitiu ainda analisar a influência deste na disponibilidade da luz.

As medições *in loco* e as simulações computacionais geraram uma série de resultados, cujas principais conclusões serão apresentadas a seguir.

8.1 Medições *in loco*

Após a análise sobre a obstrução do entorno das 10 escolas em estudo, identificou-se que as escolas Afonso Pereira e Leonel Brizola possuíam exatamente a mesma orientação, porém diferentes graus de obstrução do entorno, sendo a Leonel Brizola 35,7% mais obstruída do que a Afonso Pereira.

As medições da iluminância, sob as mesmas condições de posicionamento dos sensores, de data, de horário e de condição de céu, nas duas escolas acima citadas revelaram que a Afonso Pereira, com entorno menos obstruído, apresenta uma iluminância média de 859lux, enquanto a Leonel Brizola, com entorno mais obstruído, apresentou uma iluminância média de 624lux. Isso significa dizer que, segundo as medições *in loco*, a E.M. Afonso Pereira apresentou uma iluminância média 37,6% maior do que a da E.M. Leonel Brizola.

Através dos dados obtidos com as medições foi possível calcular alguns indicadores de desempenho. Na medição de cada escola, considerando a leitura dos três sensores, obteve-se 1437 ocorrências ao total. Na E. M Afonso Pereira, das 1437 ocorrências, 79% deram igual ou acima de 500lux, enquanto que na E.M. Leonel Brizola essa percentual equivaleu à apenas 58%.

Para o indicador de desempenho que representa a faixa de iluminância natural útil, ou seja, o intervalo maior do que 100lux e menor do que 2.000lux, a E.M. Afonso Pereira apresentou 96% de suas ocorrências dentro dessa faixa, enquanto a E. M. Leonel Brizola 95%.

Considerando as ocorrências que deram acima de 2.000lux, equivalente ao indicador de desempenho INU maior que 2.000lux, ou seja, o intervalo onde possivelmente pode estar ocorrendo ofuscamento, a E.M. Afonso Pereira apresentou apenas 1% das ocorrências, enquanto a E.M. Leonel Brizola apresentou valores insignificantes, próximos de 0%.

Pelas medições *in loco* permite-se concluir portanto, que as duas escolas possuem um grande potencial de aproveitamento da luz natural, diretamente afetado pelos diferentes graus de obstrução do entorno

8.2 Simulações computacionais

Dentre os indicadores de desempenho gerados nas simulações computacionais, utilizamos nessa pesquisa o ALN e o INU. A análise dos dados gerados para o parâmetro ALN indicou que em todas as escolas as salas posicionadas ao lado da escada apresentam as menores autonomias da luz natural em função do sombreamento causado pelo reservatório de água posicionado sobre a escada, obstruindo a entrada de luz pelo clerestório. Tomando como exemplo a E.M. Anayde Beiriz, pode-se dizer que a sala 01 apresenta valores médios em torno de 9,91% maiores do que os da sala 07, próxima à escada. Essa variação entre as salas 01 e 07 se repete em todas as escolas, com pequenas diferenças de percentuais.

As salas de aula de todas as escolas estudadas apresentam valores de ALN bastante homogêneos, com pelo menos 70% de autonomia da luz natural em quase toda a área do ambiente, independentemente da orientação, sendo que nas áreas próximas às aberturas laterais, esses valores chegam a quase 95%, podendo-se concluir que são ambientes naturalmente iluminados ao longo do ano.

O cálculo da média dos valores de ALN obtidos nas simulações de cada escola permitiu identificar a Anayde Beiriz com a maior média de valores, 86,54% e a Leonel Brizola com a menor, 75,22%. Isso pode ser explicado respectivamente pela orientação daquela ser mais inclinada em relação ao Norte expondo-a mais ao sol nascente e poente e esta, por estar implantada num terreno cuja topografia a deixa semi-enterrada, com um entorno bastante adensado, causando grande interferência na disponibilidade da luz natural.

Na comparação dos valores médios de ALN das escolas Afonso Pereira, Leonel Brizola e Raimundo Nonato, cujas orientações são rigorosamente iguais, todas três apresentam valores diferenciados, 85,18%, 75,55% e 82,64% respectivamente, evidenciando a importância do entorno na disponibilidade da luz natural.

Os elevados valores obtidos para o parâmetro ALN nas áreas próximas às aberturas laterais das salas de aula indicaram a possibilidade de ocorrência de ofuscamento dentro das salas de aula e a necessidade de se estudar esse fenômeno. A análise do parâmetro $INU > 2.000\text{lux}$ permitiu portanto, identificar quais áreas das salas de aula estavam sendo mais afetadas pelo problema.

A análise das isolinhas criadas para o parâmetro INU maior do que 2.000lux mostrou que as áreas próximas às aberturas laterais são as mais afetadas, tanto no bloco 01, quanto no bloco 02 de todas as escolas estudadas, decrescendo à medida em que se aproxima do fundo da sala, onde se encontra a abertura zenital. Na maioria das escolas, a área atingida não chega nem à metade da sala e as escolas Afonso Pereira, Anayde Beiriz e Rade Gundis Feitosa são as mais atingidas em detrimento da Leonel Brizola, a menos atingida.

Os resultados e análises obtidos nessa pesquisa permitiram concluir que há um grande potencial de aproveitamento da iluminação natural nas escolas padronizadas da rede municipal de João Pessoa-PB, visto que em todas as escolas, uma média de pelo menos 50% da área total das salas apresentam valores acima de 500lux por pelo menos 70% do ano. Isso significa dizer que as atividades desenvolvidas nas salas de aula podem ser plenamente realizadas das 07h:00min às 17h:00min, apenas utilizando a luz natural.

Foram identificados percentuais muito altos de valores de $INU > 2.000\text{lux}$ nas áreas próximas às aberturas laterais das salas de aula, indicando a possível ocorrência de ofuscamento e de incidência direta de raios solares no plano de trabalho, o que poderia representar um tema interessante para trabalhos futuros, qual seja o estudo de elementos de controle da luminosidade excessiva incidente dentro das salas de aula.

8.3 Recomendações ao projeto padrão

Sugerir ao setor de projetos da PMJP que estude a viabilidade técnica de realocar o reservatório de água das futuras escolas-padrão, fazendo com que este equipamento seja edificado em estrutura separada da edificação escolar, de sorte a permitir um melhor aproveitamento da luz natural nestes prédios.

Sugerir também ao referido setor que evite o posicionamento do ginásio poliesportivo em frente às fachadas onde se encontram as aberturas das salas de aula, para que o mesmo não represente um elemento de obstrução do potencial da luz natural disponível.

Priorizar a escolha de terrenos que permitam a implantação do prédio da escola de forma que seu eixo transversal fique perfeitamente alinhado ao sentido Norte-Sul, pois como visto, qualquer inclinação nesse eixo aumenta os níveis de iluminação dentro das salas de aula, trazendo problemas de ofuscamento e incidência direta de raios solares.

Quando não for possível implantar o prédio da escola da forma descrita anteriormente, especificar em projeto elementos de controle externos ou internos que bloqueiem ou amenizem o excesso de luminosidade incidente dentro da sala de aula.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: iluminação de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15215-1**: iluminação natural: Parte 1 - Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15215-2**: iluminação natural: Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15215-3**: iluminação natural: Parte 3 - Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15215-4**: iluminação natural: Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

AIZLEWOOD, M. E.; LITTLEFAIR, P. J. **Daylight prediction methods: a survey of their use**. Garston Watford, UK, British Research Establishment, 1994.

AMORIM, Cláudia N. D. et al. **Avaliação do módulo educacional edifício Fiocruz – Brasília, uso da luz natural e eficiência energética**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

ASSIS, Eleonora Sad de. **Bases para a determinação dos recuos e volumetria dos edifícios, considerando a insolação e iluminação natural, na revisão da Lei de Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte, MG**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-americano de Conforto e no Ambiente Construído. Gramado, 1995

AZEVEDO, Giselle A. N.; BASTOS, Leopoldo Eurico G.; BLOWER, Hélide S. **Escolas de ontem, educação hoje: é possível atualizar usos em projetos padronizados?** Anais do III Seminário Projetar. Porto Alegre: 2007.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A. & STEEMERS, K. (org.). **Daylighting in architecture: a european reference book**. 1ª ed. Commission of the European Communities, Directorate – General XII for Science Research and Development. London: James & James Ltd, 1993.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. 4ª ed. Maceió: EDUFAL, 2004.

BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva et al. **Medida de refletância de cores de tintas através de análise espectral**. Ambiente construído: Porto Alegre, v.3, n.2, p. 69-76, abr./jun. 2003.

CLARO, Anderson et al. Comparação dos níveis de iluminação obtidos através de simulações computacionais no software Apolux, usando os 15 modelos de céu adotados pela CIE. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2010.

COSTA, Lúcio. **Biblioteca Educação é cultura: Arquitetura**. Rio de Janeiro: Bloch: FENAME, 1988.

CORRÊA, Silvia R. Morel; LOPES, Aline Cesar de S. **Estudo de caso: proposta de adequação do sistema de iluminação suplementar em sala de aula padrão da rede municipal de Florianópolis**. ENTAC 2006. 0192-201.

COUTINHO FILHO, Erivaldo F. et al. **Avaliação do conforto ambiental em uma escola municipal de João Pessoa**. In: IX Encontro de Extensão e X Encontro de Iniciação à Docência. UFPB/CT/ Departamento de Engenharia de Produção/PROBEX. João Pessoa, 2007.

CRHISTAKOU, Evangelos Dimitrios. **A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura. 2004**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2004. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/5484/1/evangelos_dimitrios.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2011.

DECRETO FEDERAL NÃO NUMERADO. **Dispõe sobre a criação do Selo Verde de eficiência energética**. Instituído em 08 de dezembro de 1993. Publicado no DOU de 09 de dezembro de 1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/Anterior%20a%202000/1993/Dnn1931.htm>. Acesso em: 09 jul. 2011.

DIMOUDI, A.; KOSTARELA, P. **Energy monitoring and conservation potencial in school buildings in the C' climatic zone of Greece**. Renewable Energy, 34, 2009. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/renene>>. Acesso em: 02 set. 2011.

DUTRA, Luciano; ANDRADE, Suely F. de. **Iluminação em escolas públicas em Florianópolis: ênfase no projeto de salas de aula**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanço Energético Nacional 2011: Ano Base 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

FIGUEIRO, M. G. et al. **Measuring circadian lightis and its impact on adolescents**. In: Lighting Research & Technology. June 2011; 43 (2); pp 201-215. Disponível em: <<http://lrt.sagepub.com/content/43/2.toc>>. Acesso em: 14 mar. 2012.

FROTA, Anésia Barros e SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. 2ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GONZALO, Guillermo Enrique. **Manual de arquitetura bioclimática**. Ed. Nobuko 2004.

HEWITT, Dave. **Green features encourage schools to lighten up: An Oregon high school is a model for energy-effective design**. School Construction, Agosto/2002. Disponível em: <<http://www.djc.com/news/co/11136438.html>>. Acesso em: 27 jul. 2011.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. **CIE ISO 15469:2004 (CIE S 011/E:2003): Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky**. International Commission on Illumination: Vienna, 2004.

_____. **CIE TC-3-33: Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs**. International Commission on Illumination: Vienna, 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA); SOLAR HEATING AND COOLING PROGRAMME TASK 31. **Application of the CIE test cases to assess the accuracy of lighting computer program, a report of IEA SHC Task 31/IEA ECBCS Annex 29: Daylighting Buildings in the 21st Century**. France: ENTPE, 2005. Disponível em: <http://www.iea-shc.org/publications/downloads/task31-CIE_Test_Cases.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2012.

IPARAÍBA, Portal de notícias. **Prefeitura inaugura escola para 1.200 alunos, nesta segunda-feira**. Notícia veiculada em 16 de março de 2008 às 16h04min. Disponível em: <<http://www.iparaiba.com.br/noticias,118423,2,prefeitura+inaugura+escola+para+1200+alunos+nesta+segunda-feira.html>>. Acesso em: 02 de ago. 2011.

KREMER, Adriano. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. 2002**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

KRÜGER, Eduardo L.; DORIGO, Adriano Lúcio. **Daylighting analysis in a public school in Curitiba, Brazil**. Science Direct, Renewable Energy, 33 (2008), 1695-1702. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/renene>>. Acesso em: 02 set. 2011.

LAGIOS, Kera; NIEMASZ, Jeff; REINHART, Christoph F. **Animated building performance simulation (ABPS) – Linking Rhinoceros/Grasshopper with Radiance/Daysim**. Fourth National Conference of IBPSA-USA. New York City/NY, 2010.

LAM, William M. C. **Sunlighting as a formgiver for architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

LARA, Fernando Luiz. **Ambiente fecundo: A urgência da sustentabilidade como janela de oportunidade para a arquitetura**. Revista AU nº 179, ano 24, fevereiro de 2009.

LEDER, Solange Maria; LIMA, Eliana F. Costa. **Iluminação natural e eficiência energética: Estudo de caso no Campus da UFPB em João Pessoa-PB**. In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória, 2011.

LIMA, Ana Beatriz et al. **A influência de diferentes aberturas zenitais na distribuição da luz natural e na redução do consumo de energia elétrica**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

LOISOS, George. **Daylighting in Schools, an investigation into the relationship between daylighting and human performance**. Pacific Gas and Electric Company, 1999. Disponível em: <<http://www.coe.uga.edu/sdpl/research/daylightingstudy.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2012.

LONGO, Tiago A. et al. **Potencial de redução do consumo de energia elétrica em sistemas de iluminação artificial em salas de aula**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

MAAMARI, F. et al. **Reliable datasets for lighting programs validation, benchmark results**. Solar Energy, 2005. Vol. 79 (2). Pg. 213-215. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140670106818904>>. Acesso em: 19 mar. 2012.

MARCHIS, Alessandro et al. **Relação entre iluminação natural e eficiência energética em edifício do campus universitário da UnB – elementos determinantes**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

MARDALJEVIC, John. **Daylight simulation: Validation, sky models and daylight coefficients**. 1999. Tese (Doutorado em Filosofia) - Institute of Energy and Sustainable Development. De Montfort University Leicester, 1999. Disponível em: <http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/lib/exe/fetch.php?media=resources:mardaljevic_chap1.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2012.

MEC, FNDE, DIRPE, CGEST. **Instruções e procedimentos para elaboração de projetos de implantação para construção de escolas que utilizam os projetos-padrão do FNDE - Cartilha técnica**. MEC, 2009. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/index.php>>. Acesso em: 08 jun 2011.

MENDES, Nathan; WESPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; CUNHA NETO, José A. Bellini. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n4, p47-68, out./dez.2005.

MONTEIRO, José Rodrigo V.; LEAL, Liliane de Q.; LEDER, Solange Maria. **Análise sobre os efeitos do sombreamento no desempenho térmico de espaços urbanos**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

MOORE, Fuller. **Concepts and practice of architectural daylighting**. Van Nostrand Reinhold Company: New York, 1985.

ORNSTEIN, Sheila; ROMERO, Marcelo. **Avaliação pós-ocupação do ambiente construído**. São Paulo: Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo, 1992.

PEREIRA, Fernando Oscar R. apud KREMER 2002. **Iluminação**. Apostila do curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho. Florianópolis, 1994.

PEREIRA, Fernando Oscar R. **Iluminação natural no ambiente construído**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, 1995.

PEREIRA, Fernando Oscar R.; GONZÁLEZ, Alexander C.; ATANASIO, Veridiana. **Ensino e aprendizagem do fenômeno da iluminação natural na arquitetura com modelos físicos**. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

PEREIRA, Fernando Oscar R. et al. **Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios?** In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

PEREIRA, Roberto C. *et al.* **Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n. 4, p103-115, out./dez. 2008. Disponível em: <<http://www.sumarios.org/sites/default/files/pdfs/5147-24292-1-pb.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2012.

PEREIRA, Roberto C.; PEREIRA, Fernando O. R.; CLARO, Anderson. **Avaliação do simulador computacional Apolux através do emprego de mapeamento digital de luminâncias**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

PROCEL. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/pci/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em: 09 jul. 2011.

RAMOS, Greici; GHISI, Enedir. **Comparação de iluminâncias internas e externas obtidas por meio de simulação computacional**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

REINHART, Christoph F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Cambridge: Harvard University, 2010.

REINHART, Christoph. F. **Experimental Validation of Autodesk 3ds Max Design 2009 and Daysim 3.0**. National Research Council Canada – Institute for Research in Construction (NRC-IRC). Ottawa-Canadá (2008)/Harvard University, Graduate School of Design. Cambridge, 2008. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>>. Acesso em: 06 mar. 2012.

REINHART, Christoph F.; ANDERSEN, M. **Development and validation of a Radiance model for a translucent panel**. National Research Council Canada – Institute for Research in Construction (NRC-IRC). Canadá, 2006. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>>. Acesso em: 06 mar. 2012.

REINHART, Christoph F.; FLITZ, A. **Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design**. Energy and Buildings, v. 38, n. 7, July 2006, p. 824-835. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778806000600>>. Acesso em: 16 jul. 2011.

REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design**. Leukos, v. 3, n. 1, 2006.

REINHART, Christoph F.; WIENOLD, Jan. **The daylight dashboard – A simulation-based design analysis for daylight spaces**. Building and Environment, v. 46, Issue 2, 2011.

SANTOS, Flávia Maria de M. et al. **Análise de desempenho lumínico em ambiente escolar na cidade de Cuiabá-MT**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2010.

SANTOS, Janine Holmes dos. **Determinação e verificação de ângulos de céu decorrentes dos padrões de ocupação do solo nos bairros de Cabo Branco e Tambaú/João Pessoa-PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2007.

SANTOS, Laila S. et al (b). **O potencial de uso da luz natural em edifício escolar para a situação de Vitória-Es**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2010.

SENISSE, J. A. L. et al. **Desempenho lumínico de uma edificação sustentável: avaliação de uma sala de aula**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

SILVA, Aline Cristina J. da et al. **Avaliação do desempenho lumínico de edificação de ensino superior em cidade de clima tropical continental**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

TEIXEIRA, Wilson. **Softwares para iluminação: Passaporte de entrada para novos mercados profissionais**. Revista Lume Arquitetura. Ed. 07, Abril/Maio 2004.

THE SOCIETY OF LIGHT AND LIGHTING. **Lighting Guide 11: Surface reflectance and colour**. London: The Society of Light and Lighting CIBSE, 2001.

TOBLER, Robert F. **Radiosity-Ray Tracing**. Vienna University of Technology. The Institute of Computer Graphics and Algorithms, 1997. Disponível em: <<http://www.cg.tuwien.ac.at/research/rendering/rays-radio/>> Acesso em: 08 jul. 2011.

TOLEDO, Beatriz Guimarães. **Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico. 2008.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (U. S. DOE). **National Best Practices Manual - For buinding high performance schools.** Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/energysmartschools/nationalbestpracticesmanual31545.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2012.

VIANNA, Nelson S.; GONÇALVES, Joana Carla S. **Iluminação e arquitetura.** 2ª ed. São Paulo: Geros s/c Ltda, 2004.

VILELA, Jacqueline A.; ASSIS, Eleonora S.; PAIVA, José Eustáquio M. de. **Variáveis do clima urbano: Análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009.

WEI WU; Edward Ng. **A review of the development of daylighting in schools.** In: Lighting Research & Technology. June 2003; 35 (2); pp 111-124. Disponível em: <<http://lrt.sagepub.com/content/35/2.toc>>. Acesso em: 14 mar. 2012.

ANEXOS

ANEXO A - Relação das escolas padrão construídas na cidade de João Pessoa-PB

POLO	NOME	ENDEREÇO	TELEFONE	DIRETOR(A)
I	Escola Municipal Prof. Afonso Pereira	Rua Deputado Valdevino Lobo Maia, SN - Cidade Verde/Mangabeira VIII	3214-3189	Mª das Graças M. Freire
II	Escola Municipal Educ. Francisco Pereira da Nóbrega	Rua Elias Cavalcanti de Albuquerque, SN - Rangel/Cristo Redentor	3218-9364	Rúbia Aliane
V	Escola Municipal Gov. Leonel Brizola	Rua Maria Caetano Fernandes de Lima, Nº 200 - Tambauzinho	3214-7171	Socorro Leite
VI	Escola Municipal Violeta Formiga	Avenida Alfredo José Ataíde, SN - Alto do Céu/Mandacarú	3243-5696/ 3243-7918	Elizabete Bazilino
VI	Escola Municipal Esc. Luiz Augusto Crispim	Rua José Peregrino Montenegro, SN - Bairro dos Ipês	3214-7933	Braz de Lorenzo
VII	Escola Municipal Anayde Beiriz	Avenida Cidade Cajazeiras, SN - Cidade Verde/Bairro das Indústrias	3218-5817	Marcos Freitas
VIII	Escola Municipal Econ. Celso Monteiro Furtado	Rua Henrique Joaquim dos Santos, João Paulo II/ Funcionários II	3218-9386/ 3214-3669	Joseane Dóia
VI	Escola Municipal Chico Xavier	Rua Telegrafista Elesbão Santiago, SN - Jardim Oceania/Bessa	-----	Ivânia Socorro
IV	Escola Municipal Radegundis Feitosa	Rua Dona Cândida Formiga, SN - Laranjeiras/José Américo	-----	Elizabete Souza
VIII	Escola Municipal Jorn. Raimundo N. Batista	Rua Projetada, SN - Conjunto Gervásio Maia/ Residencial Colinas	3214-3209	

ANEXO B - Coordenadas geográficas das escolas padrão de João Pessoa -PB

ESCOLAS	COORDENADAS	ESCOLAS	COORDENADAS
E.M. ANAYDE BEIRIZ	latitude: 7°10'25.77"S longitude: 34°55'45.95"O	E.M. GOV. LEONEL BRIZOLA	latitude: 7° 7'27.88"S longitude: 34°50'51.01"O
E.M. AFONSO PEREIRA	latitude: 7°10'38.41"S longitude: 34°49'4.85"O	E.M. LUÍZ AUGUSTO CRISPIM	latitude: 7° 5'52.75"S longitude: 34°51'22.53"O
E.M. CELSO M. FURTADO	latitude: 7°10'24.61"S longitude: 34°52'52.26"O	E.M. RADEGUNDIS FEITOSA	latitude: 7°10'31.13"S longitude: 34°51'25.86"O
E.M. CHICO XAVIER	latitude: 7° 4'27.45"S longitude: 34°50'22.85"O	E.M. RAIMUNDO NONATO BATISTA	latitude: 7°11'55.81"S longitude: 34°53'4.20"O
E.M. FRANCISCO PEREIRA	latitude: 7° 9'57.28"S longitude: 34°52'53.39"O	E.M. VIOLETA FORMIGA	latitude: 7° 6'2.53"S longitude: 34°52'11.11"O

ANEXO C – Relatório de análise da simulação computacional da E. M. Afonso Pereira com 3 pontos

Daysim Simulation Report

In short...

- Daylight Factor (DF) Analysis: 100% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. If the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone should qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 (see www.usgbc.org/LEED/).
- Daylight Autonomy (DA) Analysis: The daylight autonomies for all core workplane sensors lie between 79% and 96% .
- Useful Daylight Index (UDI) Analysis: The Useful Daylight Indices for the Lighting Zone are $UDI_{<100}=1\%$, $UDI_{100-2000}=52\%$, $UDI_{>2000}=47\%$.
- Continuous Daylight Autonomy (DA_{con}) and DA_{max} Analysis: 100% of all illuminance sensors have a DA_{con} above 80% . 0% of all illuminance sensors have a DA_{max} above 5% .
- Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use in the investigated lighting zone is: 1.3 kWh/unit area.

Simulation Assumptions

Site Description: The investigated building is located in João (7.11 S/ 34.86 E). Daylight savings time lasts from April 1st to October 31st.

User Description: The zone is continuously occupied Monday through Friday from 7:00 to 17:00. The total annual hours of occupancy at the work place are 2609.9. The electric lighting is activated 2795.7 hours per year. The occupant performs a task that requires a minimum illuminance level of 500 lux. The predicted annual electric lighting energy use of 1.3 kWh/unit area Lighting and Blind Control: The electric lighting system has an installed lighting power density of 1.50 W/unit area and is manually controlled with an on/off switch. The office has no dynamic shading device system installed.

Scene Visualization: The figure below shows a visualization of the building model.

Detailed Simulation Results

The table below shows the daylight factor and various climate-based daylighting metrics for all sensor points individually. Definitions of these metrics can be found [here](#). To guide the reader's eye, the following color code is used:

- Coordinates of core workplane sensors are shown in **blue** .
- Daylight factor levels over 2% are shown in **green**.
- Annual light exposure levels of medium and high sensitivity (CIE Categories III and IV) are shown in **dark green** and **light green** .

x	y	z	DF [%]	DA [%]	DA_{con} [%]	DA_{max} [%]	$UDI_{<100}$ [%]	$UDI_{100-2000}$ [%]	$UDI_{>2000}$ [%]	DSP [%]	annual light exposure [luxh]
32.320	1.150	0.770	5.8	96	99	0	0	53	47	100	7173692
32.320	3.450	0.770	2.7	85	95	0	1	99	0	99	3860118
32.320	5.750	0.770	2.2	79	92	0	1	99	0	97	3397214

Simulation Tips

- for EnergyPlus, TRNSYS and DOE2.1 users: In case you want to import the results from your Daysim simulation into TRNSYS or DOE2.1 for a more accurate simulation of building occupancy and electric lighting loads, an annual internal gains file can be found under: [C:/DAYSIM/projects/res/Afpereira3pnew_active.intgain.csv](C:/DAYSIM/projects/res/Afpereira3pnew_active.intgain.csv). More details can be found [here](#)
- for ECOTECH users: In case you want to import any of the results from the table above into Ecotect, a number data files with the extension *.DA have been generated under: <C:/DAYSIM/projects/res>. In Ecotect go to DISPLAY >> ANALYSIS AND GRID SETTINGS >> PROPERTIES. Within the 'Analysis Grid Management' dialogue go to 'Manage Grid Data' >> 'Import Data' and select a file with the extension *.DA. More details can be found [here](#).

Warnings

ANEXO D – Relatório de análise da simulação computacional da E. M. Leonel Brizola com 3 pontos

Daysim Simulation Report

In short...

- Daylight Factor (DF) Analysis: 67% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. If the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone would not qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 as the area ratio of sensors with a daylight factor over 2% would need to be 75% or higher (see www.usgbc.org/LEED/).
- Daylight Autonomy (DA) Analysis: The daylight autonomies for all core workplane sensors lie between 64% and 94% .
- Useful Daylight Index (UDI) Analysis: The Useful Daylight Indices for the Lighting Zone are $UDI_{<100}=2\%$, $UDI_{100-2000}=78\%$, $UDI_{>2000}=19\%$.
- Continuous Daylight Autonomy (DA_{con}) and DA_{max} Analysis: 100% of all illuminance sensors have a DA_{con} above 80% . 0% of all illuminance sensors have a DA_{max} above 5% .
- Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use in the investigated lighting zone is: 1.9 kWh/unit area.

Simulation Assumptions

Site Description: The investigated building is located in João (7.11 S/ 34.86 E). Daylight savings time lasts from April 1st to October 31st.

User Description: The zone is continuously occupied Monday through Friday from 7:00 to 17:00. The total annual hours of occupancy at the work place are 2609.9. The electric lighting is activated 2747.7 hours per year. The occupant performs a task that requires a minimum illuminance level of 500 lux. The predicted annual electric lighting energy use of 1.9 kWh/unit area Lighting and Blind Control: The electric lighting system has an installed lighting power density of 1.50 W/unit area and is manually controlled with an on/off switch. The office has no dynamic shading device system installed.

Scene Visualization: The figure below shows a visualization of the building model.

Detailed Simulation Results

The table below shows the daylight factor and various climate-based daylighting metrics for all sensor points individually. Definitions of these metrics can be found [here](#). To guide the reader's eye, the following color code is used:

- Coordinates of core workplane sensors are shown in **blue** .
- Daylight factor levels over 2% are shown in **green**.
- Annual light exposure levels of medium and high sensitivity (CIE Categories III and IV) are shown in **dark green** and **light green** .

x	y	z	DF [%]	DA [%]	DA _{con} [%]	DA _{max} [%]	UDI _{<100} [%]	UDI ₁₀₀₋₂₀₀₀ [%]	UDI _{>2000} [%]	DSP [%]	annual light exposure [luxh]
32.320	1.150	0.750	4.9	94	98	0	0	80	19	99	5856267
32.320	3.450	0.750	2.0	76	91	0	1	99	0	97	2941037
32.320	5.750	0.750	1.5	64	85	0	2	98	0	91	2474238

Simulation Tips

- for EnergyPlus, TRNSYS and DOE2.1 users: In case you want to import the results from your Daysim simulation into TRNSYS or DOE2.1 for a more accurate simulation of building occupancy and electric lighting loads, an annual internal gains file can be found under: [C:/DAYSIM/projects/res/LBrizola3p_active.intgain.csv](C:/DAYSIM/projects/res/LBrizola3p_active.intgain.csv). More details can be found [here](#)
- for ECOTECH users: In case you want to import any of the results from the table above into Ecotect, a number data files with the extension *.DA have been generated under: <C:/DAYSIM/projects/res>. In Ecotect go to DISPLAY >> ANALYSIS AND GRID SETTINGS >> PROPERTIES. Within the 'Analysis Grid Management' dialogue go to 'Manage Grid Data' >> 'Import Data' and select a file with the extension *.DA. More details can be found [here](#).

Warnings