

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

MARIANA C. MELO LUCENA

**ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA DO CENTRO DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA: UM ESTUDO DE CASO**

JOÃO PESSOA – PB

2015

MARIANA C. MELO LUCENA

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO LUMINOSO NAS SALAS DE AULA DO
CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA
PARAÍBA**

Dissertação elaborada sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Nome e co-orientação da Prof. Dr. Cláudia Torres e apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador Prof. Dr. CARLOS NOME
Co-orientador: Prof. Dr. CLÁUDIA TORRES

JOÃO PESSOA – PB

2015

L935i

Lucena, Mariana C. Melo.

Iluminação em salas de aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba: um estudo de caso / Mariana C. Melo Lucena.- João Pessoa, 2015.

107f. : il.

Orientador: Carlos Nome

Coorientadora: Cláudia Torres

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT

1. Arquitetura e urbanismo. 2. Salas de aula. 3. Iluminação natural. 4. Iluminação artificial complementar. 5. Consumo de energia.

UFPB/BC

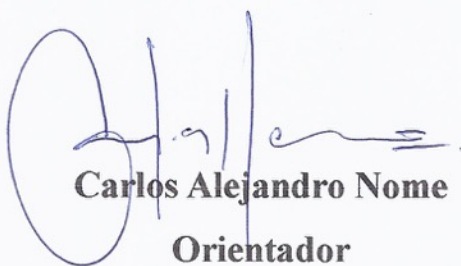
CDU: 72+711(043)

**Iluminação em salas de aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal
da Paraíba: Um estudo de caso**

Por

Mariana Caldas Melo Lucena

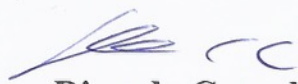
Dissertação aprovada em 24 de Agosto de 2015



Carlos Alejandro Nome
Orientador



Cláudia Verônica Torres Barbosa
Examinador Externo – UFPB



Ricardo Carvalho Cabús
Examinador Externo – UFAL

João Pessoa-PB
2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Senhor, pois é por Ele, para Ele e por meio Dele que consegui chegar até aqui.

Agradeço a minha família, que me apoiou durante todas as etapas da minha formação, com carinho, oração e incentivo, sendo meu suporte, nos dias difíceis. Em especial ao meu marido Davi Lucena, que tem sido esteio e equilíbrio durante toda essa caminhada.

Aos meus orientadores Carlos Nome e Cláudia Torres que contribuíram para minha formação como pesquisadora. Durante todo esse período não mediram esforços em partilhar seu tempo e conhecimento.

Ao professor Anderson Claro, pelo seu apoio e imensa disponibilidade.

E aos demais que contribuíram direta ou indiretamente para que esta pesquisa fosse concluída, me fazendo chegar até aqui.

RESUMO

As questões educacionais têm desencadeado muitas discussões no Brasil, onde tem sido colocada em pauta a qualidade do desempenho dos alunos, principalmente em ambientes educacionais públicos. Nesta pesquisa serão estudadas as questões relacionadas ao conforto visual, objetivando caracterizar o desempenho da iluminação natural e artificial complementar, visando avaliar os aspectos quantitativos (autonomia da luz natural, fator de luz do dia e luminância estática), qualitativos (uniformidade e eficiência luminosa), identificar fatores que possam contribuir ou interferir no desempenho da iluminação e avaliar o potencial de redução do consumo de energia em iluminar a partir da disponibilidade da luz natural nas salas de aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. O método adotado para a análise do comportamento da luz natural foi a simulação computacional, em que os parâmetros dinâmicos analisados foram: fator de luz do dia e autonomia da luz natural e a iluminância da luz artificial como parâmetro estático. A partir disso, os ambientes foram divididos em zonas de diferentes níveis de iluminação, de forma que fosse possível identificar onde há maior necessidade de uso de iluminação artificial suplementar. Para quantificar o potencial de redução do consumo de energia dos sistemas existentes em relação aos propostos a partir da disponibilidade de luz de cada ambiente estudado foram feitas simulações no Daysim. Concluindo que em todas as salas de aula estudadas a luz natural não possui autonomia suficiente para alcançar os níveis de iluminância recomendado pela norma para ambientes de ensino, necessitando assim de um sistema de iluminação elétrica que complemente o déficit de luz, ou seja, um sistema integrado de luz natural e artificial complementar.

Palavras-chave: Iluminação natural. Iluminação artificial complementar. Salas de aula. Consumo de energia.

SUMMARY

Educational issues have triggered much discussion in Brazil, where it has been put in question the quality of student performance, especially in public educational settings. In this research the issues related to visual comfort will be studied in order to characterize the performance of complementary natural and artificial lighting, aiming to evaluate the quantitative aspects (autonomy of natural light, daylight factor and static luminance), qualitative (uniformity and light output) identify factors that may contribute to or interfere with the lighting performance and assess the potential for reducing energy consumption in light of the availability of natural light in the classrooms of the Federal University of Paraiba Technology Center. The method adopted for the analysis of natural light behavior was the computer simulation, in which dynamic parameters analyzed were: Daylight factor and autonomy of natural light and the illuminance of artificial light as static parameter. From this, the surroundings were divided into zones of different levels of illumination, so that it was possible to identify where there is greatest need for additional artificial lighting use. To quantify the reduction potencial of the power consumption of the systems in relation to the proposed from the availability of light each environment studied were simulated in Daysim. Concluding that in all classrooms studied natural light does not have enough autonomy to achieve the illuminance levels recommended by the standard for educational environments, thus requiring an electrical lighting system that complements the light deficit, ie a system integrated natural light and artificial supplement.

Keywords: Natural lighting. Supplementary artificial lighting. Classrooms. Energy consumption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figure 01- Estrutura do olho humano.....	20
Figura 02 - Ofuscamento direto por excesso de brilho na janela. Sala de aula J, no CT, na UFPB.	22
Figura 03 - Ofuscamento indireto por reflexos indesejados no quadro. Sala de aula D, no CT, na UFPB.	22
Figura 04 - Curvas demonstrando o nível de melatonina e cortisol ao longo do dia.....	25
Figura 05 - Fonte de luz natural que penetram o edifício.....	26
Figura 06 - Direcionalidade do fluxo luminoso.....	30
Figura 07 - Classificação do sistema de iluminação quanto ao fluxo luminoso.....	31
Figura 08 - Exemplo da iluminação artificial suplementar permanente (IASP) em um ambiente.	34
Figura 09 - Sensor de luminosidade.....	36
Figura 10 - Exemplo de circuito próximo à janela com acionamento independente.	38
Figura 11 - Representação dos feixes de lux (vetores) no plano de trabalho.	40
Figura 12 - Refletâncias recomendadas para superfícies em salas de aula.	41
Figura 13 - Proporção das luminâncias recomendadas.	42
Figura 14 - Etapas Metodológicas.....	52
Figura 15 - Implantação geral Centro de Tecnologia, UFPB. Destacado em vermelho o bloco D.	54
Figura 16 - Modelos luxímetros utilizados na medição.....	54
Figura 17 - Céu parcialmente encoberto no dia 28.08.2014.	55
Figura 18 - Mapa de João Pessoa. Destaque no bairro Cidade Universitária.....	57
Figura 19 - Implantação Centro de Tecnologia, UFPB.	57
Figura 20 - Esquadria sala de aula dos blocos A, B e D.	58
Figura 21 - Tipologia dos blocos A, B e D.....	58
Figura 22 - Foto fachada noroeste bloco D e E.....	59
Figura 23 - Planta baixa layout das salas de aula dos blocos A, B e D.	59
Figura 24 - Foto Interna Sala de Aula.....	60

Figura 25 - À esquerda parede em tijolo na cor terracota. À direita piso em cerâmica.	60
Figura 26 - As carteiras são em encosto, assento e prancheta em polipropileno azul.	60
Figura 27 - Edificação na porção oeste do bloco A e B.	61
Figura 28 - Vegetação entorno blocos B e D.	61
Figura 29 - Vegetação entorno bloco D e edificação da biblioteca setorial ao fundo.	61
Figura 30 - Vista fachada sul blocos em análise.	62
Figura 31 - Esquadria sala de aula bloco J e vista dos brises horizontais.	62
Figura 32 - À esquerda parede emassada e pintada na cor branca. À direita piso em granilite.	63
Figura 33 - Foto Interna Sala de Aula.	63
Figura 34 - Planta Baixa Layout e Planta de pontos de luz.	64
Figura 35 - Edificação a sul do bloco J e a sul do bloco M.	64
Figura 36 - Edificação térrea a (Tipo 03) e Edificação térrea mais um pavimento (Tipo 04).	65
Figura 37 - Fotos sala de aula tipo 03 (frente e fundo), bloco I.	65
Figura 38 - Salas de aula tipo 01 bloco I e Planta baixa distribuição das luminárias e circuitos sala de aula tipo 04 térreo.	66
Figura 39 - Vegetação entorno bloco.	66
Figura 40 - Foto sala de aula tipo 04 térreo.	67
Figura 41 - Foto sala de aula tipo 04 10 pavimento.	68
Figura 42 - Planta baixa layout sala de aula tipo 04 térreo e Planta baixa distribuição das luminárias e circuitos sala de aula tipo 04 térreo.	68
Figura 43 - Fator luz do dia. Definição das zonas, bloco A.	75
Figura 44 - Autonomia da luz natural. Definição das zonas, bloco A.	75
Figura 45 - Isolinhas luminâncias, bloco A.	75
Figura 46 - FLD. Definição das zonas, bloco B.	76
Figura 47 - ALN. Definição das zonas, bloco B.	77
Figura 48 - Isolinhas luminâncias, bloco B.	77
Figura 49 - FLD. Definição das zonas, bloco D.	78
Figura 50 - ALN. Definição das zonas, bloco D.	78

Figura 51 - Isolinhas luminâncias, bloco D	79
Figura 52 - FLD. Definição das zonas, bloco J (1º pav.).....	81
Figura 53 - ALN, bloco J (1º pav.)	81
Figura 54 - FLD. Definição das zonas, bloco J (2º pav.)	82
Figura 55 - ALN, bloco J (2º pav.)	82
Figura 56 - FLD. Definição das zonas, bloco M.	83
Figura 57 - ALN, bloco M.	83
Figura 58 - Isolinhas luminâncias, sala menor, bloco J.	84
Figura 59 - Isolinhas luminâncias, sala maior (extremidades), bloco M.	85
Figura 60 - FLD, tipo 03, bloco I.	86
Figura 61 - ALN, tipo 03, bloco I.	86
Figura 62 - Isolinhas luminâncias, bloco I.....	87
Figura 63 - FLD, tipo 04, bloco I.	89
Figura 64 - ALN, tipo 04 bloco I.	89
Figura 65 - Isolinhas luminâncias, bloco I.....	90
Figura 66 - FLD, tipo 05, bloco I.	90
Figura 67 - ALN, tipo 05, bloco I.	91
Figura 68 - Luminárias utilizadas nas salas de aula tipo 01 e 04, tipo 02 e tipo 03, respectivamente.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Comparativo entre área, consumo e valor energia.....	16
Tabela 02 - Indicação sobre o consumo energético em edifícios não residenciais	16
Tabela 04 - Relação entre regulação do dimmer e consumo de potência.....	36
Tabela 05 - Estratégias de controle de luz e economia de energia.	36
Tabela 06 - Relação entre pré-requisitos e nível de eficiência.	37
Tabela 07 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido.	38
Tabela 08 - Relação entre área da abertura e área do piso.	40
Tabela 10 - Características das superfícies.....	69
Tabela 12 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 01).	74
Tabela 13 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 02).	80
Tabela 14 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 03).	85
Tabela 15 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 04).	88
Tabela 16 - Tabela síntese dos resultados obtidos através da simulação no Daysim.....	91
Tabela 17 - Tabela iluminância artificial no plano de trabalho.	93
Tabela 18 - Tabela relação entre área do piso e área de abertura.	94
Tabela 19 - Sistema de iluminação existente e o consumo.....	96
Tabela 20 - Redução de equipamentos e consumo em relação ao sistema de iluminação artificial proposto.....	96
Tabela 21 - Comparativo entre consumo atual x consumo proposto (on/off)	97
Tabela 22 - Comparativo entre consumo proposto (on/off) e consumo proposto.....	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Comparativo entre consumo atual (Consumo 1) e consumo proposta
(Consumo 02).....97

Gráfico 02 - Comparativo entre consumo 01 proposto (on/off) e consumo 02 proposto
(fotosensor+dimmer)98

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALN - Autonomia da Luz Natural

CC - Componente de Céu

CISBE – The Chartered Institution of Building Services Engineers

CRE - Componente Refletida Externa

CRI - Componente Refletida Interna

CT - Centro de Tecnologia

EFL - Educational Facilities Laboratories

FD - Fator de Luz do Dia

IESNA - Illuminating Engineering Society of North America

IASPI - Iluminação Artificial Suplementar Permanente para Interiores

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INU - Iluminância Natural Útil

IV - Infravermelho

PALN - Percentual de Aproveitamento da Luz Natural

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PSALI - Permanent Supplementary Artificial Lightning for Interiors

RTQ - C - Regulamento Técnico de Qualidade Comercial de Serviços e Público

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

UFBA - Universidade Federal da Bahia

UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UV – Ultravioleta

LABEEE/ UFSC - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa e Problemática	14
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Iluminação e os fatores humanos	19
2.1.1 Luz e seus efeitos sobre o sistema visual.....	19
2.1.2 Luz e seus efeitos fisiológicos.....	22
2.2 Sistemas de iluminação natural	26
2.2.1 Parâmetros de análise da luz natural.....	28
2.3 Sistemas de iluminação artificial.....	29
2.3.1 Parâmetros de análise da luz artificial	31
2.4 Sistema de iluminação integrado: luz natural + luz artificial	32
2.5 O Regulamento Técnico de Qualidade Comercial de Serviços e Público (RTQ-C)	37
2.6 Iluminação em Ambientes Educacionais.....	39
2.6.1 Fatores básicos de desempenho da iluminação	39
2.7 Software para análise computacional da luz natural.....	42
2.8 Pesquisas Recentes	44
3. METODOLOGIA	51
3.2. Estudo Piloto	53
4. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO	57
4.1 Tipo 01	58
4.2 Tipo 02.....	61

4.3 Tipo 03	64
4.4. Tipo 04	67
5. COLETA DE DADOS	71
6. ANÁLISE E RESULTADOS	73
6.1 Tipo 01	73
6.1.1 Bloco A	74
6.1.2 Bloco B	76
6.1.3 Bloco D	77
6.2 Tipo 02	79
6.2.1 Bloco J (1º pav.)	80
6.2.2 Bloco J (2º pav.)	81
6.2.3 Bloco M	83
6.3 Tipo 03	85
6.3.1 Bloco I	86
6.4 Tipo 04	87
6.4.1 Bloco I (Térreo)	88
6.4.2 Bloco I (1º pav.)	90
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
APÊNDICE I	107

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa estuda o conforto visual, objetivando identificar condições básicas de desempenho da iluminação natural e artificial complementar nas salas de aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

Kowaltowski (2013) afirma em seu livro que o ambiente físico dos espaços educacionais é, por essência, o local de desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem, onde 20% da população passa grande parte do dia. Sendo assim, torna-se pertinente levantar a discussão sobre o impacto dos elementos que compõem a arquitetura responsáveis por criar condições ambientais adequadas de forma que sejam facilitadoras do processo de ensino e aprendizagem.

As condições ambientais mencionadas por Kowaltowski (2013), de acordo com a organização EFL (Educational Facilities Laboratories) são: qualidade do ar, temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica de salas de aula (GROSS; MURPHY, 1986). Nesta pesquisa serão abordadas as questões relacionadas à iluminação – essencial na concepção projetual, partindo do pressuposto de que a grande maioria das atividades produtivas são tarefas visuais que necessitam de quantidade e qualidade de luz, podendo ser natural, artificial ou a combinação das duas. Além de ser fundamental para todos os processos que tornam possível ao cérebro se relacionar com o ambiente, sendo assim, parte integrante do processo de aprendizagem (BERTOLOTTI, 2007).

1.1 Justificativa e Problemática

O ambiente educacional é um espaço vivido. Nele os corpos se orientam para caminhar, sentar, levantar, enxergar, escrever, ler e se relacionar com os demais. As interferências que impedem tais atividades podem também restringir a saúde e o aprendizado, sendo caracterizadas como as condições desfavoráveis de conforto ambiental (BIAVA, 2008).

Para Vianna *et al.* (2001), o conforto ambiental interno pode ser entendido como a avaliação das exigências humanas, pois está baseado no princípio de que quanto maior for o esforço de adaptação do indivíduo, maior será sua sensação de

desconforto. De acordo com Lamberts *et al.* (2012), o conforto visual está relacionado com o conjunto de condições ambientais adequadas num determinado espaço, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, menor esforço, menor risco de prejuízos à visão e com redução dos riscos de acidentes.

Segundo Ribeiro (2004), é nos espaços educacionais e a partir dele que se desenvolvem as práticas pedagógicas, em que se pode constituir um espaço de possibilidades ou de barreiras; tanto o ato de ensinar quanto o ato de aprender exigem condições propícias: “[...] projetos inadequados de salas de aula influem no desempenho e rendimento de professores e alunos” (CASAS, 1999, p.15). Nesse sentido, percebe-se a importância de uma boa iluminação para um melhor desempenho e qualidade de vida dos usuários, preservando sua visão, o que não deve ser subestimado.

Rennhackkamp (1964) define que a função primordial de um edifício escolar é a de estimular o processo educacional; com isso, todos os esforços devem ser feitos para fornecer aos estudantes um ambiente educacional adequado e estimulante. Condições favoráveis de conforto luminoso, assim como térmico e acústico, são fundamentais para fomentar processos de ensino e aprendizagem, bem como assegurar suas continuidades. No que diz respeito à iluminação, esse esforço pode ocasionar não só problemas de aprendizagem, mas também alguns problemas de saúde (BERTOLOTTI, 2007):

A luz não só ajuda a ver e a reconhecer objetos, como também prepara seu corpo e sua mente para responder à ação, adaptando-se a qualquer tarefa que for solicitada a executar. Quanto melhores as condições de iluminação, mais fácil e mais rápida a tarefa será realizadas e menor será o esforço para os olhos (RENNHACKKAMP, 1964, p.1).

Dentro do âmbito educacional, de acordo com a Lei 9.394 (1996), a educação escolar compõe-se de: educação básica, formada pela educação infantil, ensino fundamental e médio e a educação superior. Esta última se desenvolve no ambiente da universidade, espaço gerador de conhecimento, de independência e autonomia,

propício às investigações, experimentação, criação e inovação nas diferentes áreas do conhecimento.

No entanto, falar em conforto luminoso e térmico relaciona-se a discussões sobre consumo energético. Dados fornecidos pela Universidade Federal da Paraíba, no ano de 2011, apontam que foram gastos em energia elétrica aproximadamente R\$ 8.500.000,00, que equivalem a uma média de consumo anual de aproximadamente 28.000.000kwh (Tabela 01). A partir da Tabela 02 que fornece algumas indicações sobre o consumo energético em edifícios não residenciais no Brasil e no mundo, a UFPB encontra-se na média de consumo de uma cidade como Salvador, bem abaixo das cidades europeias e algumas capitais do Brasil. Entretanto, em relação às outras universidades, o campus que possui maior consumo/m² é o da Universidade Federal da Paraíba, como é possível observar na Tabela 01. Chegando a ser o dobro do consumo das demais:

Tabela 01 - Comparativo entre área, consumo e valor energia

Universidade	Área (m ²)	Consumo 1 (kwh)	Consumo 2 (kwh/m ²)	Valor (R\$)
UFPB	185.614	28.000.000	150	8.475.823,43
UFBA	285.000	22.121.400	77,62	10.409.688,00
UFRN	394.000	27.357.293	69,44	10.385.277,00
UFPE	410.000	31.229.142	76,17	14.603.433,65

Fonte: Relatório de gestão (UFPB, UFBA, UFRN e UFPE), 2011.

Tabela 02 - Indicação sobre o consumo energético em edifícios não residenciais

Localidade	Consumo energético (kwh/m ² ao ano)
Salvador ¹	De 80 a 130
Rio de Janeiro ¹	Até 340
Florianópolis ¹	120
UK ²	De 248 a 634
França ²	De 250 a 300
Grécia ²	De 113 a 226
Suécia ²	De 110 a 290

Localidade	Consumo energético (kwh/m² ao ano)
Suíça ²	220
Noruega ²	De 190 a 235

Fonte: ¹ LAMBERTS ET AL, 1996; ² BURTON, 2001

Sendo assim, delimita-se como objeto de estudo desta pesquisa as salas de aula da Universidade Federal da Paraíba. Foram escolhidos os ambientes educacionais devido à complexidade e influência no quesito iluminação das salas de aulas, conforme já referenciado. Espaço este em que o aluno permanece maior parte do tempo em que se encontra na instituição, configurando-se, assim, como seu posto de trabalho.

Dessa forma, a questão investigada nesta pesquisa é se as salas de aulas localizadas na Universidade Federal da Paraíba possuem condições básicas de desempenho de iluminação para ambientes educacionais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Caracterizar o desempenho da iluminação natural e artificial complementar, nas salas de aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os aspectos quantitativos da luz natural e artificial complementar: autonomia da luz natural (natural), fator de luz do dia (natural) e luminância estática (artificial);
- Avaliar os aspectos qualitativos da luz natural e artificial complementar: uniformidade e eficiência luminosa;
- Identificar fatores que possam contribuir ou interferir no desempenho da iluminação;
- Avaliar o potencial de redução do consumo de energia em iluminação a partir a partir do zoneamento da disponibilidade da luz natural no interior dos ambientes;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico está dividido em oito tópicos em que serão discutidas questões relacionadas à iluminação e aos fatores humanos e como a luz afeta fisiologicamente os seres humanos. Bem como serão abordados os tipos de sistema de iluminação natural e artificial e a integração delas, assim como os seus parâmetros de análise. Após o panorama sobre a iluminação focaremos no ambiente escolar da sala de aula e como deve ser o comportamento ideal da luz nesses espaços a partir da análise das normas e manuais. Posteriormente, será feita uma descrição dos softwares que se adequam para os objetivos desta pesquisa e, por fim, a execução de um mapeamento do que vem sendo pesquisado nos últimos anos sobre iluminação natural e artificial complementar.

2.1 Iluminação e os fatores humanos

Neste tópico abordaremos quais os efeitos fisiológicos da luz nos seres humanos. Discutiremos as repercussões no sistema visual como fadiga visual e ofuscamento, bem como a relação com os ciclos hormonais: ciclo circadiano – melatonina e cortisol.

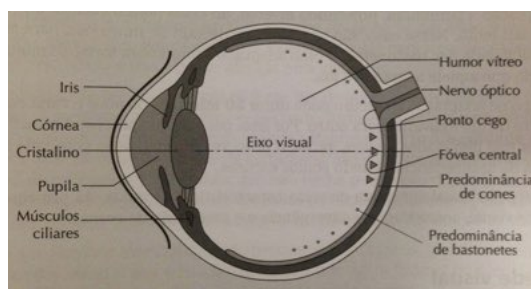
2.1.1 Luz e seus efeitos sobre o sistema visual

A quantidade de luz que chega aos olhos interfere diretamente no mecanismo fisiológico da visão e também na musculatura que comanda os movimentos dos olhos (IIDA, 2005). Os olhos são órgãos receptores de ondas eletromagnéticas que as convertem em impulso nervoso até chegar ao cérebro (KROMER; GRANDJEAN, 2005). Sua estrutura é dividida em três partes: os componentes oculares motores (o músculo do olho), os componentes óticos (a córnea, cristalino, pupila e humor aquoso e vítreo) e os neurológicos (a retina e o nervo ótico) (IESNA, 2000) (Figura 01).

De acordo com IESNA (2000), a luz que penetra no olho passa pelo meio óptico que é composto pela córnea, o humor aquoso, o cristalino e o humor vítreo, até chegar à retina, onde é formada a imagem invertida do objeto observado. A retina é formada por elementos fotorreceptores, os bastonetes e cones: os bastonetes são

muito sensíveis à luz e não permitem a visualização das cores, sendo sensíveis a baixos níveis de iluminação. Os cones são ativados a níveis normais ou altos de luminosidade, são responsáveis pela percepção das cores, de espaço e de acuidade visual.

Figure 01- Estrutura do olho humano



Fonte: IIDA, 2005

Os processos essenciais da visão são funções nervosas do cérebro; o olho é meramente um órgão receptor de raios de luz. O sistema visual completo controla cerca de 90% de todas as nossas atividades da vida diária, e é especialmente importante em muitos trabalhos. Levando em consideração inúmeras funções nervosas que estão sobre estresse, durante o ato de ver, não é surpresa que os olhos são, às vezes, uma fonte importante de fadiga (KROEMER; GRANDEJEAN, E., 2005, p. 215 -216).

Dentre os fatores que influenciam no sistema visual, nesta pesquisa serão considerados apenas os que podem ser ajustáveis em nível de projeto: a quantidade de luz, boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento e contrastes adequados (IIDA, 2005; LAMBERTS *et al.*, 2012). A não atenção a essas variáveis de projeto acarretam em consequências como:

Fadiga Visual

Ocorre quando os olhos estão submetidos a condições de iluminação com focos intensos de luz dentro do campo visual ou quando não dispomos de níveis de iluminância suficientes para a realização da tarefa, os olhos podem cegar a fadigar e a uma diminuição de sensibilidade (VIANNA, GONÇALVES, 2001). Iida (2005) conceitua que o rendimento visual tende a crescer a partir de 10 lux até cerca de 1000 lux: "A partir desse ponto, os aumentos do iluminamento não provocam

melhoras sensíveis do rendimento, mas a fadiga visual começa a aumentar” (IIDA, 2005).

Condições continuamente variáveis de intensidade de luz, ou seja, grande diferença de luminância entre a figura e fundo, contrastes excessivos, ou o plano de trabalho e seu entorno, exigem da visão constante adaptação, que podem resultar em cansaço visual, em se agravando a situação, pode-se chegar as doenças oculares, dores de cabeça e outros males ao organismo (NETO, 1980).

Kroemer e Grandjean (2005) apontam a existência de outros fatores que provocam a fadiga visual: cansaço dos músculos ciliares da acomodação por olhar muito perto para vários objetos pequenos, trabalho de muita precisão, leitura de textos impressos com má definição e os efeitos de fortes contrastes na retina.

De acordo com o relatório da *American National Safety Council*, 5% dos acidentes em indústrias ocorrem em decorrência da má iluminação, sendo que a fadiga óptica contribui para 20% desses acidentes (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

Ofuscamento

Quando o processo de adaptação não acontece normalmente devido a uma variação muito grande de iluminação, podendo gerar uma perturbação, desconforto ou até perda da visibilidade (LAMBERTS *et al.*, 2012) pelo brilho excessivo, tamanho e posição inadequada da fonte de luz, além do contraste excessivo, brilho refletido por superfícies polidas e tempo de exposição à claridade (NETO, 1980).

Ofuscamento, de acordo com a NBR ISO 8895-1 (2013), é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo visual que pode ocorrer por **contraste** – quando a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual é maior que 10:1; ou por **saturação** – que ocorre quando há a existência de uma luminância média acima de 25.000 cd/m² (LAMBERTS *et al.*, 2012).

Esse ofuscamento pode resultar apenas em um desconforto, que se dá pela existência de pontos brilhantes no campo visual, mas sem necessariamente prejudicar a visão dos objetos da tarefa visual (IIDA, 2005), ou em uma perturbação

visual, ou seja, enfraquece a visão do objeto, sem obrigatoriamente causar desconforto visual (LAMBERTS *et al.*, 2012), ou na inabilitação, “cegueira temporária”, é mais comum quando se tem a visão direta ou refletida da abobada celeste (VIANNA, GONÇALVES, 2001), mas também pode ser experimentado através de uma iluminação pontual ou por fontes brilhantes intensas (NBR ISO 8895-1: 2013). Podendo ocorrer direta (Figura 02) ou indiretamente (Figura 03), respectivamente, pela existência da fonte de brilho no campo visual, ou por reflexão.

Figura 02 - Ofuscamento direto por excesso de brilho na janela. Sala de aula J, no CT, na UFPB.



Fonte: LUCENA, 2014.

Figura 03 - Ofuscamento indireto por reflexos indesejados no quadro. Sala de aula D, no CT, na UFPB.



Fonte: LUCENA, 2014.

2.1.2 Luz e seus efeitos fisiológicos

Compreender como a luz influencia o corpo humano auxilia a descrever o impacto da iluminação nos seres humanos. Atualmente, sabe-se que a utilização da

luz artificial prolonga o efeito da luz do dia para o período noturno, o que de acordo com Edwards e Torcellini (2002) vem gerando alterações na saúde dos indivíduos.

A iluminação natural possui benefícios fisiológicos e psicológicos, a partir dos diferentes espectros da luz (LAM, 1986). Isso ocorre em decorrência de o corpo utilizar a luz como nutriente para os processos metabólicos, sendo ela responsável pelo estímulo das funções biológicas essenciais no cérebro (DR. OTTO, 1997, *apud* EDWARDS E TORCELLINI, 2012):

Quando falamos de saúde, equilíbrio e regulação fisiológica, estamos nos referindo a funções do sistema nervoso e do sistema endócrino. Estes grandes centros do corpo de controle são diretamente estimulados e regulados pela luz (DR. LIBERMAN, 1994, *apud* EDWARDS; TORCELLINI, 2012).

É através dos olhos que um grande número de processos bioquímicos no corpo humano é controlado e ativados a partir da luz que é recebida pelas células fotorreceptoras dos olhos interligadas por conexões nervosas ao cérebro, que enviam a mensagem para a glândula pineal (BOMMEL, 2006):

Este receptor é responsável pela forma com que o olho recebe a informação sobre a luz e a converte em um sinal elétrico que será interpretado no cérebro. Esse receptor não está relacionado com a visão, mas, juntando-se a outro fotopigmento chamado melaptosin, e através de um processo bioquímico, ele controla a glândula pineal (localizada no cérebro) para produzir um importante hormônio chamado melatonina, que controla muitas funções biológicas. O sistema circadiano, que regula as funções corporais, baseia-se nos sinais enviados por esse receptor (MARTAU, 2009, p. 135).

Dentre os processos bioquímicos controlados pela luz, o mais importante está relacionado ao controle do relógio biológico e à regulação de alguns hormônios importantes através de ciclos claro-escuro ou ciclo circadiano regulares, ou seja, ritmo da luz natural durante o dia e a escuridão durante a noite (BOMMEL, 2006).

O sistema circadiano é organizado neurologicamente para conduzir as funções corporais e é um mecanismo de regulação fisiológica generalizada. O tempo do ciclo circadiano é independente de um conhecimento explícito de relógio externo de tempo e, de fato, na ausência de estímulos ambientais periódicos, o relógio interno produz uma "subjativa" duração do dia, que difere de forma confiável a partir de 24 horas (EDWARDS E TORCELLINI, 2002).

Fernandes (2006) menciona que a capacidade do indivíduo de adequar seu ciclo de sono e vigília ao ciclo noite-dia é guiado por diversos elementos externos e internos que interagem para a manutenção de um ciclo circadiano, como a luminosidade e o calor do dia, a escuridão e a redução da temperatura ambiental à noite, as variações de incidência de luz no decorrer do dia, os relógios, os sons das cidades e de animais.

A luz pode além de sincronizar o relógio biológico, reduzir a depressão de inverno e, através da estimulação cerebral direta, aumentar a atenção (especialmente no final do turno de trabalho), o humor, o bem-estar e o desempenho (TENNER, 2003).

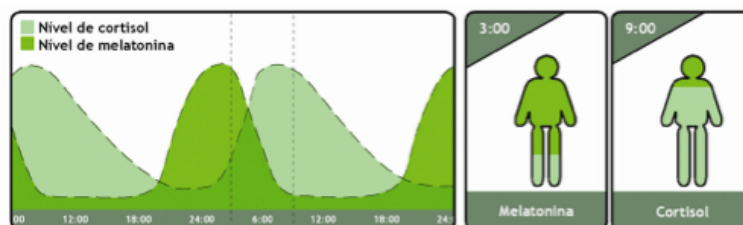
Segundo Markus *et al.* (2008), dentre os distúrbios do ciclo circadiano pode-se englobar várias patologias que interferem na vida de milhares de pessoas. Entre elas podemos citar: *jet lag*, cegueira, insônia, alguns distúrbios da idade, alguns distúrbios psiquiátricos e condições nas quais o ciclo de iluminação apresenta menor intensidade (inverno com noites longas ou exposição a baixas iluminâncias durante o dia) e turnos alternantes de trabalho.

O cortisol é um dos hormônios liberados durante o ciclo dia/noite, que pela manhã atinge níveis mais altos para preparar o corpo para as atividades do dia, (BOMMEL, 2006) (Figura 04). Estudando a relação entre horário de exposição à luz e níveis de cortisol, Leproult *et al.* (2001) demonstraram que sujeitos privados de sono e com três horas de exposição à luz intensa (4500 lux), entre cinco e oito horas da manhã, induziam a um aumento nos níveis de cortisol enquanto à tarde (entre treze e dezesseis horas) a luz intensa não tinha nenhum efeito sobre o cortisol. Thorn *et al.* (2003), em sua pesquisa, revelaram que, ao elevar gradualmente a iluminância (250 lux por mais de trinta minutos) ao acordar (simulando o amanhecer), houve um aumento do nível de cortisol se comparado à condição do grupo de controle, nos quais os sujeitos utilizavam a iluminância usual para despertar. Esse aumento no cortisol não acarretou aumento do nível de estresse.

Falzon (2007) menciona o papel importante da luz em um outro hormônio, a melatonina, que reforça o funcionamento do sistema circadiano de diferentes maneiras. No entanto, as mais conhecidas referem-se ao sono e à redução da temperatura corporal à noite. Seus níveis são baixos durante o dia e seu pico é

durante à noite, usualmente entre as duas e quatro horas da madrugada (ARENDT, 2005) (Figura 04).

Figura 04 - Curvas demonstrando o nível de melatonina e cortisol ao longo do dia.



Fonte: PHILIPS LIGHTING, 2006.

Quando há pouca intensidade de luz, mais melatonina é liberada, provocando o sono. Logo, quando a intensidade de luz que atinge a retina for muito baixa durante o dia, implicará em uma irregularidade no ciclo da melatonina, liberando-a em horas erradas do dia ocasionando letargia, sonolência e vários outros sintomas causados pela atividade fora de hora de órgãos que são regulados por ela (MARTAU, 2009).

Entretanto, outros trabalhos demonstraram que a melatonina é suprimida pela intensidade de luz ambiente encontrada tipicamente dentro de casa (100 lux) (BOJKOWSKI *et al.*, 1987; BOIVIN *et al.*, 1996; BRAINARD *et al.*, 1997), embora seja necessária uma duração da exposição à luz, para suprimir a melatonina (AOKI *et al.*, 1998). De acordo com os estudos feitos por Chang *et al.* (2012), o tempo de exposição de 12 minutos a níveis de iluminação de 100 lux (utilizando uma lâmpada fluorescente de 4100k) já interfere no sistema de temporização do ciclo circadiano.

Dentro desse enfoque, para esta pesquisa confirma-se a necessidade de espaços que possuam condições ambientais adequadas, em conformidade com a discussão anterior dos conceitos apresentados por Kowaltowski (2013). Como foi discorrido, a luz é fundamental para todos os processos que tornam possível ao cérebro se relacionar com o ambiente (ciclo circadiano), sendo assim, parte integrante do processo de aprendizagem (BERTOLOTTI, 2007), não sendo apenas um elemento que serve para o reconhecimento de objetos, mas também "prepara seu corpo e a mente para responder à ação, adaptando-se a qualquer tarefa que for solicitada a executar. Quanto melhores as condições de iluminação, mais fácil e mais rápida a tarefa será realizada e menor será o esforço para os olhos" (RENNHACKAM, 1964, p.1). Fator este essencial para alunos e professores, principais usuários das salas de aula.

2.2 Sistemas de iluminação natural

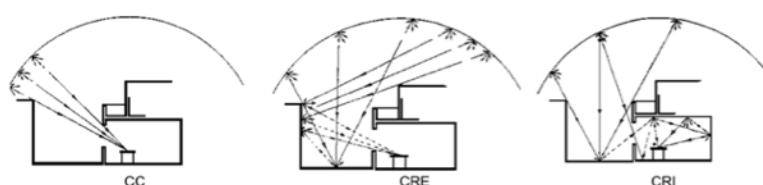
A luz natural é vinda diretamente do sol, de forma difusa do céu e/ou refletida das edificações vizinhas (LAMBERTS *et al.*, 2012). A luz solar, de acordo com IESNA (2000), é a energia com uma temperatura de cor de aproximadamente 6500K, a qual é recebida do sol do lado de fora da atmosfera da Terra a uma taxa média de cerca de 1.350 W/m^2 . Cerca de 75% dessa energia atinge a superfície da Terra ao nível do mar em um dia claro. Para a IESNA (2000), 40% da energia solar recebida na Terra é radiação visual, o resto é ultravioleta (UV) e infravermelho (IV).

A disponibilidade dessa luz varia de acordo com: a sazonalidade, a qual pode interferir na luminosidade conforme a época do ano e a hora do dia; o clima, é determinante nos tipos de céu; e o sítio, ou seja, as características físicas e geográficas do lugar e entorno onde a edificação está inserida (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

A distribuição da luz no ambiente interno depende de um conjunto de variáveis, tais como: a disponibilidade da luz natural, de obstruções externas, o tamanho, orientação, posição e detalhes das aberturas, as características óticas dos envidraçados, o tamanho e geometria do ambiente e a refletividade das superfícies internas (NBR 15215-3, 2003).

Essa luz natural resultante internamente aos espaços depende de três variáveis que classificam 3 tipos de distribuição da luz, ou seja, a forma como essa luz chega até o ambiente interno: Componente do Céu (CC) – luz que alcança um ponto do ambiente interno proveniente diretamente do céu; Componente Refletida Externa (CRE) – luz que alcança um ponto do ambiente interno após ter refletido em uma superfície externa; Componente Refletida Interna (CRI) – luz que alcança um ponto do ambiente interno somente após ter sofrido uma ou mais reflexões nas superfícies internas (NBR 15215-3, 2005) (Figura 05).

Figura 05 - Fonte de luz natural que penetram o edifício.



Fonte: NBR 15215 - 3: 2003.

De acordo com Lamberts *et al.* (2012), as melhores orientações para iluminação natural são a norte devido à incidência mais frequente da luz solar direta (apesar dela influenciar diretamente no aumento da temperatura) e a sul, pela constância de luz, embora em menor quantidade, mas com qualidade de temperatura de cor branca fria, fatores estes que se aplicam ao hemisfério sul. Lambert *et al.* (2012) consideram as orientações leste e oeste como sendo as piores, pois recebem luz solar direta com maior intensidade, dificultando o projeto de protetores solares, que devem considerar ângulos muito baixos de altura solar.

Para que essa luz entre no ambiente são necessários componentes de passagem, ou seja, elementos que permitam a passagem da luz natural exterior para o interior. Podem ser laterais ou zenitais.

As aberturas laterais variam em comprimento e largura, podem ser altas ou baixas, estreitas ou largas. Bem como quanto a sua disposição no ambiente, localizadas unilateralmente, bi-lateralmente ou adjacentes, caracterizadas abaixo na Tabela 03.

Tabela 03 - Tipos de aberturas laterais.

Localização	Tipo	Desempenho Luminotécnico
Unilateral	Altas	Proporcionam maior profundidade e uniformidade na distribuição da luz natural. Diminuem os níveis de iluminância mais próximos à abertura e aumentam a reflexão interna.
Unilateral	Largas e horizontais	O efeito da luz se dá paralelo à abertura em forma de elipse alargada. Necessitam de iluminação artificial complementar para se obter melhor uniformidade.
Bi-lateral	Paredes opostas	O efeito de uma janela se soma à outra, aumentando os níveis de iluminância e melhorando a uniformidade. Quando uma das janelas for alta, diminui-se o ofuscamento e melhora-se a uniformidade.
Bi-lateral	Paredes adjacentes	Recomendada para ambientes quadrados, pois melhoram os níveis de iluminância e uniformidade.

Fonte: VIANNA e GONÇALVES, 2001; HOPKINSON *et al.*, 1966).

A iluminação zenital tem como uma de suas principais características uma maior uniformidade de distribuição da luz em relação à iluminação lateral do, uma vez que, em geral, as aberturas estão uniformemente distribuídas pela área de cobertura e suas projeções paralelas ao plano de utilização ou de trabalho (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Outra característica relevante é a obtenção de maior iluminância sobre o plano de trabalho que a iluminação lateral. Fator este que se dá devido a iluminação zenital contar com o dobro de área iluminante de céu em relação às aberturas laterais, por estarem locadas paralelamente ao céu (com exceção da tipologia de sheds que são laterais).

Diante do que foi exposto, e em se tratando de uma pesquisa sobre a análise da iluminação natural, a partir dos conceitos mencionados anteriormente serão analisadas as variáveis que interferem na distribuição da luz no ambiente propostas pela NBR 15.215-3 (2003), além da classificação quanto à localização e o tipo dos componentes de passagem da luz das salas de aula do CT, na UFPB.

2.2.1 Parâmetros de análise da luz natural

Devido às variações diárias e sazonais da luz natural, torna-se muitas vezes difícil a análise de seu comportamento em ambientes internos. Para isto, têm-se considerado medidas de desempenho dinâmico, as quais, de acordo com Albuquerque e Amorim (2012), baseiam-se em dados de radiação solar anual para um local específico, provenientes de um arquivo climático gerado por meio de simulação computacional. São elas:

- Fator de luz do dia (FLD)/ *Daylight Factor*;
- Autonomia da luz natural (ALN)/ *Daylight Autonomy*;
- Iluminância natural útil (INU)/ *Useful Daylight Illuminance*.

A principal vantagem das medidas de desempenho dinâmico em comparação com as medidas estáticas é que elas consideram a quantidade e a natureza das variações diárias e sazonais da iluminação natural para determinado edifício, em determinado sítio, juntamente com eventos meteorológicos irregulares (ALBUQUERQUE; AMORIM, 2012, p. 40).

O **FLD** de acordo com Reinhart e Weissman (2012) é a mais antiga métrica de disponibilidade da luz do dia, definida em porcentagem, como a relação entre a iluminância interna de um ponto no interior do ambiente e a iluminância do meio externo desobstruída, nos termos do padrão CIE de céu encoberto.

A **ALN** é uma medida baseada em um clima definido que corresponde à porcentagem de horas (do ambiente ocupado) em que a iluminância no plano de

trabalho atinge um valor estipulado como padrão para as atividades do ambiente, possibilitando autonomia da iluminação natural em relação à luz artificial (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

INU é para Mardaljevic e Nabil (2005) a porcentagem de horas, em um ano, em que a iluminância no plano de trabalho atinge valores dentro do intervalo de aproveitamento da luz natural de 100 a 2000 lux. Tais dados são baseados em dados climáticos reais, condições de céu e insolação variável para estabelecer valores a cada hora do dia durante o período de um ano.

Há diferença entre autonomia da luz natural e iluminância natural útil, mencionada por Mardaljevic e Nabil (2005). É que a ALN mede quantas vezes ao longo do ano a luz natural alcança os limites estabelecidos. Com isso, a ALN não considera as iluminâncias que estiverem abaixo ou acima dos níveis estabelecidos. A INU avalia quantas vezes no dia, dentro de um período de um ano, são alcançados no plano de trabalho a níveis de iluminância, dentro das faixas estabelecidas pelo parâmetro.

Têm-se como um dos objetivos desta pesquisa a análise da luz natural, para isso serão considerados parâmetros de análise dinâmico, de forma que as variações da luz natural ao longo do dia possam ser levadas em consideração. Reinhart (2010) menciona que o fator de luz do dia considera as condições de céu encoberto, sendo este uma fator que será levado em consideração na análise pela possibilidade de avaliar as condições piores da luz no espaço. Já a ALN considera todos os tipos de céu, sendo adequado levá-la em consideração pela média anual de insolação de João Pessoa (INMET, 2014), parcialmente nublado, o qual semelhante ao céu claro torna a radiação direta intensa e frequente, mas também geram uma disponibilidade considerável de luz refletida. Além da sua importância conceitual para esta pesquisa ao atrelar luz natural e artificial complementar.

2.3 Sistemas de iluminação artificial

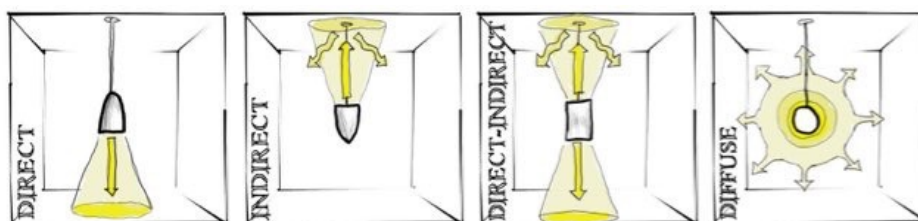
Ao longo dos anos os seres humanos passaram a depender cada vez mais da luz artificial, tanto no ambiente profissional, para longas jornadas de trabalho, quanto em ambientes residenciais, onde os costumes mudaram ao longo dos anos. De acordo do lida (2005), a lâmpada contribuiu em mais quatros horas diárias de produtividade humana.

Os sistemas de iluminação artificial são compostos por lâmpada, luminária e equipamentos auxiliares. Os quais deverão sempre ser escolhidos levando em consideração a função a ser exercida (OSRAM, 2000).

Por ser um conjunto entre lâmpada, luminárias e equipamento auxiliar, os sistemas são classificados de duas maneiras: em como o fluxo luminoso é irradiado e quais os efeitos produzidos no plano de trabalho.

O fluxo luminoso pode ser irradiado para cima e para baixo do plano. O que vai variar é se de forma direta, semi-direta, indireta, semi-indireta e uniforme (Figura 06).

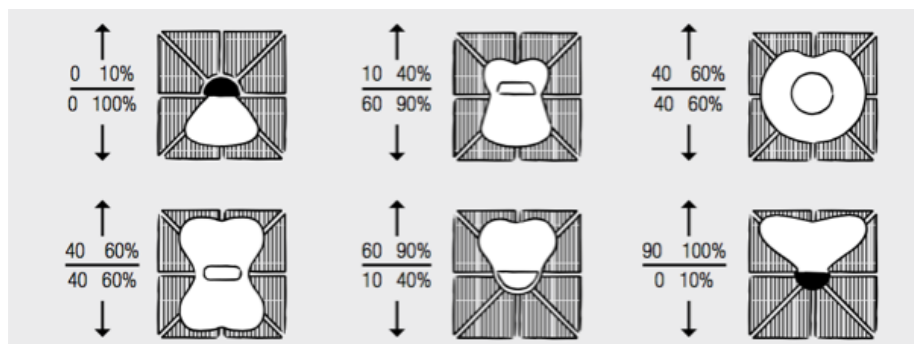
Figura 06 - Direcionalidade do fluxo luminoso.



Fonte: <https://myskyisthelimit.files.wordpress.com/2012/04/pendant-lighting-diagram.jpg>, acessado em 26/05/15 às 10h:11min.

Segundo a IESNA (2000), um sistema de **iluminação direta** direciona de 90% a 100% de seu fluxo luminoso emitido para baixo. A distribuição pode variar de muito espalhado a altamente concentrado dependendo do material do refletor, acabamento e controle óptico empregado. Já a **semi-direta** é quando o fluxo luminoso do sistema ótico é emitido predominantemente para baixo (60% a 90%), mas uma pequena parte é direcionada para cima, iluminando o teto e a parte superior das paredes. O sistema **semi-indireto** é caracterizado pela distribuição luminosa inversa ao sistema semi-direto, diferentemente do **indireto** cujo fluxo luminoso é predominantemente ascendente (90% a 100%) iluminando o teto e a parte superior das paredes. E por fim, o sistema **uniforme** é quando as porções do fluxo luminoso ascendente e descendente se equivalem, medindo cada uma delas entre 40% e 60% (Figura 07).

Figura 07 - Classificação do sistema de iluminação quanto ao fluxo luminoso.



Fonte: VIANNA e GONÇALVES, 2001.

Quanto aos efeitos produzidos no plano de trabalho, pode haver uma distribuição aproximadamente regular entre as luminárias (geral), e/ou predominantemente incidindo em uma só direção (direcional), e/ou de forma localizada, ou seja, concentram-se as luminárias em locais de principal interesse, diferentemente da local que se caracteriza pela instalação das luminárias próximo à tarefa visual (VIANNA e GONÇALVES, 2001; SILVA, 1992).

2.3.1 Parâmetros de análise da luz artificial

Os parâmetros ergonômicos visuais estão relacionados com a quantidade e a qualidade da iluminação, quer dizer, é necessário que se tenha uma iluminância suficiente para a realização de uma determinada tarefa; no entanto, a visibilidade vai depender de como essa luz é fornecida e distribuída, da reprodução de cor, aparência de cor da fonte e das características da superfície em conjunto com o nível de ofuscamento do sistema (NBR 8995-1, 2013).

Com isso destacamos as medidas de desempenho da luz artificial:

- **Níveis de iluminação:** estão intimamente ligados em como a iluminância e sua distribuição acontecem nas áreas de trabalho e no entorno imediato. Exercendo um maior impacto em como uma pessoa percebe e realiza a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável (NBR 8995-1, 2013);
- **Uniformidade:** a área da tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível, pois amplia a acuidade visual e eficiência das funções oculares (NBR 8995-1, 2013);

- **Reprodução de cor da fonte de luz:** é de suma importância para o desempenho visual, para a sensação de conforto e bem-estar que as cores do ambiente, objetos e pele humana sejam reproduzidas corretamente (NBR 8995-1, 2013);
- **Aparência de cor da fonte de luz:** afetam diretamente nas questões psicológicas, estéticas e do que é considerado natural (NBR 8995-1, 2013);
- **Características dos materiais utilizados:** cada material possui características relacionadas à refletância, absorvância e transmitância quando são materiais difusores. A partir dessas propriedades, parte do fluxo luminoso em um ambiente é refletido, parte é absorvido e dependendo do material parte é transmitido (vidros), determinantes para potencializar a luz no espaço (HOPKINSON *et al.*, 1966).
- **Ausência de ofuscamento:** o ofuscamento é causado por luminâncias excessivas ou contrastes no campo de visão e pode prejudicar a visualização dos objetos (NBR 8995-1, 2013).

Diante do exposto, para esta pesquisa com enfoque na utilização da luz artificial como complemento da natural, iremos caracterizar os ambientes estudados quanto aos materiais utilizados, tipo de lâmpada e luminária, e avaliar os aspectos quantitativos o nível de iluminância além dos aspectos qualitativos, como uniformidade e eficiência luminosa.

2.4 Sistema de iluminação integrado: luz natural + luz artificial

Em um edifício é necessário considerar tanto a iluminação natural quanto a artificial. A correta integração entre estes dois sistemas pode solucionar o problema da variação da intensidade de luz proveniente da abóbada e contribuir para a redução do consumo de energia. Sendo assim, a iluminação natural e a artificial são complementares (ELETROBRÁS, 2011).

De acordo com Vianna e Gonçalves (2001), na maioria dos casos, um edifício é incapaz de responder aos problemas da iluminação somente através da luz natural. Existem poucas edificações em que a iluminação natural pode suprir o total de iluminação necessária, da mesma forma, existem poucas edificações em que a

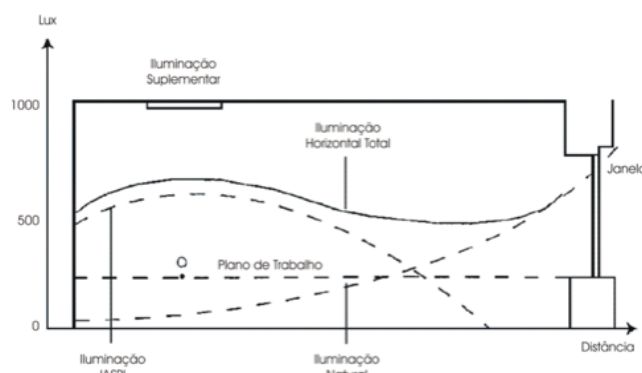
iluminação natural não pode contribuir significativamente na iluminância do ambiente (GHISI, 1997).

Um dos fatores mencionados por Capeluto (2002) e Serra (1998) é a influência da profundidade do ambiente em relação à penetração da luz natural em um ambiente interno. De acordo com a CISBE – The Chartered Institution of Building Services Engineers (1987), a penetração da iluminação natural se dá em função dos valores de largura (L), altura (H) da abertura e dimensão do ambiente, bem como a refletância da parede de fundo (Rf).

A integração entre ambas as iluminações, segundo Vianna e Gonçalves (2001) deve seguir a seguinte premissa para o uso diurno: “A iluminação artificial pode ser, quando utilizada com critério, um apoio fundamental para iluminação natural, apoio muitas vezes indispensável” (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p.191). A técnica utilizada para integrar a iluminação artificial com a natural é denominada *Iluminação Artificial Suplementar Permanente para Interiores* – IASPI (*Permanent Supplementary Artificial Lightning for Interiors* – PSALI) (VIANNA e GONÇALVES, 2001). Um dos requisitos básicos de IASPI é que a luz do dia deve ser a fonte de luz principal, que seria completada pela luz elétrica nas partes mais profundas do ambiente (NE’EMAN, 1984).

O método IASPI propõe a divisão do ambiente em zonas de diferentes níveis de iluminância (iluminação natural), mostrando onde há necessidade do uso da iluminação artificial suplementar à luz natural para a execução de determinada tarefa (MOORE, 1993), na qual a iluminação suplementar deve ter um nível suficientemente alto para estabelecer um equilíbrio de adaptação entre as partes mais iluminadas do ambiente perto da janela e as artificialmente iluminadas nas partes mais distantes daquela (RUTTEN, 1994) (Figura 08).

Figura 08 - Exemplo da iluminação artificial suplementar permanente (IASP) em um ambiente.



Fonte: NASSER *et al.*, 2003.

De acordo com Robbins (1986), o tamanho da zona depende da configuração da abertura, das condições de céu e do período (mês, dia e hora), não existem normas para a divisão das zonas de iluminação. Uma técnica comumente utilizada é a definição de zonas de iluminação por meio de padrões visíveis (ROBBINS, 1986). Sugere-se que as zonas sejam divididas a partir da proporção de 3:1, ou seja, dentro de uma zona não deve haver diferença entre os valores mínimos e máximos de 3 vezes o valor mínimo (ROBBINS, 1986). Com isso garante-se um razoável e confortável raio de contraste para o olho humano.

Uma vez definidas as zonas de iluminação, parte-se para o nível de definição das estratégias de controle para as zonas – que se forem escolhidas de forma correta podem resultar na redução no consumo de energia em iluminação na edificação (ROBBINS, 1986); pois, luzes que ficariam acessas de forma desnecessária são apagadas automaticamente, reduzindo o desperdício (MURATORIO; BÓ, 2013).

Segundo (Ghisi, 1997 e Robbins, 1986), para se fazer uso da iluminação natural em um ambiente controlando a iluminação artificial, pode-se utilizar os seguintes métodos:

- **Liga e desliga manual:** A iluminação artificial é desligada manualmente sempre que a iluminância interior produzida pela luz natural for maior que a do projeto. É um sistema pouco eficiente, pois depende do usuário.
- **Liga e desliga automático:** A utilização de fotocélulas constitui um sistema que desliga a iluminação artificial sempre que os níveis de iluminação natural são superiores à iluminância especificada para projeto.

- **Controle gradativo (dimerização) automático:** Trabalha de forma semelhante ao liga/desliga automático, no entanto, a iluminação artificial é ajustada de forma gradativa à medida que os níveis de iluminação natural aumentam ou diminuem.

O sistema de controle da luz mais comumente utilizado é o controle manual liga/desliga. Para que se consiga alcançar alguma economia de energia através da utilização de interruptores manuais é necessário uma atenção especial na hora da distribuição dos circuitos de uma sala ou zona de iluminação e um esforço do usuário (SOUZA, 2003).

Boyce (1980) diz ser improvável que qualquer usuário mude as condições de iluminação de um ambiente onde existam outras pessoas trabalhando (desligar as lâmpadas), a menos que tal solicitação seja feita. Com isso, segundo CISBE (1999), com a distribuição dos circuitos de iluminação tradicional, o sistema tem permanecido totalmente desligado ou totalmente ligado. As pessoas podem ligar a iluminação quando entram em um ambiente, é um ato automático, e raramente tomam a atitude de voltar a desligá-la até que todos saiam desse ambiente (SOUZA, 2003).

De acordo com Robbins (1986), a utilização de um sistema de controle automático é uma forma que garantirá que a luz elétrica será desligada quando não necessária.

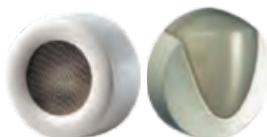
Os sistemas automatizados dimerizáveis podem ser programados para trabalhar com a lâmpada em uma potência reduzida, limitando-a em 90% da sua capacidade sem causar nenhuma alteração visual (fluxo luminoso) (Tabela 04). Além disso, a dimerização propicia um aumento significativo na vida útil das lâmpadas (MURATORI; BÓ, 2013): podem funcionar de forma automática a partir da instalação de sensores de luz natural (Figura 09) que controlam automaticamente o fluxo luminoso da lâmpada a partir das fotocélulas que medem continuamente a luz do ambiente e ajustam os níveis de iluminação, reduzindo a luz elétrica desnecessária e proporcionando uma iluminação uniforme em todo o espaço (LUTRON, 2013) (Tabela 05).

Tabela 04 - Relação entre regulação do dimmer e consumo de potência.

Potência regulada pelo dimmer	Potência consumida pela lâmpada	Potência economizada na lâmpada
90%	90%	10%
75%	75%	25%
50%	50%	50%
25%	25%	75%

Fonte: MURATORI; BÓ, 2013.

Figura 09 - Sensor de luminosidade.



Fonte: CRESTON, 2013.

Tabela 05 - Estratégias de controle de luz e economia de energia.

	Estratégia de Controle	Economia de Energia (em iluminação)
	Dimerização potência fluxo luminoso lâmpada	10 - 30%
	Sensor de luminosidade	25 - 60%

Fonte: LUTRON (2013), editado pela autora.

De posse desses conhecimentos, para esta pesquisa a luz natural será considerada como fonte de luz principal e a luz elétrica como complemento nas regiões as quais a luz natural não possuir autonomia suficiente para atingir os níveis de iluminância recomendados pela norma. Como ferramenta de análise, iremos utilizar o método IASPI, em que serão definidas as zonas de iluminação natural de diferentes ALN, mostrando onde há necessidade do uso da iluminação artificial suplementar à luz natural para a execução da tarefa nas salas de aula do CT na UFPB.

2.5 O Regulamento Técnico de Qualidade Comercial de Serviços e Público (RTQ-C)

A utilização de tais soluções eleva o potencial de economia de energia dimensionando, assim, um sistema de iluminação de forma racional. Com isso, atende-se ao Decreto Presidencial 4.131 de 14/02/2002, art. 3º, que obriga que as construções em instituições federais sejam redutoras de consumo de energia.

Já o Regulamento Técnico de Qualidade Comercial de Serviços e Público (RTQ-C) do Procel Edifica, foi instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL para classificação do sistema de iluminação, além dos limites de potência instalada estabelecidos, deverão ser respeitados os critérios de controle do sistema de iluminação, de acordo com o nível de eficiência pretendido (Tabela 06).

Cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente. Cada controle manual deve ser facilmente acessível e localizado de tal forma que seja possível ver todo o sistema de iluminação que está sendo controlado. (...) Por questões de segurança, ambientes de uso público poderão ter o controle manual em local de acesso a funcionários (INMETRO, 2010, p. 38-39).

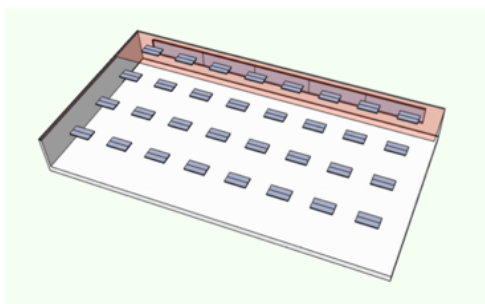
Tabela 06 - Relação entre pré-requisitos e nível de eficiência.

Pré - requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição da luz natural	Sim	Sim	-
Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim	-	-

Fonte: PROCEL/ ELETROBRÁS, 2013

Como forma de reduzir a necessidade de uso da iluminação artificial quando há luz natural suficiente para prover a iluminância adequada no plano de trabalho, o RTQ-C determina que as luminárias próximas às janelas devem possuir um dispositivo de desligamento independente do restante do sistema (ELETROBRÁS/PROCEL, 2013, p.122.).

Figura 10 - Exemplo de circuito próximo à janela com acionamento independente.



Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2013.

O RTQ-C determina a utilização de dispositivos que desligam automaticamente o sistema de iluminação quando não há usuários no ambiente, evitando, assim, ambientes desocupados com iluminação artificial ativada; bem como determina um limite de densidade de potência instalada, de acordo com a função da edificação. Seguem na Tabela 07 as densidades necessárias para cada nível de classificação:

Tabela 07 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido.

Função da edificação	Densidade de Potência de Iluminação Limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação Limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação Limite W/m ² (Nível C)
Escola/ Universidade	10,7	12,3	13,9

Fonte: ELETROBRÁS/ PROCEL, 2013.

A partir disso, pode-se afirmar que com a utilização da técnica para integrar a iluminação artificial com a natural - Iluminação Artificial Suplementar Permanente para Interiores – IASPI (*Permanent Supplementary Artificial Lightning for Interiores – PSALI*), de forma a reduzir a necessidade de uso da iluminação artificial quando há luz natural suficiente para prover a iluminância adequada no plano de trabalho, bem como um sistema de controle automático da luz, além dos limites de potência instalada estabelecidos, pode-se alcançar um nível A de etiquetagem do selo PROCEL EDIFICA (no que diz respeito à iluminação).

2.6 Iluminação em Ambientes Educacionais

Diante do que foi referenciado quanto aos efeitos visuais e não visuais da luz, conclui-se que a iluminação, seja ela natural ou artificial, mesmo que atenda aos níveis de eficiência luminosa, não pode ser considerada como um elemento neutro em relação aos seres humanos.

Em se tratando de ambientes educacionais, onde além de uma boa visão do quadro e plano de trabalho existem outros efeitos não visuais determinantes no processo de aprendizagem como produtividade e aumento da atenção, as instalações de iluminação dos ambientes educacionais devem estar equipados com sistemas que proporcionem um ambiente visual confortável e adequado de acordo com uma variedade de atividades que serão desenvolvidas em cada uma das unidades que compõem o estabelecimento de ensino (IDAE, 2001).

De acordo com o manual produzido pelo IDAE (2001), uma iluminação adequada proporciona aos alunos e professores um ambiente amigável e estimulante, ou seja, confortável visualmente, que lhes permite continuar a sua atividade sem exigir deles esforço excessivo da visão:

A meta primordial da iluminação educacional é proporcionar um ambiente visual para os alunos e professores que apoie os processos de aprendizagem. Isso só pode ser alcançado se os ocupantes podem ver suas tarefas visuais de forma precisa, rápida e confortavelmente (IESNA, 2000).

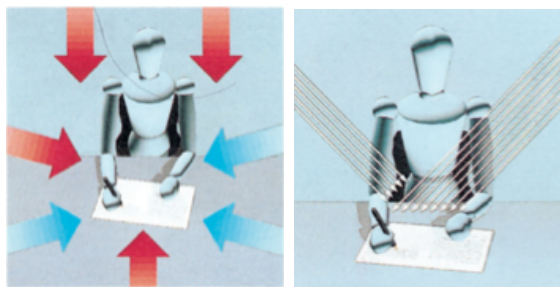
Para a IDAE (2001), a iluminação também deve ser sensível às necessidades psicológicas e emocionais dos alunos, podendo proporcionar um ambiente escolar agradável e atraente, reforçar sentimentos de espaço, delinear áreas de diferentes funções, estimular a aprendizagem e melhorar o comportamento.

2.6.1 Fatores básicos de desempenho da iluminação

De modo geral, existem, de acordo com as normas NBR ISO 8995-1:2013 e IESNA (2000), três fatores básicos de desempenho que devem ser levados em consideração em relação às condições de iluminação em ambientes educacionais, satisfazendo os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos:

- **Níveis adequados de iluminância:** O valor recomendado pela NBR ISO 8995-1:2013 e pelo FUNDESCOLA (2002) é de 500 lux no plano de trabalho e 300 lux no entorno imediato, sendo observado pela norma que a iluminação seja controlável (Figura 11). A IESNA (2000) recomenda de 300-500 lux as iluminâncias das salas de aula. Diante dos níveis de luminância recomendados vale destacar que a janela é o meio pelo qual a luz natural poderá penetrar no ambiente, para isto existem algumas recomendações do Código de Obras (2001), RTQ - C (PROCEL/ELETROBRÁS, 2013) e o FUNDESCOLA (2002) que relacionam a área da abertura em relação a área do piso, conforme é possível observar na tabela 08.

Figura 11 - Representação dos feixes de lux (vetores) no plano de trabalho.



Fonte: IDAE, 2011.

Tabela 08 - Relação entre área da abertura e área do piso.

Área da abertura/Área do piso	
Código de Obras PMJP	1/6 da área do piso
RTQ - C	1/8 da área do piso
FUNDESCOLA	1/4 da área do piso

Fonte: CÓDIGO DE OBRAS, 2001; FUNDESCOLA, 2002; ELETROBRÁS/ PROCEL, 2013.

A refletância das superfícies podem afetar significativamente a quantidade de iluminação necessária para trazer os níveis de iluminação exigidos em um espaço interior.

A IESNA (2000) recomenda que as refletâncias das (Figura 12):

- **Paredes**, incluindo quadros e lousas, devem ter superfícies não especulares e luminância de pelo menos metade das do teto: 40 a 60%;

- **Teto** deve ser reflexivo (branco) e não especular. Elemento mais importante na reflexão de luz para baixo em direção ao plano de trabalho: 70-90%;

- **Pisos** também devem ser não especulares: 30-50%.

Para a NBR ISO 8995-1:2013, as faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas mais importantes são:

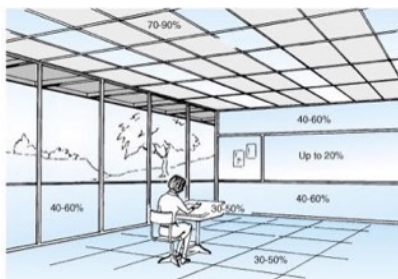
- **Paredes:** 30-80%;

- **Teto:** 60-90%;

- **Plano de trabalho:** 20-60%;

- **Piso:** 10-50%.

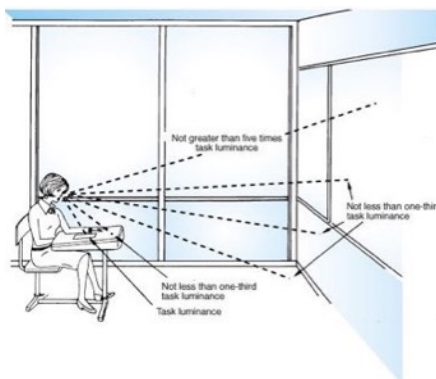
Figura 12 - Refletâncias recomendadas para superfícies em salas de aula.



Fonte: IESNA, 2000.

- **Ausência de ofuscamento:** Para IESNA (2000), o brilho das várias superfícies no campo normal da visão deve ser mantido dentro dos limites aceitáveis para um bom desempenho visual e conforto, ou seja, em uma sala de aula as luminâncias das superfícies não deverão ser muito diferentes daqueles da tarefa visual (Figura 13). A luminosidade de qualquer plano normalmente visto diretamente não deve ser maior do que cinco vezes a luminosidade da tarefa (IESNA, 2000). De forma que a mudança do olhar para o livro e para o quadro aconteça de modo que o tempo de adaptação da visão seja reduzido, ou seja, é necessário um período de tempo para o olho ajustar-se à nova situação (IESNA, 2000). Recomenda-se também que a abertura esteja ao lado esquerdo do quadro (FUDESCOLA, 2002), e dispostas em apenas uma das paredes (CÓDIGO DE OBRAS, 2001), de forma a evitar reflexos e assegurar a iluminação lateral ao plano de trabalho.

Figura 13 - Proporção das luminâncias recomendadas.



Fonte: IESNA, 2000.

A partir disto as salas de aula do Centro de Tecnologia da UFPB serão analisadas quanto aos fatores básicos de desempenho da luz que abordam tanto aspectos quantitativos (níveis de iluminância) quanto qualitativos (refletância dos materiais e uniformidade). Variáveis estas que já foram discutidas nos itens anteriores, porém sem as especificidades que as normas abordam quanto aos ambientes escolares.

2.7 Software para análise computacional da luz natural

O cálculo da luz natural é considerado bem mais complexo que o da luz artificial. A determinação da iluminância incidente por uma janela deve levar em consideração as características variáveis do tempo do céu e do sol, incluindo as mudanças da relação espacial entre o sol e a luz que penetra pelas aberturas (IESNA, 2000). De acordo com Pereira (2011), a utilização de softwares de análise da iluminação integram um conjunto de métodos de cálculo para a quantificação e qualificação da iluminação disponível, seja ela natural ou artificial.

Devido à complexidade desses cálculos, tem acontecido nos dias atuais o surgimento de uma grande quantidade de softwares para simulação da luz natural e/ou artificial, de forma que seja possível obter resultados mais eficientes e rápidos. Segundo o Building Energy Software Tools Directory (Departamento de Energia dos Estados Unidos), existem cerca de 50 softwares para iluminação natural e/ou artificial.

As simulações computacionais fundamentadas no comportamento físico da luz são realizadas por softwares que utilizam algoritmos capazes de calcular os valores das grandezas físicas da luz, tais como as iluminâncias e luminâncias, num dado

ponto do interior, sob determinada condição de céu predefinida – no caso das simulações estáticas, as quais são expressas sob a forma de imagens foto realistas, ou sob a forma de valores de iluminância em determinados pontos de interesse num edifício sob um tipo de céu de referência determinada (REINHART *et al.*, 2006) – ou durante o curso de um ano inteiro – nas simulações dinâmicas, as quais baseiam-se em dados de radiação solar anual, para um local específico, oriundos de um arquivo climático (REINHART, 2006) que resultam em um comportamento da luz mais próximo ao real, devido a sua grande variabilidade (GHISI; RAMOS, 2013).

Na simulação, seja ela estática ou dinâmica, são utilizados algoritmos para o cálculo da iluminação: radiosidade (radiosity) ou raio traçado (ray-tracing). De acordo com Reinhart (2010), a radiosidade trata cada superfície como um refletor difuso com luminosidade constante de forma que a permuta de radiação entre as duas superfícies pode ser descrita por um único número que depende das propriedades de reflexão das superfícies e a geometria da cena. Uma das vantagens apontadas por Claro (1998) para a radiosidade é o fato de ser "um modelo que relaciona a geometria entre os objetos do ambiente independente do ponto de vista do observador, permitindo que os dados de luminância das superfícies sejam utilizados segundo diversos pontos de vista sem necessidade de efetuar o recálculo da iluminação global."

O raio traçado funciona da seguinte forma: consiste na técnica em que os raios de luz (retas) incidirão sobre as superfícies (interceptando os planos) e, por sua vez, serão refletidos em direções que podem ser calculadas (CABUS, 2005). Segundo Reinhart (2010), esse método possibilita trabalhar com geometrias mais complexas, modela reflexões especulares e efeitos de refração eficientemente.

A grande vantagem e desvantagem apontada por Reinhart (2010) é que a radiosidade se comparada com o traçado de raios requer menos tempo de cálculo para geometrias simples, no entanto, a medida que a complexidade do modelo aumenta esta vantagem diminui. A principal vantagem do raio traçado é que apenas ele é capaz de simular materiais especulares e parcialmente especulares, quando se há a necessidade de resultados mais fiéis à realidade.

Dentre os softwares cadastrados em 2011 no *US Departamento of Energy – Building Energy Software Tools Directory* destacamos o *Daysim*, que foi desenvolvido no *National Research Council Canada* e o *Institute for Solar Energy Systems*, na Alemanha, o qual simula parâmetros dinâmicos de análise, utilizando o

algoritmo raio traçado para calcular as iluminâncias de um ambiente no período de um ano em todas as condições de céu, além de trabalhar com o modelo de controle do comportamento do usuário, em que é possível quantificar o potencial da economia de energia com a utilização de controles automatizados da luz, sensores de ocupação, interruptores (REINHART *et al.*, 2010).

Dentre os softwares existentes, para esta pesquisa foi utilizado o Daysim como ferramenta de análise das medidas de desempenho dinâmico e investigação do potencial de redução do consumo de energia em iluminação a partir da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes estudados.

2.8 Pesquisas Recentes

Em um tempo de intensas mudanças associadas aos avanços crescentes da ciência e tecnologia, faz-se necessário a execução de um mapeamento do que vem sendo pesquisado nos últimos anos. Para isso, nesta etapa foram elencadas pesquisas recentes (teses, dissertações, artigos e periódicos nacionais e internacionais) na área de iluminação natural e artificial complementar, de forma a identificar os aportes significativos da construção da teoria e prática.

Nos estudos feitos por Cintra (2011), verificou-se por meio de simulação computacional a influência da profundidade do ambiente e das proteções solares no comportamento da luz natural em espaços residenciais. Para isso, foram escolhidos cinco critérios de análise para avaliar o desempenho da iluminação natural: iluminância de projeto, para definir a intensidade de luz no ambiente; a autonomia da luz natural e horário de ocupação, que auxiliaram a definir em que intervalo de tempo seria exigida a Iluminância de projeto; e, por fim, foi considerada a área do ambiente para determinar o espaço (diferentes latitudes, orientação solar e dimensão das aberturas) que as condições de iluminação seriam exigidas. O software utilizado por Cintra (2011) para análise das variáveis foi o DAYSIM e o processamento dos dados gerados foi feito através do software WINSURF, que converte a tabela de dados gerada pelo Daysim em curvas de isolinhas.

Com isso, conclui-se que para uma condição de 60 lux, em 70% das horas do ano, considerando o horário de ocupação variável e diferentes orientações solares, a profundidade que atende a esse desempenho mínimo para ambientes residenciais foi de 1,8 vezes a altura da janela. Estando entre os identificados na literatura que é

de 1,5 a 2,5 vezes a altura da janela. No entanto, na análise dos 5 ambientes, apenas 55% atenderam aos valores de desempenho mínimo para uma profundidade de 1,8 vezes a altura da janela. Para aberturas sem proteção verificou-se como profundidade limite o valor de 2,57 vezes a altura da janela, nessas condições a aplicabilidade dos resultados em ambientes reais foi de 100%. Verificando assim que a luz penetra menos em ambientes que utilizam proteção solar do que em espaços que utilizam protetor solar.

Em uma pesquisa feita por Labaki e Bartholomei (2001), com principal objetivo de avaliar o desempenho térmico e luminoso em salas de aula de escolas da rede pública na região de Campinas - SP, constaram-se os seguintes elementos de análise: existência de ofuscamento, condições de céu, características das janelas, tipo de iluminação natural, tipo de iluminação artificial e condições do entorno. Para avaliação física da iluminação foram realizadas medições dos níveis de iluminância, com luxímetros, cujo sensor foi colocado sob as carteiras, sob a mesa da professora e junto à lousa, no horários de 8h:00min, 12h:00min e 16h:00min. Labaki e Bartholomei (2001) identificaram como os principais problemas em relação aos baixos níveis de iluminação: mau funcionamento das lâmpadas, cortinas fechadas em condições de céu encoberto, baixa reflexão da luz devido à pintura das paredes com cor escura ou ao fato da pintura estar muito suja. Uma das escolas tinha vidros pintados em cor escura, o que prejudicou os níveis de iluminação, porém, no horário das 12 horas a claridade mesmo assim foi intensa, apresentando alta insolação e falta de uniformidade na distribuição de luz no lado da sala próximo às janelas, devido à insuficiência de proteção dos brises e péssimo estado das cortinas. Outras salas apresentaram problema de ofuscamento na lousa, em alguns ou todos os horários. Problemas de insolação e alto nível de claridade nas áreas da sala de aula próximas às janelas também foram observados, em alguns e até mesmo em todos os horários, devido à má orientação da sala e ineficiência das cortinas. Concluindo que nas escolas estaduais de Campinas a iluminação artificial acaba sendo utilizada como complemento quase que constante da iluminação natural, devido aos baixos níveis de iluminação encontrados e diferenças de contrastes entre a porção próxima a janela e o ponto oposto a ela.

Na dissertação feita por Oliveira (2012), em que o principal objetivo foi 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, verificou-se que através das medições feitas *in loco* (foram feitas com a utilização do luxímetro e câmera fotográfica com lente “olho de peixe”) que o grau de obstrução do entorno possui grande relevância na quantidade de luz dentro das salas de aula, sendo comprovado através da comparação entre medições feitas em salas de aula semelhantes, com orientação solar igual. A partir das simulações feitas através do software (DAYSIM), verificaram-se pequenas diferenças de angulações em relação à orientação solar, assim como foi verificada também a influência do entorno na disponibilidade de luz natural.

Morais (2012) fez um estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial com diferentes luminárias, levando em consideração o aproveitamento da luz natural. Buscou investigar os critérios para a escolha do sistema de iluminação artificial a partir do zoneamento da disponibilidade da luz natural (verificada através do software Daysim e zoneada a partir dos resultados percentuais (0-20%; 20-80%; 80-100%)) no interior dos ambientes e verificar o desempenho da iluminação (Método do lúmens e software Apolux) quanto à uniformidade, níveis e distribuição das iluminâncias e o consumo de energia de sistemas de iluminação artificial.

Com isso, Moraes (2012) constatou a partir dos mapas de distribuição luminosa que os projetos elaborados de acordo com as recomendações sugeridas pela prática atual não garantem níveis adequados de uniformidade da iluminação, bem como a relação entre o tamanho da zona e uniformidade: foi observado que vários projetos, zonas com maior quantidade de área, possuíam menor uniformidade e vice-versa. Ou seja, esses dois parâmetros não estão necessariamente correlacionados. Quanto aos sistemas de iluminação artificial propostos, verificou-se que a utilização de luminárias menores, compostas por duas lâmpadas de 16W, geraram menos alterações na luz do que as luminárias de duas lâmpadas de 32W e de quatro lâmpadas de 16W. Constatou-se também que a utilização de luminárias com quatro lâmpadas de 32W configuraram-se como as piores soluções, exibindo concentrações de iluminação excessiva em determinadas regiões próximas às luminárias. Fatores estes que variam de acordo com as características fotométricas de cada luminária, bem como a direcionalidade do fluxo luminoso. Concluindo-se que a utilização de diferentes luminárias e lâmpadas não pode seguir uma regra de espaçamos pré-definida, cada sistema possui características fotométricas específicas que devem ser levadas em consideração individualmente no nível de projeto. Quanto à economia de energia dos sistemas analisados, demonstraram que

o zoneamento influencia nas análises de consumo, fator este diretamente relacionado com a profundidade do ambiente, conforme já constatado em estudo.

Em sua tese, Sousa (2003) desenvolveu um método para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural, através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta e iluminação artificial. No processo de análise dos espaços foram levados em consideração o percentual de aproveitamento da luz natural, variável utilizada para avaliar e comparar o desempenho das diversas opções de controle, pois através dela também foi possível estimar a quantidade de energia economizada com a utilização da luz natural (SOUSA, 2003), divisão dos espaços em zonas, iluminância do projeto, condições de céu, orientação solar e horário de utilização do ambiente.

Através do software LUZSOLAR e o LUZPALN, foram definidas as zonas de iluminação, que se deu a partir da iluminância mínima de luz natural dentro do espaço, que crescia numa média de 3, 9 e $27 \times E_{MIN}$, em que as zonas variavam entre a E_{MIN} e E_{MAX} . A definição das zonas foi feita para diferentes fachadas e diferentes tipos de aberturas. A partir disso foram definidas estratégias de controle da luz: em 3 passos, saindo do convencional liga/desliga, 3 passos e dimerizável. As conclusões e os resultados obtidos por Sousa (2003) foram que o que define as zonas é a posição da abertura, a forma como a luz se distribui dentro do ambiente, não o percentual de aproveitamento da luz; o sistema dimerizável é o que proporciona o maior percentual de aproveitamento da luz natural das 3 estratégias analisadas. Isso acontece porque ele faz com que o sistema artificial forneça o fluxo luminoso exato capaz de produzir uma iluminância que, somada à iluminância produzida pela luz natural, resulta na iluminância de projeto. Ele tem um melhor desempenho sobre os outros sistemas principalmente nas zonas em que a luz natural não consegue fornecer a iluminância de projeto, mas uma parcela deste. Sousa (2003) concluiu que o tipo de iluminação (unilateral, oposta, adjacente), a profundidade do modelo e o tipo de janela influenciam o valor do percentual de aproveitamento da luz natural.

A partir desses estudos percebe-se que a utilização de controles inteligentes da luz é uma condicionante não só atrelada ao melhoramento da qualidade luminosa no espaço, mas também contribui para economia de energia, quando as luzes ficariam acessas todo o tempo, a partir da utilização desse sistema será utilizada apenas como complemento da luz natural.

A partir dos estudos acima, bem como todo o embasamento adquirido a partir do referencial teórico, identificamos um categoria em cada pesquisa e no conjunto delas as facetas sobre as quais esta pesquisa objetiva analisar e propor. A partir da pesquisa realizada por Cintra (2011) e Oliveira (2012), entende-se a relevância da caracterização da **localização da edificação e entorno** – em que foi diagnosticada (Cintra, 2011) como sendo responsável pelas variações da quantidade de luz em relação à profundidade dos ambientes nas diferentes localidades do país. Já Oliveira (2012) verificou que o grau de obstrução do entorno possui grande relevância na quantidade de luz dentro das salas de aula. Outra variável apontada por Cintra (2011) foi a **orientação solar** das aberturas. Nos resultados obtidos houve pequenas variações em relação ao alcance da luz natural no que diz respeito a diferentes orientações solares das janelas. Cidades com maior latitude têm tendência a menores valores de profundidade para orientação sul, ocorrendo o mesmo para cidade de menor latitude nas orientações leste e oeste. Assim como os **materiais utilizados**, mencionados por Labaki e Bartholomei (2001), como sendo um dos elementos responsáveis pela baixa reflexão da luz nas salas de aula analisadas.

O **tipo** e a **dimensão das aberturas** foram mencionados por Sousa (2003) como alguns dos responsáveis pela variação do valor do percentual de aproveitamento da luz natural, destacando-se na pesquisa de Morais (2012) e Sousa (2003) como sendo fator primordial para o processo de integração da luz natural com artificial, bem como a **divisão do espaço em zonas**. Sendo assim necessária a utilização do software Daysim para obter esta variável de análise, igualmente para testar a eficiência do sistema integrado de iluminação e sua eficiência energética a partir dos percentuais de aproveitamento da luz natural e dos sistemas de controle da luz, enfatizados por Sousa (2003) como sendo parte integrante para redução do consumo de energia.

A análise da luz não tem um fim em si mesmo, o usuário deve ser o objetivo final, nele que a luz vai interferir. A partir de estudos feitos na década de 70, pode-se testificar que a luz possui efeitos diretos no organismo dos seres humanos. Foi elevado o nível de iluminação de um local de trabalho de 90 para 500 lux, resultando em um aumento médio de 15,9% na memória, 9,4% no raciocínio lógico e de 5% na eficiência e rapidez para a realização de cálculos matemáticos (VERDUSSEN, 1978).

Estudos feitos pela Universidade de Hamburg-Eppendorf em 116 alunos e 11 professores na escola primária Grundschule In der Alten Forst, em Hamburgo, Alemanha, mostraram melhorias de 45% no níveis de concentração e diminuição do erros cometidos, aumento de 34,8% na performance de leitura e em um tempo de 7,5 min, 76% do alunos diminuíram a agitação ao retornar de aulas externas ou recreio na utilização de um sistema de iluminação dinâmico (WESSOLWSKI *et al.*, 2008). Quer dizer, a utilização de um sistema de iluminação que se apropria das diferentes temperaturas de cores para beneficiar o usuário.

Este estudo foi feito por meio da aplicação de testes em um grupo de controle e no grupo de intervenção. No grupo controle em todas situações manteve-se a iluminação com iluminância de 300lux e 4000k de temperatura de cor, enquanto que no grupo de intervenção foi utilizado um sistema de iluminação artificial dinâmico, ou seja, um sistema em que a intensidade da iluminação e temperatura de cor da luz é mudada para atender às atividades que estão sendo realizadas para aumento da concentração (1060lux e 5800k), para ativação (675lux e 11.000k) e para acalmar (325 lux e 3500k) (WESSOLWSKI *et al.*, 2008).

Diante da importância e influência da iluminação nas pessoas, esta pesquisa tem como um de seus objetivos identificar fatores que possam contribuir ou interferir no desempenho da iluminação nas salas de aula do CT na UFPB.

Tabela 09 - Comparativo entre objetivos, variáveis e métodos dos autores estudados.

	CINTRA (2011)	LABAKI & BARTHOLOMEI (2001)	OLIVEIRA (2012)	MORAIS (2012)	SOUSA (2003)
Objetivo	Avaliar a influência da profundidade do ambiente e das proteções solares no comportamento da luz natural em espaços residenciais	Avaliar o desempenho térmico e luminoso em salas de aula de escolas da rede pública na região de Campinas - SP	Analisar o potencial de aproveitamento da luz natural como fonte de iluminação nas salas de aula das escolas municipais de João Pessoa-PB	Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial com diferentes luminárias, levando em consideração a o aproveitamento da luz natural.	Desenvolveu uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural, através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta e iluminação artificial.
Variáveis	Orientação solar Localização Dimensão das aberturas - Horas de utilização Iluminância ALN - - Daysim/ Winsurf	Orientação solar Entorno/ Localização Dimensão das aberturas Condições de céu Horas de utilização - - Fator de uniformidade Ofuscamento Luxímetro	Orientação solar Entorno - - - - - - - Luxímetro Daysim	Orientação solar - Dimensão das aberturas Condições de céu Horas de utilização Iluminância ALN Fator de uniformidade - - Daysim Zonas de iluminação Método dos lumens Apolux	Orientação solar - - Condições de céu Horas de utilização Iluminância ALN - - Zonas de Iluminação (PALN) Luzsolar Luzpaln
Método	Daysim/ Winsurf	Luxímetro	Luxímetro Daysim	Daysim Zonas de iluminação Método dos lumens Apolux	Zonas de Iluminação (PALN) Luzsolar Luzpaln

Fonte: Produzido pela autora, 2015.

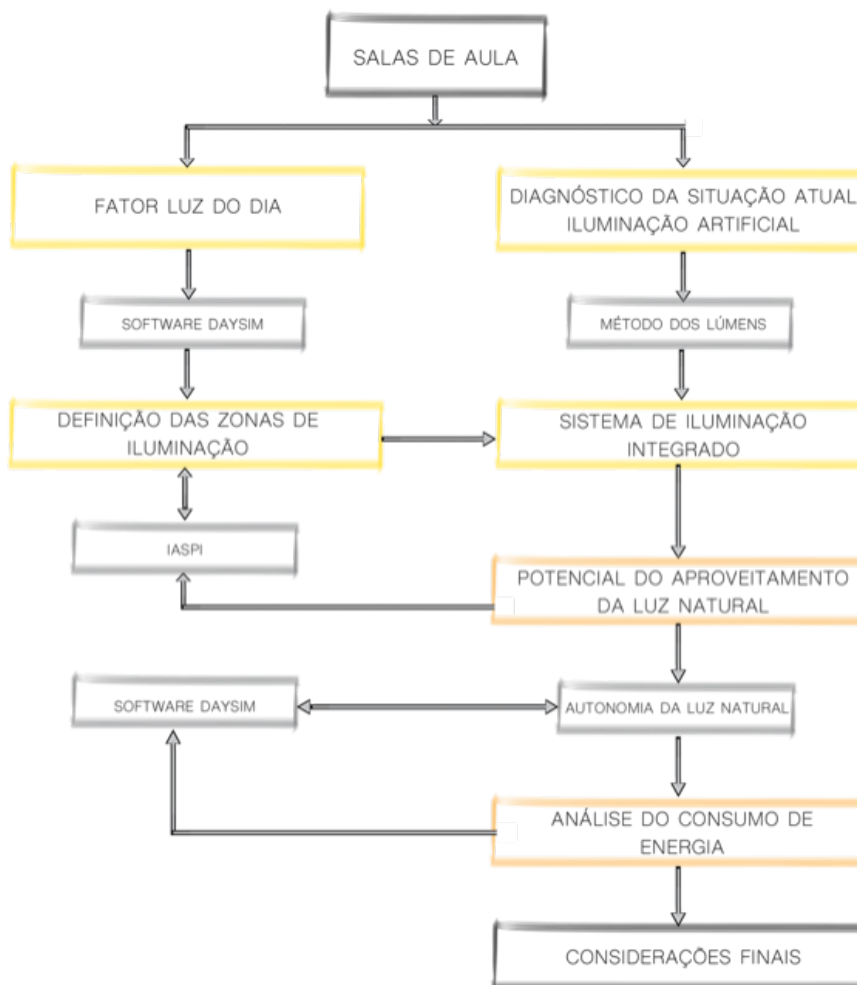
3. METODOLOGIA

O presente estudo classifica-se do ponto de vista da sua natureza, de acordo Silva e Menezes (2005), como uma pesquisa aplicada, pois “objetiva gerar conhecimento para aplicação prática e dirigido a soluções de problemas específicos” (SILVA; MENEZES, 2005, p. 20). Quanto à forma de abordagem do problema, é uma pesquisa mista com uma abordagem quantitativa dominante, considerando as variáveis que podem ser quantificáveis, que para Silva e Menezes (2005) significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Quanto ao método, baseia-se nos conceitos de estudos de caso, que de acordo com Gil (2002), “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento” (p.54). Tendo assim, a função de proporcionar uma visão global do problema (GIL, 2002). Para isso, foi feita uma revisão de literatura em teses, dissertações e artigos, de forma que pudéssemos assegurar a aplicabilidade da metodologia e variáveis utilizadas.

Assim, conforme todo conteúdo exposto, este estudo visa caracterizar o desempenho da iluminação natural e artificial como complemento da natural, objetivando identificar fatores que determinem ou contribuam para ocorrência de fenômenos e gerar conhecimento para aplicação prática e solução de problemas específicos da iluminação, atrelado à economia de energia.

3.1 Etapas e Métodos

Figura 14 - Etapas Metodológicas.



Fonte: Produzido pela autora, 2015.

Primeiramente, foi feita a definição da situação de trabalho, ou seja, a caracterização do objeto, através de observações feitas *in loco* das salas de aula no Centro de Tecnologia onde foram levantadas informações referentes à caracterização do entorno, à dimensão da sala de aula, orientação solar, tamanho das aberturas, materiais utilizados nas paredes, piso, teto, esquadrias, carteiras e quadro, tipo de luminária e lâmpada utilizada, bem como sua distribuição (Figura 14).

De posse dessas informações, partiu-se para caracterização do desempenho da luz natural e artificial. Para avaliação dos aspectos quantitativos: primeiramente,

foram feitas simulações computacionais dinâmicas no software Daysim, para obtenção das disponibilidades do fator de luz do dia e autonomia da luz natural no interior das salas de aula. Em seguida, a partir do FLD foram definidas as zonas de iluminação, de acordo com os critérios apresentados no item 2.4 e interpolado com o gráfico de ALN para diagnosticar quanto (em percentual) a luz natural tem autonomia nos espaços analisados. Para avaliação dos aspectos qualitativos: Foi utilizado o fator de uniformidade, para as questões relacionadas a uniformidade do ambiente interno. Para avaliar a eficiência luminosa do sistema, bem como o potencial de economia de energia na etapa seguinte foram realizadas simulações computacionais no software Daysim, a partir da relação entre o fluxo luminoso emitido e a energia elétrica consumida (lâmpada e reator). De posse dessas informações propõem-se o sistema de iluminação artificial integrado de forma a atingir um melhor desempenho lumínico e de consumo de energia dos ambientes em questão. Para o diagnóstico da iluminância estática (luz artificial) e proposição de um novo sistema utilizou-se o software Dialux.

3.2. Estudo Piloto

O estudo piloto foi executado com o objetivo de avaliar uma amostra menor de todo o escopo da pesquisa de forma a estabelecer um melhor entendimento do comportamento da luz e da equivalência entre valores numéricos das iluminâncias registrados pelos luxímetros ao que pode ser observado *in loco*.

O primeiro passo para a execução do estudo piloto foi a definição de uma sala de aula padrão, que possuísse maior quantidade de repetições ao longo do Centro de Tecnologia. A partir dos critérios estabelecidos foi escolhido o bloco de tipologia térrea, por possuir maior quantidade de salas de aula desta tipologia, e o bloco D por possuir menor interferência do entorno, de forma que fosse possível quantificar e qualificar os efeitos da luz em um ambiente (Figura 15).

Figura 15 - Implantação geral Centro de Tecnologia, UFPB. Destacado em vermelho o bloco D.



Fonte: Prefeitura UFPB, editado pela autora.

Primeiramente, foram feitas medições *in loco*: etapa esta que serviu para auxiliar no melhor entendimento do níveis luminosos e comportamento da luz no interior da sala de aula. Foram realizadas no dia 28 de agosto de 2014 de acordo com parâmetros presentes na NBR 15.215-4:2005.

A distribuição dos luxímetros seguiu as recomendações da NBR 15215-4 (ABNT 2005), os quais foram locados a 0,75m do chão, distantes das paredes 1,35m e 2,20 e entre si, no sentido horizontal e 1,70m na vertical. Os luxímetros utilizados eram dos modelos Minipa MLM-1332, Minipa MLM-1011 e Instrutherm LD 300 (Figura 16).

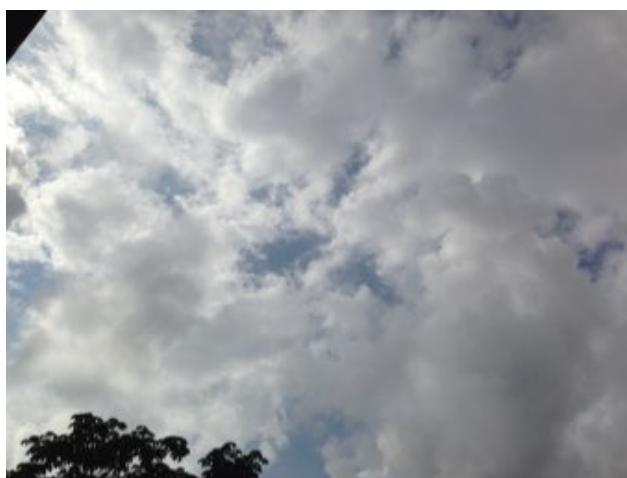
Figura 16 - Modelos luxímetros utilizados na medição.



Fonte: Acervo pessoal.

Os horários estabelecidos para a medição foram de acordo com os turnos de utilização das salas de aula. As iluminâncias provenientes da luz natural foram coletadas a cada hora, iniciando às 8h e finalizando às 17h, com o intervalo de 12h às 14h, horário este no qual não há atividades na sala. De acordo com a classificação de céu presente na NBR 15.215-2:2005, o céu encontrava-se parcialmente encoberto, ou seja, sob condições climáticas intermediárias entre inexistência de nuvens e nuvens que preenchem toda a porção da abóbada celeste, conforme figura 17.

Figura 17 - Céu parcialmente encoberto no dia 28.08.2014.



Fonte: Acervo pessoal.

De posse dessas observações, foram feitas simulações computacionais junto ao software Daysim, para obtenção das disponibilidades de iluminação natural no interior da sala de aula. Na etapa seguinte foram realizadas simulações computacionais no software Dialux para diagnóstico do sistema de iluminação elétrica utilizado. A partir da distribuição da luz natural e dos resultados obtidos a partir das simulações, foram propostas zonas de iluminação e alternativas de sistema de iluminação artificial, baseadas nos valores estabelecidos pela norma, com o objetivo de integrar os sistemas de iluminação natural e artificial e um melhor desempenho lumínico e de consumo de energia dos ambientes em questão.

Com isso, pode-se dizer que o estudo piloto contribuiu para um melhor entendimento do comportamento da luz. Tal compreensão se deu pelas medições em que foi possível visualizar no ambiente, bem como através das simulações computacionais, que ajudaram também no esclarecimento e teste do método, o que possibilitou testificar a necessidade da utilização do software como principal

ferramenta de análise em relação às medições *in loco*, diante da quantidade de salas, em relação ao tempo de pesquisa, bem como a limitação dos equipamentos. Percebeu-se através do estudo piloto que através da utilização do software Dialux foi possível diagnosticar a atual situação da iluminação artificial no ambiente.

4. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO

O objeto de estudo desta pesquisa está localizado em João Pessoa, no Bairro Cidade Universitária (Figura 18) , na Universidade Federal da Paraíba, no Centro de Tecnologia (UFPB). Dentre os centros existentes no Campus I, o Centro de Tecnologia é composto por um total de 22 blocos (Figura 19), dentre os quais, 10 deles possuem 35 salas de aula padrão, compostas por carteiras e quadro.

Figura 18 - Mapa de João Pessoa. Destaque no bairro Cidade Universitária.



Fonte: Jampa *in* mapas, 2015.

Figura 19 - Implantação Centro de Tecnologia, UFPB.



Fonte: Prefeitura da UFPB, editado pela autora.

Todos os dados que serão descritos a seguir estão sistematizados no Apêndice I.

4.1 Tipo 01

Os blocos A, B, C, D e E são de tipologia térrea, dentre eles apenas os blocos A, B e D são compostos por salas de aula padrão, que totalizam doze salas de aulas de 8,90 x 7,80cm (bloco A e D) e 5,90 x 7,80cm (bloco B) de dimensão, havendo pequenas diferenças de dimensões entre as salas (diferenças estas que foram consideradas no modelo para simulação). Possuem aberturas bilaterais de 1,40cm de altura, peitoril de 1,10cm e largura que varia de acordo com a dimensão da sala, as orientadas para norte, sendo elas em alumínio e vidro com película fumê (Figura 20) e 1,00cm de altura, peitoril de 1,60 e largura variando de acordo com a dimensão da sala a sul. As quais (por sala) totalizam em 45% de aproveitamento de fachada. Na parede paralela à janela existem aberturas com peitoril de 1,60m e altura de 1,00m e as larguras variam de acordo com a dimensão da sala de aula.

Figura 20 - Esquadria sala de aula dos blocos A, B e D.



Fonte: Acervo pessoal, 2015.

Na fachada orientada para norte são utilizados brises verticais e marquise com protetores solares. Na fachada sul, as aberturas são protegidas pela marquise que cobre a circulação das salas de aula e ainda reforçadas pela existência de brises verticais na extremidade da circulação (Figura 21 e 22).

Figura 21 - Tipologia dos blocos A, B e D.



Fonte: Produzido por LUCENA, 2015.

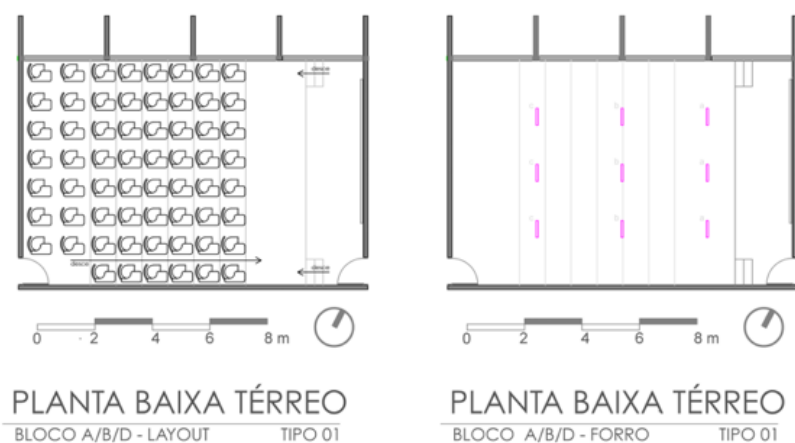
Figura 22 - Foto fachada noroeste bloco D e E.



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

No que diz respeito ao sistema de iluminação elétrica utilizado, em todas as salas estão instaladas fluorescentes tubulares T10 de 40W, em luminária de sobrepor sem refletor, distribuídas em 3 circuitos de acendimento conforme Figura 23. Vale ressaltar que a quantidade de luminárias e circuitos variam de acordo com a dimensão das salas de aula.

Figura 23 - Planta baixa layout das salas de aula dos blocos A, B e D.



Fonte: Prefeitura da UFPB, editado pela autora.

Quanto aos materiais: as paredes são em tijolo maciço na cor terracota (Figura 25), o piso em cerâmica bege 30x30cm (Figura 24 e 25) ou em cerâmica terracota 5x10cm (apenas no bloco B) e o teto é a própria laje emassada e pintada na cor branca. As portas são revestidas com laminado branco fosco. O quadro é em vidro, com acabamento jateado e está fixado na parede perpendicular à janela (Figura 24). As carteiras possuem encosto, assento e prancheta em polipropileno azul (Figura 26). Ver tabela 10 com as reflectâncias, absortâncias e transmitâncias dos materiais mencionados acima.

Figura 24 - Foto Interna Sala de Aula.



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

Figura 25 - À esquerda parede em tijolo na cor terracota. À direita piso em cerâmica.



Fonte: Acervo pessoal, 2015.

Figura 26 - As carteiras são em encosto, assento e prancheta em polipropileno azul.



Fonte: Acervo pessoal, 2015.

Em termos construtivos, os blocos analisados não apresentam nenhuma diferença, sendo apenas o entorno o fator de alteração. O entorno do bloco A é composto a norte e a oeste por uma edificação de tipologia térreo mais dois pavimentos (Figura 27). Já o entorno do bloco B, além da edificação a oeste, possui a norte árvores de médio e grande porte (Figura 28). No bloco D, a vegetação é de pequeno porte e a edificação a oeste é de tipologia térreo mais um pavimento (Figura 29).

Figura 27 - Edificação na porção oeste do bloco A e B



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

Figura 28 - Vegetação entorno blocos B e D.



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

Figura 29 - Vegetação entorno bloco D e edificação da biblioteca setorial ao fundo.



Fonte: Acervo pessoa, 2014.

4.2 Tipo 02

Os blocos J, K e M são de tipologia térrea mais dois pavimentos (Figura 30), dentre os quais são compostos por um total de dezesseis salas de aulas de 7,00m x 8,00m de dimensão, com abertura bilateral de 1,60cm de altura e largura de 7,00cm,

recuada 1,90cm da fachada sul e protegidas por brises horizontais e abertura com cobogós com 0,40cm de altura e largura de 6,00cm orientadas para norte. As aberturas (por sala) totalizam 60% de aproveitamento de fachada, sendo as mesmas tipo basculante em alumínio e vidro com película fumê (Figura 31).

Figura 30 - Vista fachada sul blocos em análise.



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

Figura 31 - Esquadria sala de aula bloco J e vista dos brises horizontais.



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

Na porção interna das salas de aula as paredes são emassadas e pintadas na cor branca, o piso é do tipo granilite, na cor cinza e o teto é na cor branca (Figura 32). O quadro é em vidro, com acabamento jateado e está fixado na parede paralela à janela (Figura 32). As carteiras possuem encosto, assento e prancheta em

polipropileno azul (Figura 32). Ver tabela 10 com as refletâncias, absorvâncias e transmitâncias do materiais mencionados acima.

Figura 32 - À esquerda parede emassada e pintada na cor branca. À direita piso em granilite.



Fonte: Acervo pessoal, 2015.

Figura 33 - Foto Interna Sala de Aula.



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

No que diz respeito ao sistema de iluminação elétrica utilizado, em todas as salas estão instaladas fluorescentes tubulares T10 de 40W, em luminária de sobrepor sem refletor, distribuídas em 2 circuitos de acendimento conforme Figura 34.

Figura 34 - Planta Baixa Layout e Planta de pontos de luz. .



Fonte: Prefeitura da UFPB, editado pela autora.

Em termos construtivos, os blocos analisados não apresentam nenhuma diferença, sendo apenas o entorno o fator de alteração. O entorno do bloco J é composto a sul por outra edificação de mesma tipologia (Figura 35). O entorno do bloco M, possui a sul edificação de tipologia térrea mais um pavimento (Figura 35).

Figura 35 - Edificação a sul do bloco J e a sul do bloco M.



Fonte: Acervo pessoa, 2014.

4.3 Tipo 03

No bloco I existem duas tipologias: a térrea (tipo 03) (Figura 36) e a térrea mais um pavimento (tipo 04) (Figura 37). As salas de aula de tipologia térrea são

compostas por um total de quatro salas de aulas de 5,50cm x 6,00cm (3 unidades) e 5,50cm x 7,40cm (1 unidade) de dimensão, com abertura unilateral de 1,60cm de altura e largura de 5,50cm protegidas por brises verticais. As aberturas (por sala) totalizam 54% de aproveitamento de fachada norte, sendo as aberturas de correr em alumínio e vidro com película fumê.

Figura 36 - Edificação térrea a (Tipo 03) e Edificação térrea mais um pavimento (Tipo 04).



Fonte: Acervo pessoa, 2014.

As paredes internas são em tijolo maciço pintado de branco, piso amadeirado escuro e teto na cor branca. O quadro é do tipo branco padrão e está fixado na parede perpendicular à janela (Figura 37). As carteiras possuem encosto e assento em tecido azul e prancheta revestida com fórmica bege (Figura 37). Ver tabela 10 com reflectâncias, absortâncias e transmitâncias do materiais mencionados acima.

Figura 37 - Fotos sala de aula tipo 03 (frente e fundo), bloco I.

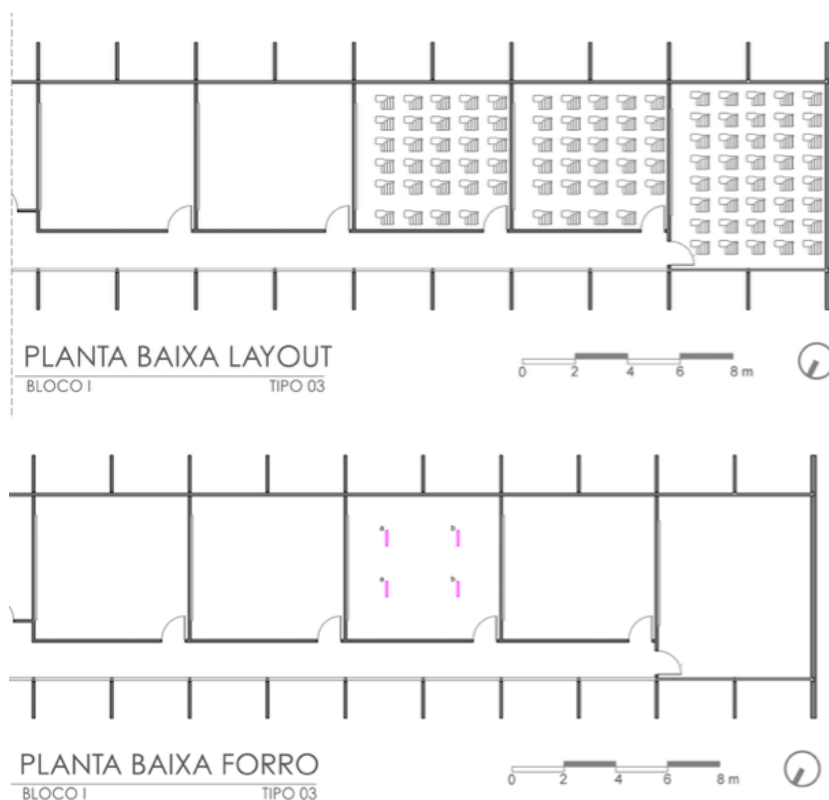


Fonte: Acervo pessoal, 2015.

No que diz respeito ao sistema de iluminação elétrica utilizado, em todas as salas estão instaladas fluorescentes tubulares T10 de 40W, em luminária de sobrepor sem refletor, distribuídas em 2 circuitos de acendimento (Figura 38).

Em termos construtivos, o bloco tipo 3 não apresenta diferenças construtivas em relação aos blocos tipo 01, sendo a orientação solar da abertura e o entorno o fator de alteração. O entorno do bloco I é composto a sul por uma edificação de mesma tipologia e pouca vegetação de grande porte (Figura 39).

Figura 38 - Salas de aula tipo 01 bloco I e Planta baixa distribuição das luminárias e circuitos sala de aula tipo 04 térreo.



Fonte: Prefeitura UFPB, editado pela autora.

Figura 39 - Vegetação entorno bloco.



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

4.4. Tipo 04

As salas de aula de tipologia térrea mais um pavimento são compostos por um total de quatro salas de aulas de 5,80cm x 7,80cm, dentre as quais duas estão no térreo e duas no primeiro pavimento. Possuem aberturas unilaterais separadas de 1,20cm de altura e largura de 2,00cm voltadas para oeste, protegidas por uma parede de cobogó. As locadas no pavimento superior possuem aberturas bilaterais orientadas para leste e oeste, sendo as voltadas para oeste protegidas por uma parede de cobogó. Na sala do térreo a dimensão das aberturas correspondem a 28% de aproveitamento de fachada e 55% das salas do primeiro pavimento. Sendo as aberturas de correr em alumínio e vidro com película fumê.

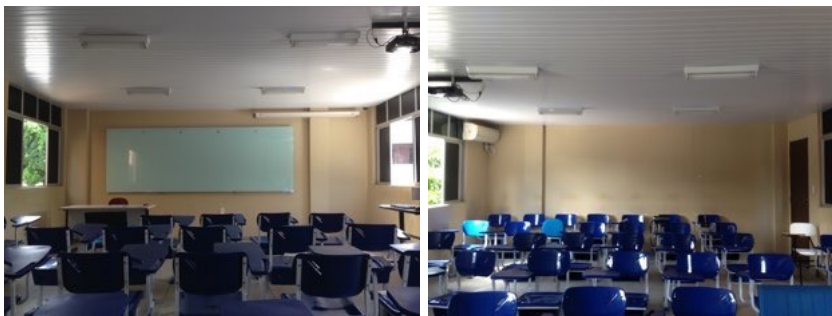
As paredes são emassadas e pintadas na cor palha, o piso é em granilite na cor cinza e o teto é em pvc na cor branca. O quadro é do tipo branco e está fixado na parede perpendicular à janela (Figura 40 e 41). As carteiras possuem encosto, assento e prancheta em polipropileno azul royal (Figura 40 e 41). Ver tabela 10 com reflectâncias, absortâncias e transmitâncias do materiais mencionados acima.

Figura 40 - Foto sala de aula tipo 04 térreo.



Fonte: Acervo pessoal, 2015.

Figura 41 - Foto sala de aula tipo 04 1º pavimento.



Fonte: Acervo pessoal, 2015.

O sistema de iluminação artificial instalado consiste na utilização de 06 luminárias, contendo cada uma 02 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 20w, distribuídas conforme Figura 42.

Quanto ao entorno, as aberturas estão voltadas para um pequeno jardim com vegetação de pequeno porte protegida por parede de cobogó. De semelhante modo acontece no primeiro pavimento porém não há o jardim, apenas um vão de 1,20cm protegido por uma parede de cobogó.

Figura 42 - Planta baixa layout sala de aula tipo 04 térreo e Planta baixa distribuição das luminárias e circuitos sala de aula tipo 04 térreo.



Fonte: Prefeitura UFPB, editado pela autora.

Tabela 10 - Características das superfícies.

Superfície	Reflectância	Absortância	Transmitância	Fonte
Vidro	0,06 - 0,08 ¹	0,04 - 0,02	0,8 - 0,9	PEREIRA e SOUSA, 2005
Gesso	0,8 - 0,9 ¹	0,2 - 0,1	-	PEREIRA e SOUSA, 2005
Concreto	0,4 - 0,5 ¹	0,6 - 0,5	-	PEREIRA e SOUSA, 2005
Madeira	0,15 - 0,50 ¹	0,85 - 0,50	-	PEREIRA e SOUSA, 2005
Pintura branca	0,8 ¹	0,2	-	PEREIRA e SOUSA, 2005
Pintura bege	0,65 ¹	0,35	-	DORNELLES e RORIZ, 2007
Parede em tijolo terracota	0,18 - 0,32 ¹	0,82 - 0,68	-	PEREIRA e SOUSA, 2005
Piso interno	0,30 ¹	-	-	REINHART, 2010
Teto interno	0,84 ¹	-	-	REINHART, 2010
Azul royal	0,32 ¹	0,68	-	CASTRO, <i>et al.</i> , 2003
Quadro branco	0,88 ²	0,12	-	DORNELLES e RORIZ, 2007

¹ Reflectância Difusa/ ² Reflectância Especular

Fonte: Produzido pela autora, 2015.

Tabela 11 - Caracterização dos tipos.

Tipo	Bloco	Parede	Piso	Teto	Iluminação	Entorno	Quadro	Orient. abertura
1	A	Tijolo maciço terracota	Cerâmica bege 30x30	Gesso branco	Fluor.tubular T10, 40w/ Luminária de sobrepor s/ refletor ou proteção	Edificação tipo 2 a norte	Perpendicular a abertura	Norte
1	B	Tijolo maciço terracota	Cerâmica bege 30x30	Gesso branco	Fluor.tubular T10, 40w/ Luminária de sobrepor s/ refletor ou proteção	Edificação tipo 2 oeste e vegetação de médio e grande porte a norte	Perpendicular a abertura	Norte
1	D	Tijolo maciço terracota	Cerâmica bege 30x30	Gesso branco	Fluor.tubular T10, 40w/ Luminária de sobrepor s/ refletor ou proteção	Edificação a oeste de tipologia térreo mais 1 pavimento e vegetação de pequeno porte a norte	Perpendicular a abertura	Norte
2	J01 J02	Emassada e pintada de branco	Granilite cinza	Gesso branco	Fluor.tubular T10, 40w/ Luminária de sobrepor sem refletor ou proteção	Edificação tipo 2 a sul	Paralelo a abertura	Sul
2	M	Emassada e pintada de branco	Granilite cinza	Gesso branco	Fluor.tubular T10, 40w/ Luminária de sobrepor sem refletor ou proteção	Edificação de tipologia térreo mais 1 pavimento a sul	Paralelo a abertura	Sul
3	I	Tijolo maciço pintado de branco	Madeirado	Gesso branco	Fluor.tubular T10, 40w/ Luminária de sobrepor sem refletor ou proteção	Edificação de mesma tipologia a norte e vegetação de médio e grande porte a norte	Perpendicular a abertura	Norte
4	I (térreo)	Emassada e pintada na cor creme	Granilite cinza	PVC branco	Fluor. tubular T10, 20w/ Luminária de sobrepor s/ refletor	Jardim pequeno com vegetação de pequeno porte protegida por parede de cobogó	Perpendicular a abertura	Oeste
4	I (1º pav.)	Emassada e pintada na cor creme	Granilite cinza	PVC branco	Fluor. tubular T10, 20w/ Luminária de sobrepor s/ refletor	Telhado de fibrocimento e edificação tipo 1 (leste) e parede de cobogó a oeste	Paralelo a abertura	Leste e Oeste

Fonte: Produzido pela autora, 2015.

5. COLETA DE DADOS

A coleta de dados para obtenção das disponibilidades de iluminação natural no interior das salas de aula foi feita a partir da simulação computacional dinâmica no software Daysim. O Daysim é um dos programas de simulação dinâmica de iluminação natural recomendados pelo RTQ-C (INMETRO, 2010) devido à possibilidade de trabalhar com sazonalidade da luz natural. O programa foi desenvolvido pelos National Research Council Canadá (NRCC) e Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (FRAUNHOFER ISE) da Alemanha. O software é baseado no algoritmo do Radiance para calcular as iluminâncias internas de um dado ambiente para o período de um ano em todas as condições de céu além de trabalhar com o modelo de controle do comportamento do usuário, em que é possível quantificar o potencial da economia de energia com a utilização de controles automatizados da luz, sensores de ocupação, interruptores (REINHART *et al.*, 2010).

As simulações foram realizadas para a sala de aula descrita anteriormente, com base em um arquivo de pontos feito de acordo com as recomendações da NBR 15:215-4:2005. Partiu-se do princípio de que a sala de aula é ocupada de segunda a sexta-feira, das 8h às 17h, (horário este em que se tem disponibilidade de luz natural útil na cidade de João Pessoa, PB), resultando em um total anual de 7.920h de ocupação.

Para a execução da tarefa foi considerada a iluminância mínima recomendada pela norma nacional (NBR ISO 8995-1:2013) de 500 lux. Com isto foram verificados o fator de luz do dia e a autonomia da luz natural. Tendo como base o arquivo climático da cidade de João Pessoa, formatado pelo professor Maurício Roriz e disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE – UFSC).

A coleta de dados para obtenção das disponibilidades de iluminação artificial no interior das salas de aula foi feita a partir da simulação computacional estática no software Dialux. O dialux é um software produzido na Alemanha para simulação da iluminação o qual de acordo com Sousa (2011) seus resultados foram validados

segundo a norma CIE 171:2006. O software é baseado no algoritmo do *Raytracer* para calcular a iluminação.

6. ANÁLISE E RESULTADOS

A análise dos aspectos quantitativos e qualitativos da luz natural e artificial complementar consistem em avaliar a quantidade de luz disponibilizada a partir dos parâmetros fator de luz do dia e da autonomia da luz natural, levando em consideração o tipo de atividade que se desenvolve no ambiente; definir zonas de iluminação a partir do método IASPI e dos limites recomendados por Robbins (1986) que com base no fator de luz do dia mínimo encontrado defini-se os limites que garantem um razoável e confortável raio de contraste para o olho humano de $3 \times \text{FLD}_{\min}$, $9 \times \text{FLD}_{\min}$ e $27 \times \text{FLD}_{\min}$ a faixa de cada zona de iluminação; analisar o fator de uniformidade do sistema e compara-lo com os valores apresentados pelas normas vigentes avaliar a quantidade de luz disponibilizadas a partir da iluminância estática recomendada pelas normas vigentes; a escolha adequada do tipo de lâmpada e luminária e a eficiência luminosa do sistema.

A partir de agora será descrita a análise de capa tipo, quanto às variáveis FLD e ALN, bem como quantidade de zonas estabelecidas em cada bloco de acordo com os limites mencionados anteriormente.

6.1 Tipo 01

Os blocos tipo 01, de acordo com levantamento feito *in loco*, têm um total de 12 salas de aula padrão, distribuídas nos blocos A, B e D. O layout utilizado encontra-se em concordância com as recomendações técnicas para ambientes de ensino, ou seja, carteiras e quadros posicionados perpendicularmente a abertura, facilitando um melhor aproveitamento da luz natural que penetra lateralmente, evitando que a sombra do próprio usuário interfira. Fator este que pode ser favorável ou não dependendo do lado da escrita.

Pode-se observar que as reflectâncias dos materiais utilizados no piso, teto e plano de trabalho encontram-se de acordo com os recomendados para ambientes escolares. Porém, constatou-se que tijolo aparente terracota utilizado nas paredes possui reflectância abaixo do recomendado pela norma conforme apresentado na Tabela 12. Outra questão abordada pela IESNA (2000) é que não haja superfícies especulares – quanto a esse quesito tais ambientes estão em discordância, pois

possuem o quadro em vidro com película branca, ponto este na sala de aula que gera o ofuscamento refletido, onde a superfície do vidro reflete uma fonte de luz nos olhos dos usuários.

Tabela 12 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 01).

Aplicação	Reflectância simulada (situação atual)	Reflectância recomendada (NBR ISO 8995-1:2013)
Parede	20%	30-80%
Piso	30%	30-50%
Teto	80%	30-50%
Plano de Trabalho	32%	20-60%
Quadro	8%	Mais que 20%

Fonte: PEREIRA e SOUSA, 2005 e REINHART, 2010. Produzido pela autora.

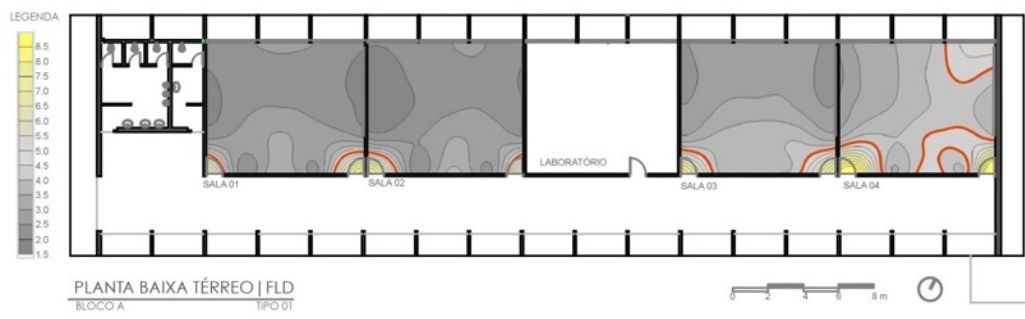
6.1.1 Bloco A

No bloco A, foram analisadas 04 salas de aula. A partir dos parâmetros de divisão de zonas adotados ($3 \times \text{FLD}_{\min}$), as salas apresentaram a existência de duas zonas que correspondem ao FLD de 1,5 até 4,5 e aos valores acima de 4,5 (Figura 43): a zona 01 possui bolsões próximos à porta com profundidade de 1,40m, havendo na sala 04 um bolsão próximo à janela, com profundidade de 2,15m; a zona 02 possui profundidade de 6,00m em relação à janela, havendo um estreitamento desta na sala 04 (Figura 43). Com as dimensões das zonas definidas, foi possível sobrepor esses dados no gráfico de ALN (Figura 44).

De acordo com as simulações, a ALN para as salas é de 28 a 46% nas salas. Na zona 01 a ALN de 44%, o que significa dizer que nos outros 56% do tempo de uso, a luz natural não atinge os valores estabelecidos pela norma vigente de 500 lux. Na zona 02 a ALN varia entre 28 e 36% para as salas 01 e 02 e entre 36 e 40% para as salas 03 e 04.

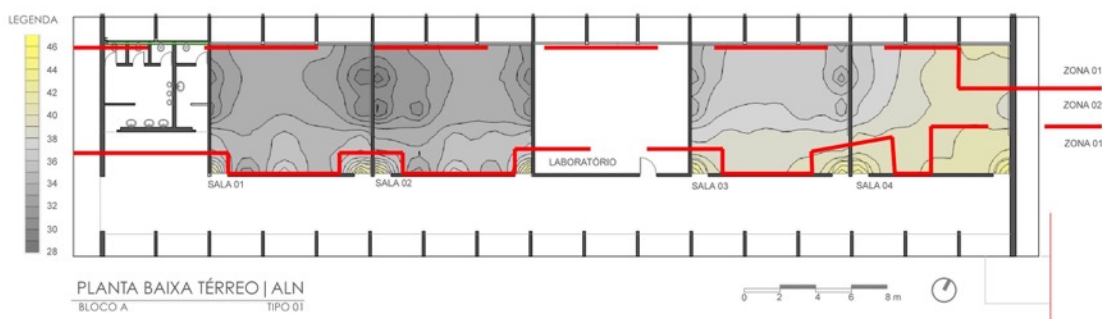
Ao analisar a uniformidade da distribuição da luz nos ambientes pode-se diagnosticar que o fator de uniformidade de 0,50 está abaixo do recomendado para o plano de trabalho, porém se adequa para as áreas de entorno, as quais são inexistentes devidos a organização do layout atualmente.

Figura 43 - Fator luz do dia. Definição das zonas, bloco A.



Fonte: LUCENA, 2015.

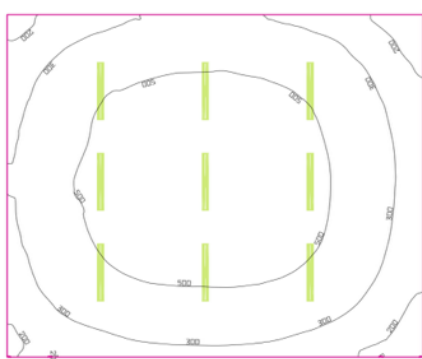
Figura 44 - Autonomia da luz natural. Definição das zonas, bloco A.



Fonte: LUCENA, 2015.

No que diz respeito ao sistema de iluminação artificial instalado os níveis de luminância estão de acordo com os recomendados pela norma (Figura 45). Na porção central predominância de 500 lux e no entorno entre 300 e 200 lux. A questão que deve ser levantada é quanto ao quadro, pelo mesmo ser considerado um plano de trabalho deve possuir de acordo com a NBR ISO 8995-1:2013, 500 lux de luminância a qual caso estudado apresenta 200 lux.

Figura 45 - Isolinhas luminâncias, bloco A



Fonte: LUCENA, 2015.

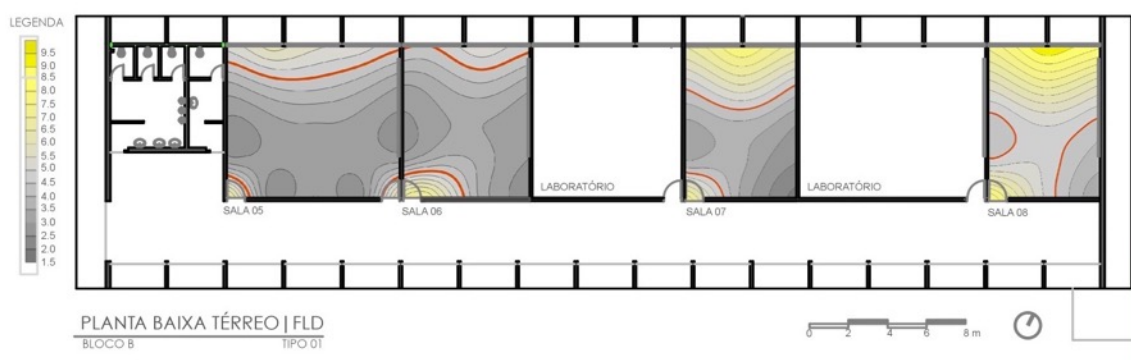
6.1.2 Bloco B

No bloco B existem 06 ambientes, dentre os quais 04 foram analisados por serem salas de aula. A partir dos parâmetros de divisão de zonas adotados ($3 \times FLD_{min}$), as salas apresentaram a existência de duas zonas que correspondem ao FLD de 1,5 até 4,5 e aos valores acima de 4,5: a zona 01 possui bolsões próximos à porta com profundidade de 1,20m e próximos às janelas com distância de 1,60m nas salas 05 e 06 e 3,35m na sala 07; a zona 02 corresponde à porção central das salas de aula (Figura 45). Com as dimensões das zonas definidas, foi possível interpolar esses dados no gráfico de ALN (Figura 46).

Quanto à ALN, a zona 01 varia de 40 a 44%, ou seja, das horas que a sala é utilizada, apenas 44% do tempo atinge valores equivalentes a 500 lux, o restante da porcentagem de horas apresentam valores abaixo do recomendado pela norma vigente. Na zona 02 as salas 05 e 06 possuem menor ALN (30 a 36%) do que as salas 07 e 08 (36 a 44%).

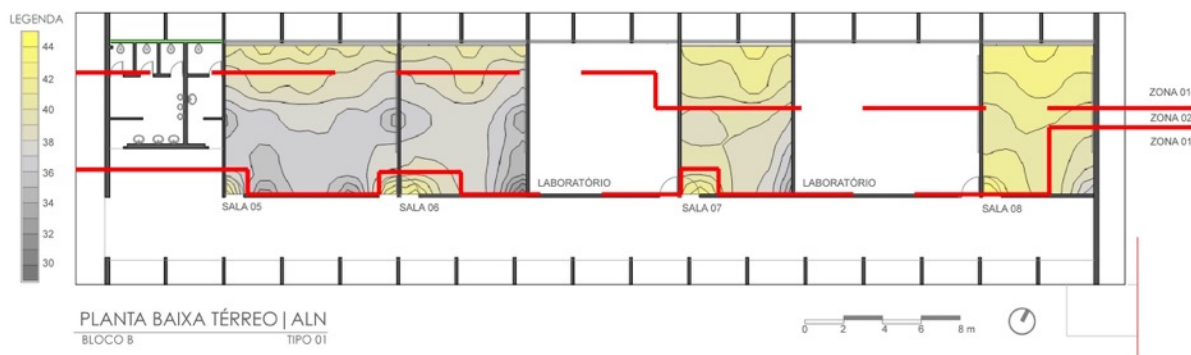
Ao analisar a uniformidade da distribuição da luz nos ambientes pode-se diagnosticar que o fator de uniformidade de 0,47 está abaixo do recomendado pela norma para o plano de trabalho.

Figura 46 - FLD. Definição das zonas, bloco B.



Fonte: LUCENA, 2015.

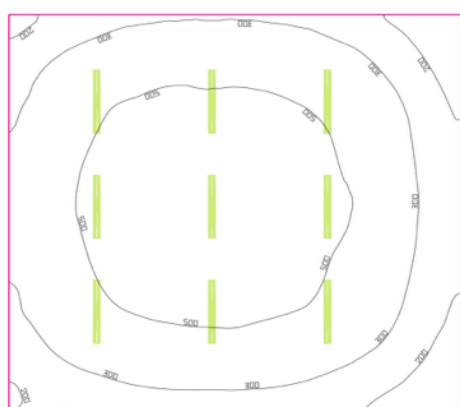
Figura 47 - ALN. Definição das zonas, bloco B.



Fonte: LUCENA, 2015.

No que diz respeito ao sistema de iluminação artificial instalado os níveis de luminância estão de acordo com os recomendados pela norma (Figura 45). Como as salas de aula possuem dimensões semelhantes as do bloco A a luz artificial se comportou de forma equivalente, com predominância de 500 lux na porção central e no entorno entre 300 e 200 lux. Levando-se em consideração a mesma questão mencionada anteriormente sobre a luminância do quadro que deveria ser a mesma do plano de trabalho.

Figura 48 - Isolinhas luminâncias, bloco B



Fonte: LUCENA, 2015.

6.1.3 Bloco D

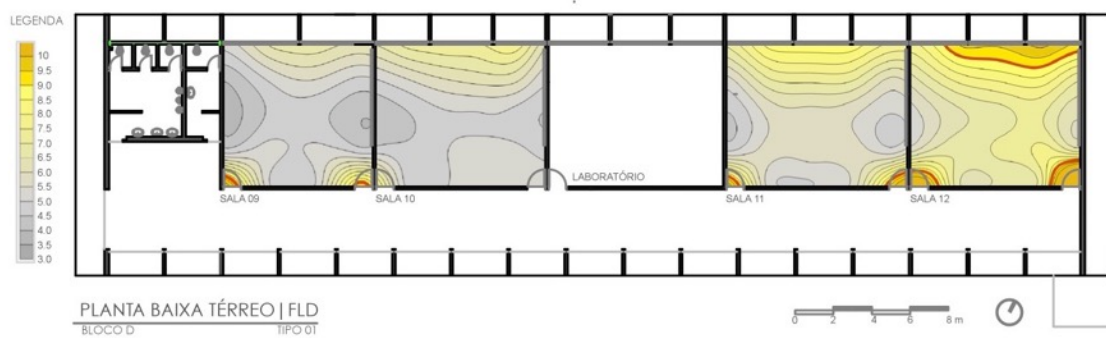
No bloco D existem 05 ambientes, dentre os quais 04 foram analisados por serem salas de aula. A partir dos parâmetros de divisão de zonas adotados ($3 \times \text{FLD}_{\min}$), as salas apresentaram a existência de duas zonas que correspondem ao FLD de 3,0 até 9,0 e aos valores acima de 9,0: a zona 01 possui bolsões próximos à

porta com profundidade de 0,90m e próximo à janela com distância de 1,20m (apenas na sala 12); a zona 02 localiza-se na porção central das salas de aula (Figura 47). Com as dimensões das zonas definidas, foi possível interpolar esses dados no gráfico de ALN (Figura 48).

A ALN nas salas varia entre 32% e 44%, na zona 01 estão os valores maiores, de 40 a 44% e a zona 02 por ser mais abrangente possui maior diferença de valores, onde nas proximidades da janelas a ALN é maior (42%) que na porção central (40%).

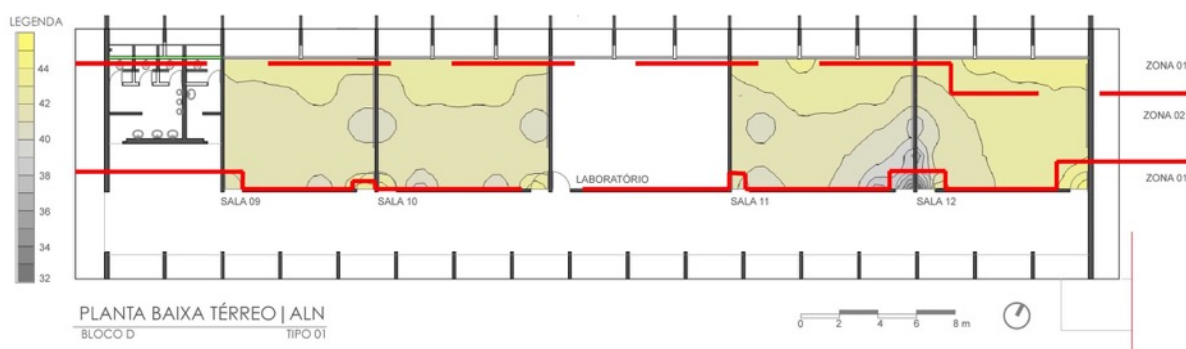
Ao analisar a uniformidade da distribuição da luz nos ambientes pode-se diagnosticar que o fator de uniformidade de 0,37 está abaixo do recomendado pela norma para o plano de trabalho.

Figura 49 - FLD. Definição das zonas, bloco D.



Fonte: LUCENA, 2015.

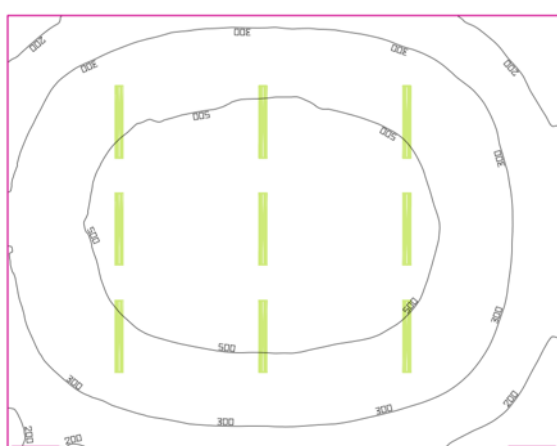
Figura 50 - ALN. Definição das zonas, bloco D.



Fonte: LUCENA, 2015.

No que diz respeito ao sistema de iluminação artificial instalado os níveis de luminância estão de acordo com os recomendados pela norma (Figura 45). Se comportando de forma semelhante as salas de aula do bloco A e B.

Figura 51 - Isolinhas luminâncias, bloco D



Fonte: LUCENA, 2015.

6.2 Tipo 02

Nos blocos do tipo 02, de acordo com levantamento feito *in loco*, há um total de 16 salas de aula, distribuídas nos blocos J e M.

Pode-se observar que o layout das salas de aula não está posicionado em concordância com as recomendações para ambientes educacionais. De acordo com o referencial teórico apresentado anteriormente, observa-se que o layout existente nas salas de aula dos blocos em análise não aproveita a luz natural que entra no espaço devido ao posicionamento das carteiras em relação à abertura: paralelo a janela – layout este que o próprio usuário ao utilizar gera sombra sobre o plano de trabalho. Recomenda-se que as tarefas visuais sejam locadas de modo a evitar ofuscamento, preferencialmente de forma que a iluminação venha lateralmente ou de cima. O segundo fator é o posicionamento do quadro paralelo à janela, que resulta em ofuscamento refletido.

As refletâncias dos materiais utilizados na parede, piso, teto e plano de trabalho encontram-se de acordo com as recomendações para ambientes escolares (Tabela 13). Contudo, indica-se que não haja superfícies especulares – os ambientes estudados não atendem a esse quesito, pois possuem o quadro em vidro

(material especular) com película branca, ponto este na sala de aula que gera o ofuscamento refletido.

Tabela 13 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 02).

Aplicação	Reflectância simulada (situação atual)	Reflectância recomendada (NBR ISO 8995-1:2013)
Parede	80%	30-80%
Piso	30%	30-50%
Teto	80%	30-50%
Plano de Trabalho	32%	20-60%
Quadro	8%	Mais que 20%

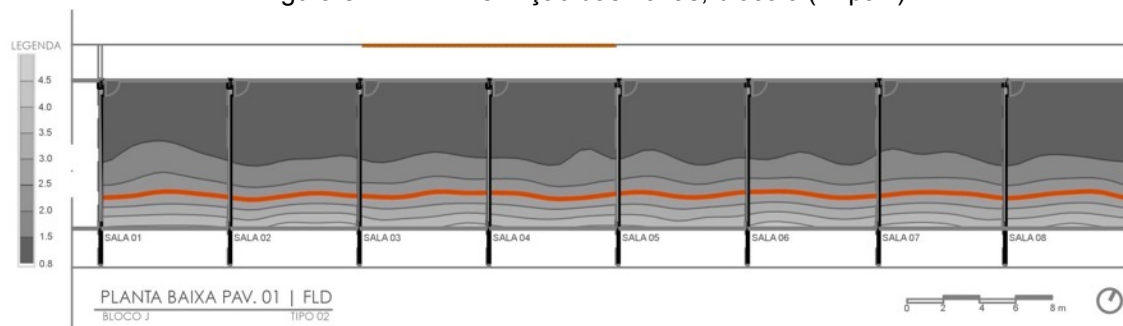
Fonte: Produzido pela autora.

6.2.1 Bloco J (1º pav.)

No primeiro pavimento do bloco J, foram analisadas todas as salas de aula (08 unidades). De acordo com os parâmetros adotados ($3 \times \text{FLD}_{\min}$), as salas de aula apresentam duas zonas que correspondem ao FLD de 0,8 até 2,5 e aos valores acima de 2,5: a zona 01 está distante 2,00m da abertura; a zona 02 corresponde aos 6,00m restantes da dimensão total da sala (Figura 49). Com as dimensões das zonas definidas, foi possível interpolar esses dados no gráfico de ALN (Figura 50).

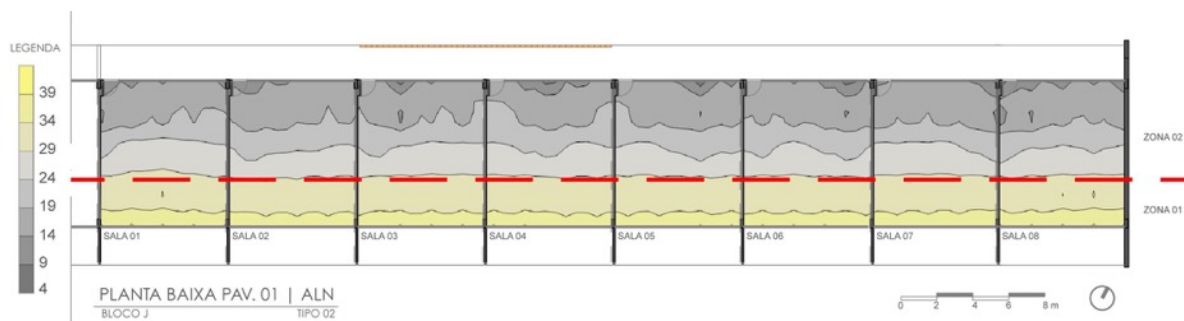
De acordo com as simulações, a ALN para as salas do bloco J (1º pav.) varia entre 4% a 39%. O que significa dizer que nos outros 61% a 96% do tempo, a luz natural não atinge o valor recomendado pela NBR 8995-1:2013 de 500 lux. Com isso, podemos dizer que a zona 01 necessitará de 66% das horas de uso de complementação da iluminação natural com um sistema de luz elétrica bem como a zona 02 de 90% das horas.

Figura 52 - FLD. Definição das zonas, bloco J (1º pav.).



Fonte: LUCENA, 2015.

Figura 53 - ALN, bloco J (1º pav.).



Fonte: LUCENA, 2015.

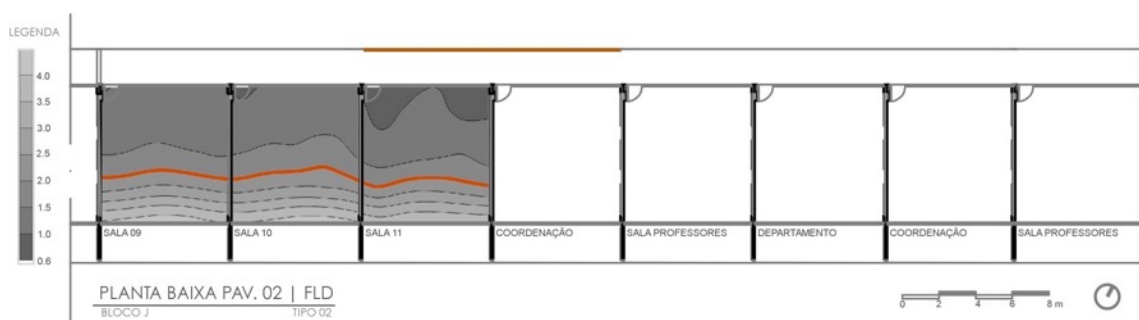
Há uma repetição do comportamento da luz em todas as salas (sala 01 a 08), em que na proximidade da janela (zona 01) estão os maiores níveis de aproveitamento da luz natural e à medida que se distancia dela esse percentual diminui. Diante disto ao analisar a uniformidade da distribuição da luz nos ambientes pode-se diagnosticar que o fator de uniformidade de 0,53 está abaixo do recomendado pela norma para o plano de trabalho. Resultado este que pode ser observado na Figura 49 a partir da distribuição da luz com mais intensidade próximo as aberturas e menor intensidade ao distanciar-se dela.

6.2.2 Bloco J (2º pav.)

No segundo pavimento do bloco J, há um total de 03 salas de aula que se comportaram de forma semelhante aos descritos no item 6.2.1 A ALN é de 2% a 42%. A partir do método de divisão de zonas obteve-se a faixa da zona 01 a 3,00m de distância da abertura, apesar do FLD ter sido de menor valor, a luz penetrou

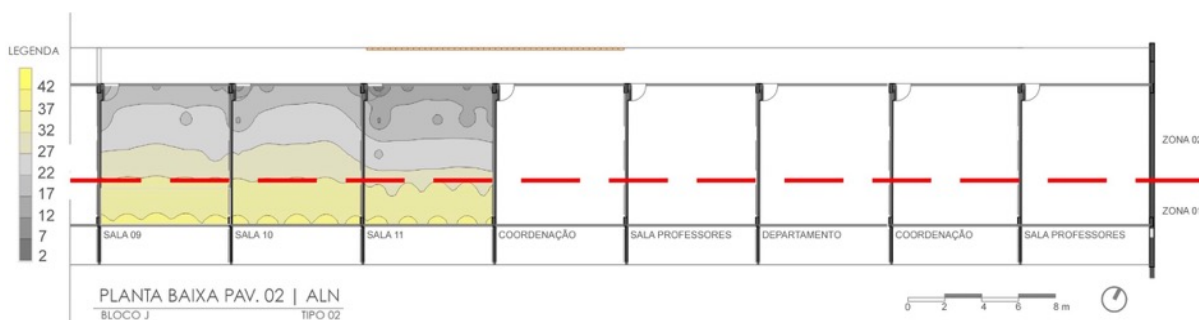
1,00m a mais (Figura 51). No entanto, tal diferença, ao ser espelhada do gráfico de ALN, não reflete grandes mudanças (Figura 52). A zona 01 corresponde à faixa que necessita de 63% das horas de uso com complementação da luz natural, porém abrangendo uma área maior em comparação com a zona 01 do bloco J (1º pav.) e a zona 02 a faixa que precisa de 90% de horas complementadas.

Figura 54 - FLD. Definição das zonas, bloco J (2º pav.).



Fonte: LUCENA, 2015.

Figura 55 - ALN, bloco J (2º pav.).



Fonte: LUCENA, 2015.

Semelhante aos ambientes estudados no 1º pavimento, há uma repetição do comportamento da luz em todas as salas (09 a 11), em que na proximidade da janela (zona 01) estão os maiores níveis de aproveitamento da luz natural e à medida que se distancia dela esse percentual diminui. Diante disto ao analisar a uniformidade da distribuição da luz nos ambientes pode-se diagnosticar que apesar da zona 01 apresentar maior profundidade, o que nos indicaria uma maior uniformidade no ambiente percebe-se que este não é um indicativo pois, o fator de uniformidade de 0,40 denota que a uniformidade está abaixo do recomendado pela norma para o plano de trabalho.

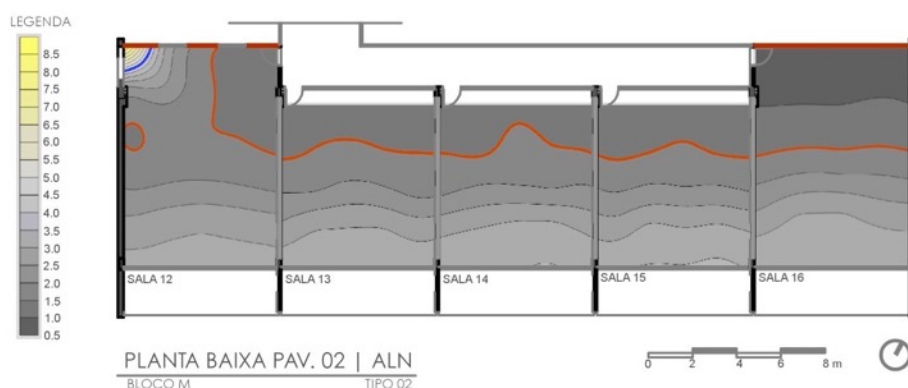
6.2.3 Bloco M

No bloco M, as 04 salas de aula analisadas estão restritas apenas ao segundo pavimento. De acordo com as simulações, o tempo disponível de aproveitamento da luz natural útil é de 2% a 42% do total de horas de ocupação. A partir da Figura 54 é possível observar que há uma repetição do comportamento da luz ao longo dos 04 ambientes, no entanto, na sala 12, devido à existência de uma janela adjacente (sala 12), há uma quantidade maior de luz na porção próxima à abertura. Fator este que acarretou de acordo com FLD em três zonas.

A distribuição das zonas nessas salas acontece em proporções diferentes (Figura 53). A zona 01 tem 5,00 m de profundidade e corresponde a ALN de 37-44%. Já a zona 02 abrange a porção central das salas de aula, com ALN variando entre 32-2%. A terceira zona que corresponde à parte próxima à janela lateral foi considerada como sendo parte da zona 01, por ter mesma ALN.

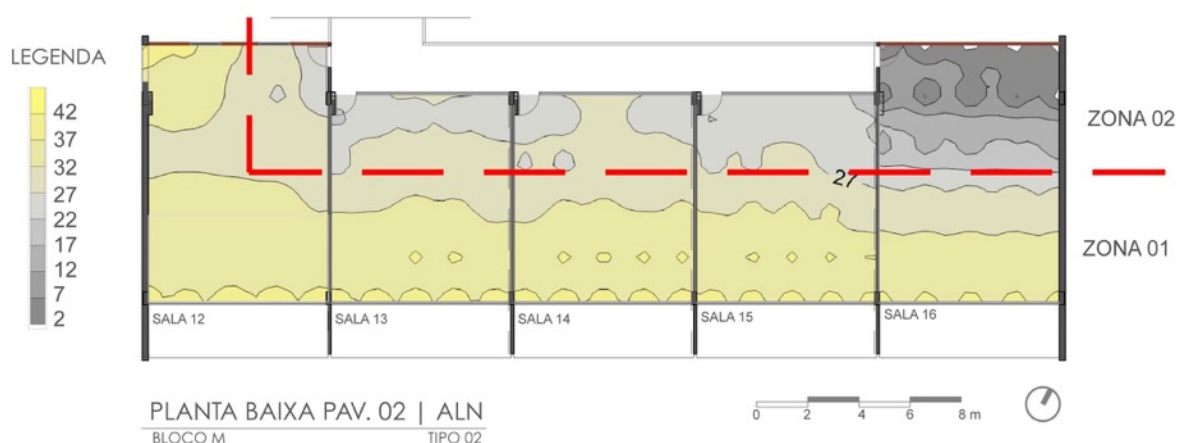
Vale ressaltar que a área da faixa referente à zona 01 corresponde a 23,70m². A qual se dá devido ao entorno ser diferente do bloco J. A edificação vizinha é de tipologia térrea mais um pavimento, diferentemente da do bloco J que é de tipologia térrea mais dois pavimentos.

Figura 56 - FLD. Definição das zonas, bloco M.



Fonte: LUCENA, 2015.

Figura 57 - ALN, bloco M.

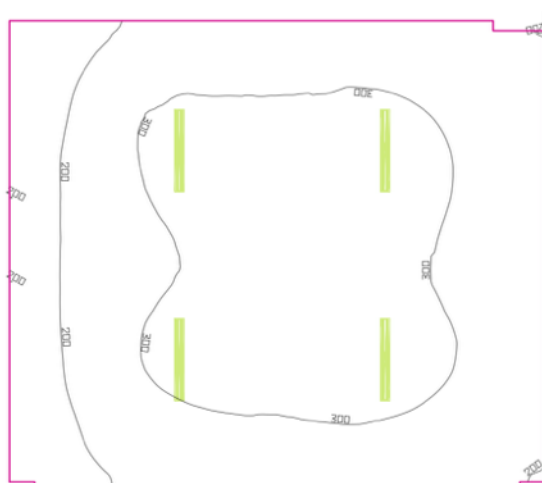


Fonte: LUCENA, 2015.

A partir da análise do bloco M é possível deduzir que permeabilidade não está relacionada a uniformidade. Apesar das salas analisadas possuírem a zona 01 com maior profundidade em comparação as do bloco J, o fator de uniformidade de 0,28, menor índice encontrado nas salas do tipo 02 indica que a zona 01 possui diferenças consideráveis de iluminância em relação as demais zonas, apesar de possuir maior profundidade.

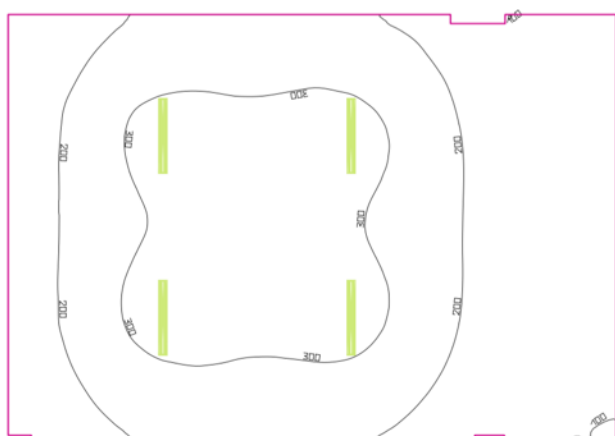
No que diz respeito ao sistema de iluminação artificial instalado os níveis de luminância estão abaixo aos recomendados pela norma. Há na porção central predominância de 300 lux e no entorno de 200 lux nas salas menores (Figura 51). Na sala de maior dimensão localizada nas extremidades do bloco M a porção mais próximas ao quadro possuem valores próximos a 100 lux (Figura 52).

Figura 58 - Isolinhas luminâncias, sala menor, bloco J.



Fonte: LUCENA, 2015.

Figura 59 - Isolinhas luminâncias, sala maior (extremidades), bloco M.



Fonte: LUCENA, 2015.

6.3 Tipo 03

No bloco de tipologia 03 tem-se um total de 04 salas de aula com aberturas voltadas para sul. O layout utilizado encontra-se em concordância com as recomendações técnicas para ambientes de ensino, ou seja, carteiras posicionadas paralelamente e quadros perpendicularmente à abertura, facilitando um melhor aproveitamento da luz natural que penetra lateralmente, evitando que a sombra do próprio usuário interfira, dependendo do lado em que se escreve.

Pode-se observar que as reflectâncias dos materiais utilizados na parede, teto e plano de trabalho encontram-se de acordo com os recomendados para ambientes escolares, apenas o piso e réguas de madeira ipê encontram-se abaixo do recomendado (Tabela 14).

Tabela 14 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 03).

Aplicação	Reflectância simulada (situação atual)	Reflectância recomendada (NBR ISO 8995-1:2013)
Parede	80%	30-80%
Piso	20%	30-50%
Teto	80%	30-50%
Plano de Trabalho	32%	20-60%
Quadro	88%	Mais que 20%

Fonte: Produzido por LUCENA, 2015.

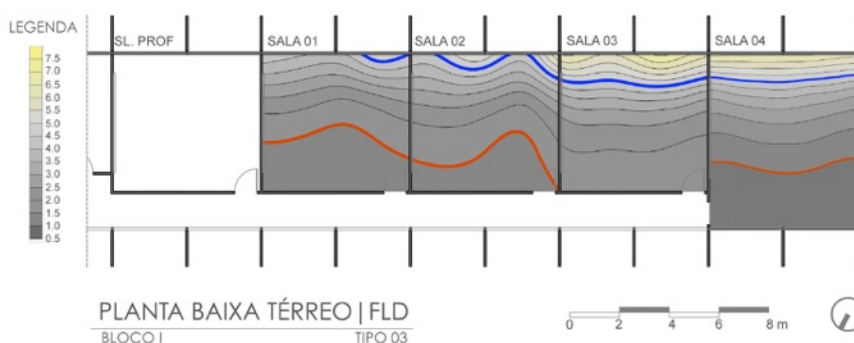
6.3.1 Bloco I

De acordo com os parâmetros adotados ($3 \times FLD_{min}$), as salas de aula apresentam três zonas: a zona 01 distante 0,90m da abertura; a zona 02 está a 3,80m da abertura; por fim a faixa 03, com área de 10,00m² nas salas 01 e 03, e 18,66m² na sala 04 (Figura 55). Com as dimensões das zonas definidas, foi possível interpolar esses dados no gráfico de ALN (Figura 56).

De acordo com as simulações, ALN é de 15% a 40%, sendo na zona 01 a ALN de 35 a 40%, ou seja, apenas em 4% das horas de uso consegue-se atingir os 500lux recomendados pela norma, com isso os outros 60% do tempo de uso será necessária a complementação com luz artificial. A zona 02 há uma variação da ALN entre 35% (nas salas 03 e 04) e 25%, sendo indispensável a complementação com um sistema de luz elétrica durante 75% das horas de uso. A zona 03 equivale aos valores entre 15 e 20% de ALN. A partir disso, para a zona 03 pode-se dizer que é imprescindível para um melhor conforto visual a complementação com luz elétrica em 80% do tempo de uso.

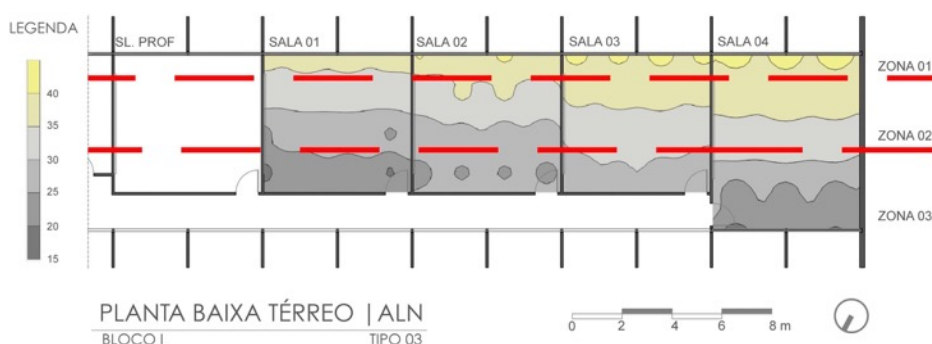
Ao analisar a uniformidade da distribuição da luz nos ambientes pode-se diagnosticar que o fator de uniformidade de 0,43 está abaixo do recomendado pela norma para o plano de trabalho. Perceptível a partir da análise do gráfico de FLD (Figura 55) onde têm-se grandes diferenças de níveis ao longo das salas.

Figura 60 - FLD, tipo 03, bloco I.



Fonte: LUCENA, 2015.

Figura 61 - ALN, tipo 03, bloco I.

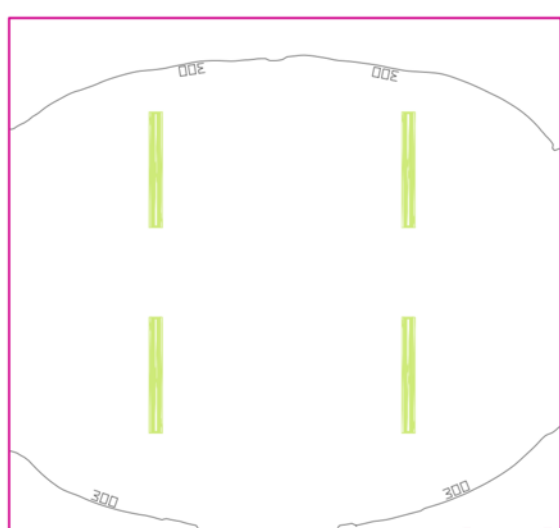


Fonte: LUCENA, 2015.

Há uma repetição do comportamento da luz nas salas 01, 02 e 04, em que na proximidade da janela (zona 01) estão os maiores níveis de aproveitamento da luz natural e à medida que se distancia dela esse percentual diminui.

No que diz respeito ao sistema de iluminação artificial instalado os níveis de luminância estão abaixo aos recomendados pela norma. A partir da análise da Figura 59 é possível observar que há uma predominância de 300 lux ao longo de toda a sala, constatando-se que a distribuição das luminárias está coerente.

Figura 62 - Isolinhas luminâncias, bloco I.



Fonte: LUCENA, 2015.

6.4 Tipo 04

No bloco de tipologia 04 tem-se um total de 04 salas de aula, dentre as quais 02 estão situadas no térreo e 02 no primeiro pavimento.

O layout utilizado encontra-se em concordância com as recomendações técnicas para ambientes de ensino, ou seja, carteiras posicionadas paralelamente e quadros perpendicularmente à abertura proporcionando um melhor aproveitamento da luz natural que penetra lateralmente. Dessa forma, evita-se que a sombra do próprio usuário interfira.

Duas salas do total de quatro que estão sendo estudadas (1º pav.) possuem aberturas de dimensões iguais orientadas para oeste e leste, com isso, a partir da análise dos resultados –observou-se que há uma melhor distribuição da luz natural nessas salas que nas outras.

Pode-se notar que as reflectâncias dos materiais utilizados na parede, piso, teto e plano de trabalho encontram-se de acordo com os recomendados para ambientes escolares (Tabela 15).

Tabela 15 - Comparativo entre reflectância dos materiais na situação atual e os recomendados pela NBR ISO 8995-1:2013 (Tipo 04).

Aplicação	Reflectância simulada (situação atual)	Reflectância recomendada (NBR ISO 8995-1:2013)
Parede	65%	30-80%
Piso	30%	30-50%
Teto	80%	30-50%
Plano de Trabalho	32%	20-60%
Quadro	88%	Mais que 20%

Fonte: Produzido por LUCENA, 2015.

6.4.1 Bloco I (Térreo)

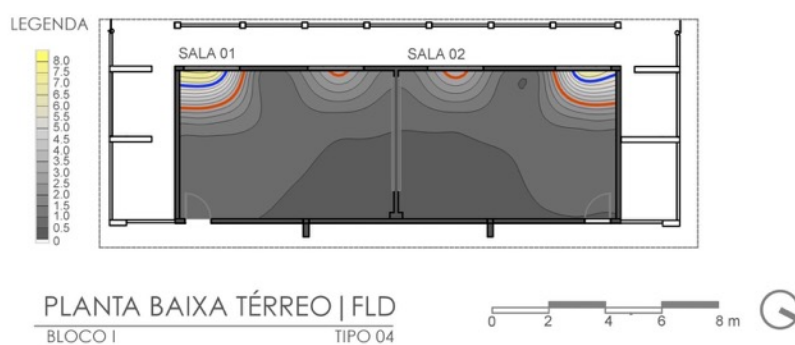
De acordo com os parâmetros adotados ($3 \times \text{FLD}_{\min}$), as salas de aula apresentam três zonas bem específicas, situadas bem próximas às aberturas (Figura 57). O que se pode dizer é que a luz se distribui desuniforme ao longo da sala, os maiores valores restringem-se apenas à faixa de 1,30m de profundidade nas janelas da extremidade e 0,30m nas janelas centrais. Correspondendo assim a zona 01 a uma área de $3,25\text{m}^2/\text{sala}$ que, se comparada à zona 02 que tem área de

36,60m²/sala, percebe-se o desequilíbrio do comportamento da luz.

A ALN nessas salas possui um intervalo de 2% a 42%. Os valores de 42-32% estão na zona 01 e o restante na zona 02. Sendo assim, será necessário um sistema de luz elétrica que complemente de 58-68% do tempo para zona 01 e 78-98% do tempo para a zona 02 (Figura 58). Vale destacar que a maior área da sala precisará quase constantemente do auxílio da luz elétrica para que as tarefas possam ser executadas sem esforço visual.

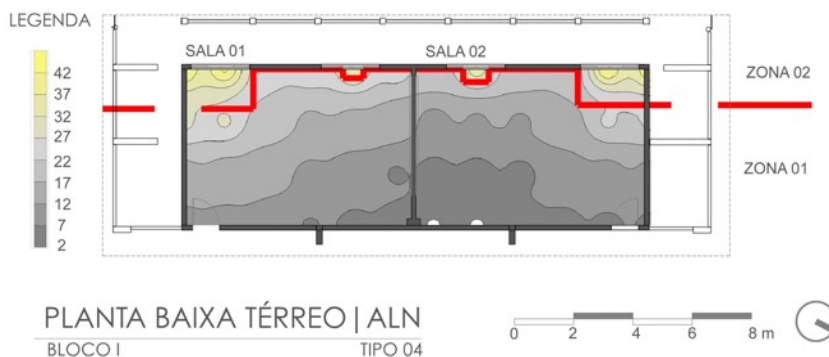
Ao analisar a uniformidade da distribuição da luz nos ambientes pode-se diagnosticar que o fator de uniformidade de 0,10 é crítico não só se comparado aos outros ambientes mas em relato aos valores mínimos estabelecidos como bom para salas de aula. No gráfico de FLD (Figura 57) é possível observar os excessos de luz concentrados apenas nas proximidades das aberturas, enquanto nas outras porções das salas os valores permeiam entre 0,5 e 1,0.

Figura 63 - FLD, tipo 04, bloco I.



Fonte: LUCENA, 2015.

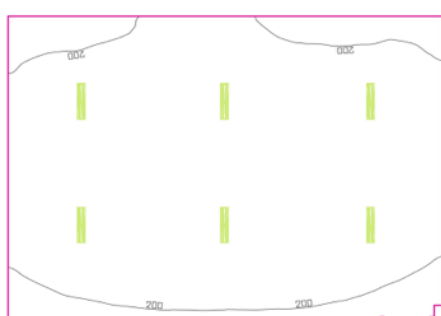
Figura 64 - ALN, tipo 04 bloco I.



Fonte: LUCENA, 2015.

No que diz respeito ao sistema de iluminação artificial instalado os níveis de luminância estão abaixo aos recomendados pela norma. A partir da análise da Figura 62 é possível observar que há uma predominância de 200 lux ao longo de toda a sala, constatando-se que a distribuição das luminárias está coerente. No entanto os níveis de luz não atingiram os valores estabelecidos, ponto este que deve ser observado especialmente nas salas de aula do tipo 04 que possuem baixo fator de uniformidade, FLD e ALN.

Figura 65 - Isolinhas luminâncias, bloco I.



Fonte: LUCENA, 2015.

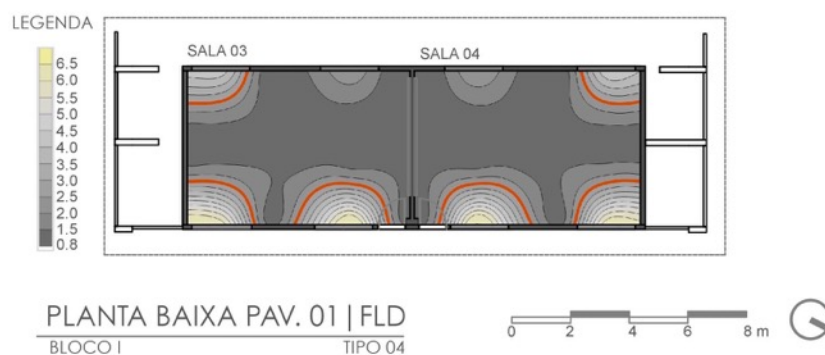
6.4.2 Bloco I (1º pav.)

De acordo com os parâmetros adotados ($3 \times \text{FLD}_{\min}$), as salas de aula apresentam duas zonas não uniformes, ou seja, a zona 01 está distribuída apenas nas proximidades das aberturas, gerando bolsões de claro e escuro (Figura 59).

A partir do arranjo de zonas encontrado e da ALN de 16-41%, pode-se dizer que a luz se distribui de forma mais uniforme nestas salas que nas salas do térreo, apesar das zonas serem não uniformes. Isso se dá devido à presença de aberturas bilaterais, quer dizer, o efeito de uma janela se soma ao da outra, melhorando a uniformidade do sistema.

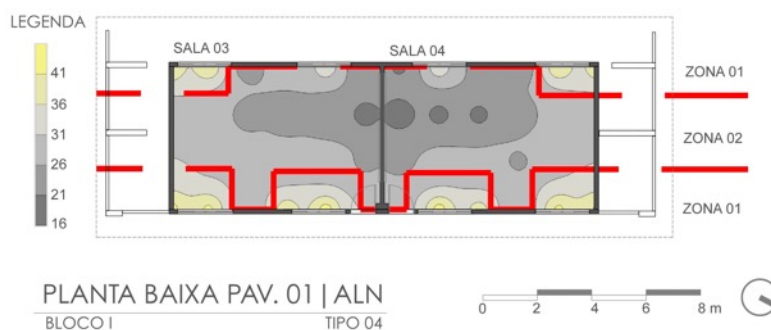
A zona 01 representa a ALN de 31-41% com profundidade de 1,40m na fachada oeste e 1,00m fachada leste, necessitando de complementação com luz elétrica em 59% do tempo de uso (Figura 60). A zona 02 localiza-se na porção central da sala com ALN de 16-26%, o que significa dizer que nos outros 84% do tempo será necessária a complementação com luz artificial (Figura 60).

Figura 66 - FLD, tipo 05, bloco I.



Fonte: LUCENA, 2015.

Figura 67 - ALN, tipo 05, bloco I.



Fonte: LUCENA, 2015.

As salas de aula do 1º pavimento possuem um comportamento diferente em relação as localizadas no térreo. Fator este que se dá devido à orientação das aberturas serem bilaterais, voltadas para leste e oeste, possuindo maior fator de uniformidade de 0,46 e menor intervalo de ALN.

A partir da Tabela 16 é possível perceber que em todos os blocos a porcentagem de horas de utilização é maior com a complementação a partir da luz artificial que com somente a luz natural, diagnosticando, assim, que todas as salas de aula estudadas têm baixa autonomia da luz natural.

Tabela 16 - Tabela síntese dos resultados obtidos através da simulação no Daysim.

Tipo	Bloco	Autonomia da luz natural (%)	Horas de complementação com luz artificial (%)	Fator de uniformidade (E_{min}/E_{med})
1	A	28-46	54-72	0,50
1	B	30-44	56-70	0,47
1	D	32-44	56-68	0,37
2	J01	4-39	61-96	0,53

2	J02	2-42	58-98	0,40
2	M	2-42	58-98	0,28
3	I	25-40	60-75	0,43
4	I	2-42	58-98	0,10
5	I	16-41	59-84	0,46

Fonte: LUCENA, 2015.

A partir do diagnóstico e análise dos resultados apresentaremos uma abordagem comparativa entre os tipos estudados: quais os pontos positivos e negativos diante das recomendações apresentadas para ambientes educacionais citadas item 2.6 e os parâmetros de eficiência apresentados pelo PROCEL.

Quanto aos aspectos quantitativos da luz natural a partir do parâmetro apresentado por Reinhart (2005), onde o limite/profundidade da luz natural corresponde aos pontos em que a ALN cai para a metade do seu valor máximo. Considerando que o valor máximo é de 100% do aproveitamento da luz natural, metade disto corresponde a 50%, como sendo o limite viável pode-se concluir que todas as salas de aula estudadas a luz natural não possui autonomia mínima para atingir os níveis estabelecidos pela NBR ISO 8995-1 (2013). Ou seja, a maior parte do tempo é necessária a complementação com luz artificial para que se atinja os níveis recomendados. Quanto ao fator de luz do dia, tomou-se como parâmetro os valores estabelecidos por Hopkinson (1996) de 2% para as áreas de ensino. Diante disto apenas no bloco D (tipo 01) superou o valor mínimo recomendado de 3%, em todos os outros tipos o FLD está abaixo de 2%, na sua grande maioria é de 0,5% como nos tipos 02 (bloco J02 e M), 03 e 04 (bloco I, térreo) como é possível observar na Tabela 16.

Ao comparar os resultados tipo 01, observou-se a influência do entorno nos níveis de iluminância, devido às salas de aula estarem localizadas no térreo, com aberturas de mesma dimensão e orientação solar, mesmo layout interno e materiais utilizados, a variável entre eles é apenas o entorno, fator este que pode ter influenciado os diferentes comportamentos da luz (FLD). No bloco A os menores percentuais estão próximos às janelas, diferentemente do que acontece no bloco B e D. Entendendo-se assim que a variável tamanho e quantidade de vegetação (a norte no entorno bloco B e D) não exercem tanta influência como a existência de edificações (a norte no entorno bloco A).

A partir da comparação dos resultados tipo 02, também percebe-se a influência do entorno. As salas de aula do bloco M estão localizadas na mesma altura que as do bloco J (segundo pavimento), com aberturas voltadas para mesma orientação solar, mesmo layout interno, mesmos materiais utilizados. A única diferença entre elas é o entorno, o qual influenciou em maior permeabilidade da luz natural nas salas de aula do bloco M com zona 01 mais profundo do que a do bloco. Acredita-se que isso se dê devido à existência de edificação na porção frontal do bloco M ser mais alta que as do entorno do bloco J. Fato este que potencializa a luz a partir da reflexão na edificação vizinha do que em relação ao telhado em concreto sem manutenção ou limpeza da edificação térrea do entorno do bloco J.

Ainda em relação ao estudo comparativo dos blocos do tipo 02, constatou-se que o pavimento em que a sala está localizada interfere ativamente na ALN, ou seja, quanto mais alto for o ambiente mais permeabilidade a luz terá dentro do espaço. Tal conclusão justifica-se pelos resultados obtidos no bloco J. As salas de aula do pavimento 01 e 02 possuem ALN semelhantes como é possível observar na tabela 16, porém as localizadas no segundo pavimento possuem maior permeabilidade da luz natural que as que estão no primeiro, fato este diagnosticado a partir da análise da profundidade da zona 01, que na sala do segundo pavimento tem maior que a profundidade das do primeiro pavimento.

Ao analisar os níveis de luminância (luz artificial), apenas as salas do tipo 01 atenderam aos níveis estabelecido pela norma vigente, estando assim os tipos 02, 03 e 04 abaixo do recomendado conforme apresentado na Tabela 17. Acredita-se seja devido ao fato de que no ano de projeto e execução dos ambientes estudados a norma para iluminação artificial vigente era a NBR 5413 (1992), a qual estabelecia o parâmetro de 300 lux para salas de aula.

Tabela 17 - Tabela iluminância artificial no plano de trabalho.

Tipo	Bloco	Iluminância plano de trabalho (lux)
1	A	500
2	J01	300
2	M	300
3	I	300
4	I	200

Fonte: LUCENA, 2015.

No que diz respeito aos aspectos qualitativos: a uniformidade em todas as salas estudadas estão abaixo de 0,70, valor este recomendando pela NBR 8995-1 (2013) para o plano de trabalho. Diferenças de contrastes podem levar a efeitos negativos no sistema visual, como por exemplo a fadiga visual e grandes contrastes.

Quanto a eficiência luminosa sabe-se que a utilização da luz natural é o ponto de partida. A partir dos principais parâmetros apresentados no referencial teórico como sendo essenciais para um melhor aproveitamento da luz natural de qualidade: as características físicas do projeto - orientação solar e dimensionamento das aberturas - proteção solar adequada, comparados aos resultados obtidos na análise quantitativa foi possível avaliar os ambientes estudados quanto a eficiência. No que diz respeito a orientação solar das aberturas de acordo com as recomendações do FUNDESCOLA (2002), apenas as do tipo 05 estão inadequadas. Por estarem voltadas para leste e oeste recebem a radiação solar direta e há a visão direta do céu, que pode ser excessivamente brilhante e desconfortável, devido a esta radiação direta, foram utilizados cobogós para proteção solar apenas na fachada oeste. Em todos os outros tipos foram utilizados brises verticais e beiral (Tipo 01 e 04) e brises horizontais e beiral (Tipo 03) que impedem a penetração da radiação solar direta ao longo do ano minimizando os efeitos como aumento de calor, ofuscamento e contrastes excessivos.

No que diz respeito relação entre área do piso e tamanho da abertura indicado para ambientes de uso prolongado pelo Código de Obras de João Pessoa (2001), as salas de aula dos blocos A e D (tipo 01) e do térreo, tipo 05 estão com área de abertura menor do que o recomendado (Tabela 18). Quanto aos parâmetros da RTQ-C para nível A de eficiência, apenas as salas de aula do térreo, tipo 05 estão com área da janela menor do que o recomendado (Tabela 18). Quanto as recomendações do FUNDESCOLA (2002) apenas a sala do tipo 03, bloco I (1) estão de acordo, em todos os outros casos têm-se aberturas menores. Vale salientar que para estes cálculos não foram consideradas os protetores solares, que exercem influencia direta na penetração da luz no espaço.

Tabela 18 - Tabela relação entre área do piso e área de abertura.

Tipo	Bloco	Área do piso (m ²)	Área da abertura (m ²)	PMJP ¹	RTQ-C ²	FUNDESCOLA
1	A e D	69,42	10,92	11,57	8,67	17,35
1	B	46,02	10,92	7,68	5,75	11,50
2	J01	56,00	11,20	9,33	7,00	14,00
2	M	70,00	11,20	11,66	8,67	17,50
3	I1	33,00	8,80	5,50	4,13	8,25
3	I2	40,70	8,80	6,78	5,08	10,18
4	I (térreo)	45,24	4,80	7,54	5,65	11,31
4	I (1º pav.)	45,24	9,60	7,54	5,65	11,31

¹ Código de Obras PMJP (2011), determina que a área da abertura deve ser 1/6 da área do piso;

² ELETROBRÁS/PROCEL (2013), determina que a área da abertura deve ser 1/8 da área do piso;

³ FUNDESCOLA (2002), determina que a área da abertura deve ser 1/4 da área do piso;

Fonte: LUCENA, 2015.

Ao comparar os parâmetros arquitetônicos de eficiência luminosa da luz natural a ALN entende-se que a relação entre o tamanho da abertura e a autonomia da luz natural dentro das salas não se mostra equivalente. A partir do parâmetro apresentado por Reinhart (2005), percebe-se que apesar da grande maioria dos ambientes corresponder a relação entre área da abertura e área de piso, nenhuma das salas de aula atendem ao valor limite mínimo de 50%.

A partir da análise dos resultados pode-se concluir que em todas as salas de aula a luz natural não possui autonomia suficiente para alcançar os níveis de iluminância recomendados pela norma para ambientes de ensino, necessitando assim de um sistema de iluminação elétrica que complemente o déficit de luz, ou seja, um sistema integrado de luz natural e artificial complementar.

Entretanto, entende-se que a utilização de um sistema de iluminação elétrica está atrelado a consumo de energia. À vista disso, é muito importante o uso de uma iluminação eficiente, por meio de luminárias eficientes que incorporem equipamentos de baixa energia e alto fluxo luminoso, combinados com o uso de um sistema de controle inteligente da luz, permitindo ter bons níveis de conforto visual sem sacrificar a eficiência energética.

Em todas as salas de aula no CT na UFPB é utilizado o mesmo sistema de iluminação artificial: luminárias de baixa eficiência, sem refletores (Figura 61), lâmpadas fluorescentes tubulares, T10, 40W (Tipo 01, 02 e 03) e T10, 20W (Tipo 04), as quais não são mais fabricadas pelo fato de possuírem baixo rendimento

luminoso (2.700lm (40W) e 1060m (20W)) e baixa eficiência, pela alta potência, resultando em maior consumo.

Figura 68 - Luminárias utilizadas nas salas de aula tipo 01 e 04, tipo 02 e tipo 03, respectivamente.



Fonte: Catálogo Lumicenter, 2015; Catálogo Tachibra, 2014.

Tabela 19 - Sistema de iluminação existente e o consumo.

Tipo	Lâmpadas Existentes	Iluminância média alcançada (lux)	Consumo (kwh)
1 (A)	18	417	3.338,9
1 (B e D)	18	406	1.931,4
2	8	271	993,0
3	8	368	1.137,6
4	12	237	698,5

Fonte: LUCENA, 2015.

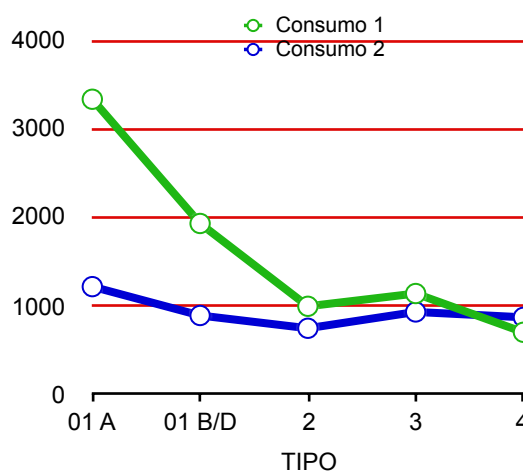
Nos dias atuais é possível encontrar no mercado, lâmpadas com maior vida útil, menor potência e maior fluxo luminoso. Características estas que acarretam em menos manutenção, menor consumo de energia, menos quantidade de lâmpadas, consequentemente de luminárias e maior eficiência luminosa. A partir de simulações feitas nos softwares Dialux e Daysim foi possível identificar que a partir da substituição das lâmpadas existentes por um sistema mais eficiente, com a utilização de lâmpadas com menor potência e maior fluxo luminoso foi possível alcançar os níveis recomendados com uma menor quantidade de lâmpada e uma redução significativa no consumo (ver tabela 20).

Tabela 20 - Redução de equipamentos e consumo em relação ao sistema de iluminação artificial proposto.

Tipo	Lâmpadas Propostas	Quantidade de lâmpadas	Iluminância alcançada (lux)	Consumo (kwh) on/off	Consumo (kwh) Fotosensor +dimmer
1 (A)	T8 25W/ 3.650lm	12	477	1.215,6	809,8
1 (B e D)	T8 25W/ 3.650lm	12	496	888,7	585,5
2	T8 25W/ 3.650lm	8	458	744,0	562,4
3	T8 25W/ 3.650lm	8	561	928,9	670,5
4	T8 25W/ 3.650lm	8	568	868,1	781,6

Fonte: LUCENA, 2015.

Gráfico 01 - Comparativo entre consumo atual (Consumo 1) e consumo proposta (Consumo 02).



Fonte: LUCENA, 2015.

Tabela 21 - Comparativo entre consumo atual x consumo proposto (on/off)

Tipo	Consumo atual (kwh) on/off	Consumo (kwh) on/off	Redução (%)
1 (A)	3.338,9	1.215,6	-63,59
1 (B e D)	1.931,4	888,7	-53,98
2	993,0	744,0	-25,07
3	1.137,6	928,9	-18,34
4	698,5	868,1	+24,28

Fonte: LUCENA, 2015.

Fundamentado nos métodos de controle da luz artificial apresentados no aporte teórico foi feito um diagnostico do potencial de cada tipo de controle, a partir da utilização do sistema de iluminação artificial proposto anteriormente, primeiramente foram simulados uma situação com a utilização de interruptores, posteriormente com um sistema de controle automático dimerizável com a utilização de fotocélulas que foram locadas a partir das zonas de iluminação de cada bloco.

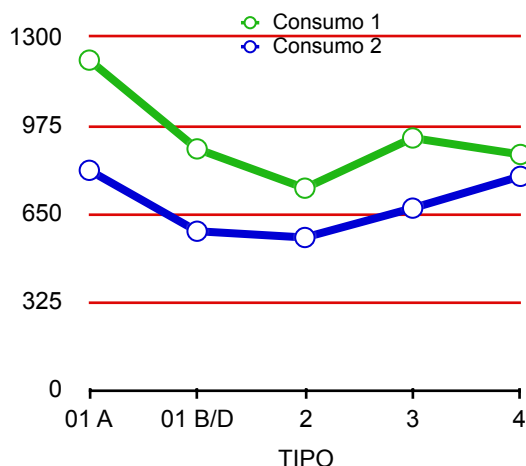
Na tabela 22, nota-se que em todas as situações em que foi substituído o sistema de controle atrelado à utilização de fotocélulas que regulam a luz artificial a partir da quantidade de luz natural houve redução no consumo de iluminação nas salas de aula. A maior redução diagnosticada podem ser observadas nos blocos do tipo 01. Já nas salas de aula tipo 04, bloco I, essa redução foi menor pois a situação atual encontrava-se com valores abaixo do indicado pela norma, diante disto foi necessário a proposição da substituição de lâmpadas com maior potência (25w), se comparadas com as que são utilizadas atualmente (20w) de forma que atingisse qualidade e quantidade de luz.

Tabela 22 - Comparativo entre consumo proposto (on/off) e consumo proposto

Tipo	Consumo (kwh) on/off	Consumo (kwh) Fotosensor+dimmer	Redução (%)
1 (A)	1.215,6	809,8	-33,38
1 (B e D)	888,7	585,5	-34,11
2	744,0	562,4	-24,4
3	928,9	670,5	-27,8
4	868,1	781,6	-9,27

Fonte: LUCENA, 2015.

Gráfico 02 - Comparativo entre consumo 01 proposto (on/off) e consumo 02 proposto (fotosensor +dimmer)



Fonte: LUCENA, 2015.

Com isso, atende-se aos requisitos de conforto visual e os estabelecidos pela RTQ-C para um nível excelente de eficiência no que diz respeito à iluminação: divisão dos circuitos, contribuição da luz natural, desligamento automático do sistema de iluminação e densidade de potência de iluminação limite de $10,7 \text{ W/m}^2$. A partir da substituição das lâmpadas T10 de 40w, por uma T5 de 25w, obtendo, assim, a partir de simulações feitas no Daysim, uma redução do consumo em iluminação significativa nas salas de aula do tipo 01, 02 e 03 (Tabela 22). Com a divisão das zonas de iluminação propõe-se que para cada faixa se tenha um circuito de acendimento de forma a atender à demanda específica da quantidade de luz artificial complementar em cada uma delas, obtendo-se assim um melhor aproveitamento da luz natural. Concomitantemente, ao utilizar sistemas de controle inteligentes que ajustam a intensidade da luz artificial a partir da quantidade de luz natural no ambiente, luzes serão apagadas quando a luz natural for suficiente e serão ligadas quando estiver deficiente. Com isso, obtém-se o nível de classificação A de acordo com a RTQ-C, além dos benefícios de menor custo e melhor qualidade visual nas salas de aula do Centro de Tecnologia na Universidade Federal da Paraíba

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação apresentou uma caracterização do desempenho da iluminação natural e artificial complementar em 36 salas de aula de diferentes orientações solares, entornos, tipologias, acabamentos internos, tipos de abertura e sistemas de iluminação artificial, no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. A partir da caracterização da iluminação quantos aos aspectos quantitativos e qualitativos foi possível identificar fatores que possam contribuir ou interferir no desempenho da iluminação e avaliar o potencial da redução do consumo de energia com iluminação nas salas de aula do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

Todo esse processo foi embasado a partir da elaboração de um referencial teórico que permitiu a definição das variáveis de análise, bem como a metodologia a ser utilizada. Foram discutidas questões relacionadas à iluminação e aos fatores humanos, em como a luz afeta fisiologicamente os seres humanos, bem como a classificação dos tipos de sistema de iluminação natural e artificial e a integração deles. Após o panorama sobre a iluminação, focou-se no ambiente escolar da sala de aula em como deve ser o comportamento ideal da luz nesses espaços a partir da análise das normas e manuais. Posteriormente, foi feita uma descrição dos softwares que se adequam para os objetivos desta pesquisa e, por fim, a execução de um mapeamento do que vem sendo pesquisado nos últimos anos sobre iluminação natural e artificial complementar.

Tal aporte resultou nas variáveis de análise da luz natural e artificial complementar – quantitativa (FLD, ALD (natural) e luminância estática (artificial)) e qualitativa (uniformidade e eficiência luminosa) – e na definição das etapas metodológicas que foram a base da coleta de dados, análise e resultados.

A partir da análise dos resultados e das diferentes situações encontradas, pôde-se concluir que nenhuma das salas de aula analisadas possuem ALN mínima para atingir os níveis de iluminação estabelecidos pela NBR ISO 8995-1 (2013). Assim como, não adequam-se aos parâmetros de FLD mínimo para áreas de ensino. Destaca-se apenas as salas de aula do bloco D que superaram os valores mínimos recomendados.

Por meio do estudo comparativo entre os resultados obtidos e a relação entre a área do piso e área da abertura indicado pelo Código de Obras da Prefeitura

Municipal de João Pessoa e pela RTQ-C para nível A de eficiência pode-se perceber que apesar da grande maioria dos ambientes corresponder a relação entre área da abertura e área do piso este não é um fator determinante para quantidade de luz dentro do espaço, pois nenhuma das salas de aula atendem ao valor limite mínimo de ALN e FLD.

Foram identificados a partir da comparação entre diferentes FLD do tipo 01 e tamanho da profundidade das zonas do tipo 02 que o entorno e o pavimento em que a sala está localizada são fatores que contribuem ou interferem no desempenho da iluminação natural.

A partir da caracterização do desempenho da luz natural nas salas de aula do CT da UFPB levantamos a hipótese: É possível alcançar os valores estabelecidos pela norma vigente apenas com a luz natural? Para que isto fosse possível necessitaríamos de aberturas maiores? Como seria possível aumentar o tamanho dessas aberturas no caso das salas tipo 01, 02 e 03, que possuem janelas da largura do ambiente? Quem sabe seriam necessárias a retirada dos brises de proteção? O que poderá acarretar, em se tratando da iluminação natural nos trópicos e suas diversas formas de se proteger da radiação solar direta no aumento do consumo de energia com refrigeração, probabilidade do aumento de ofuscamento e contrastes excessivos, resultando em aumento da falta de uniformidade nas salas de aula, as quais na situação atual a partir do cálculo do fator de uniformidade pode-se concluir que todas estão abaixo dos valores recomendados. Será que os valores estabelecidos pela norma anterior, a NBR 5413 (1992) já não seriam suficientes para realização da tarefa em salas de aula? Considerando que a norma atual é uma adoção idêntica da ISO/CIE 8995-1 (2002), produzida para os padrões de luz natural, tipos de céu e clima franceses, podemos questionar se os valores estabelecidos não estão altos para os parâmetros brasileiros de disponibilidade da luz natural e clima variados, já que estamos falando de uma país de grande extensão como o Brasil.

Mediante atual situação dos ambientes estudados, os déficits luminotécnicos diagnosticados, a impossibilidade de aumento da dimensão das aberturas e a possibilidade de retirada dos protetores solares existentes devido as consequências que isto acarretaria, conclui-se que nas salas de aula do CT na UFPB há a necessidade de complementação da luz natural com um sistema de iluminação artificial para que sejam alcançados o níveis de iluminância estabelecidos pela

norma vigente. Diante da situação estudada temos o necessário para que sejam atingidos os níveis recomendados pela norma: A partir das zonas de iluminação e o percentual de horas que a luz natural atende os níveis estabelecidos, temos critérios para locar um sistema de iluminação artificial complementar eficiente que resulte em melhor aproveitamento da luz natural, níveis adequados de iluminância, uniformidade do sistema e eficiência luminosa. Com base nesses parâmetros podemos concluir que o sistema de iluminação elétrica utilizado é ineficiente tanto em relação a quantidade de luz, quanto a eficiência luminosa, sendo indicada a substituição por um sistema mais eficiente, de menor consumo energético e maior potencial luminoso. Demonstrado a partir das simulações feitas no software Daysim e Dialux, uma redução significativa no consumo em iluminação para todas as salas de aula. Redução esta que pode ser potencializada através da utilização de métodos inteligentes de controle da luz. Afirmação esta fundamentada no estudo comparativo do consumo energético quando utilizado interruptores on/off ou controle automático dimerizável por meio de fotocélulas locadas de acordo com as zonas de iluminação que ajustam a intensidade da luz artificial a partir da quantidade de luz natural no ambiente, potencializando em 30% a redução do consumo energético com iluminação dentro das salas de aula.

Sendo assim esta pesquisa relevante devido à contribuição significativa no âmbito da qualidade do conforto visual em salas de aula. Além de trazer a atenção ao tema da economia da energia para dentro das instituições geradoras do conhecimento, as universidades federais, possibilitando a aplicação de sistemas atuais de iluminação e controle da luz que reduzirão significativamente o consumo energético com iluminação nas salas de sala destas instituições.

Recomenda-se para pesquisas futuras um estudo das implicações do comportamento da luz dentro dos ambientes na aplicação das recomendações da NBR ISO 8995-1 (2013) em comparação a NBR 5413 (1992) e quais as implicações luminotécnicas nas salas de aula estudadas mediante a retiradas ou modificação dos elementos de proteção solar. Sugere-se a aplicação da metodologia utilizada em outros centros no campus I da Universidade Federal da Paraíba.

Como produto final, indicamos a utilização do Apêndice A como ferramenta acadêmica de análise da iluminação natural para alunos de graduação de arquitetura e urbanismo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M. S. C.; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade limite em ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R.

Ambiente Construído, v. 12, n.02, jun.2012.

ALVES, M. R. **Manual de ambientes didáticos para graduação**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2011.

AOKI, H. *et al.* Minimum light intensity required to suppress nocturnal melatonin concentration in human saliva. **Neuroscience Letters**, v. 252, p. 91 - 94, Shiga, 1998.

ARENDT, Josephine. Melatonin: Characteristics, concerns and prospects. **Journal of Biological Rythims**, v. 20, n. 4, ago.2005.

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

_____. **NBR 15.215-2**: Iluminação Natural - Parte 2: Procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.215-3**: Iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR ISO 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

BERTOLOTI, D. **Iluminação Natural em Projetos de Escola: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia** . São Paulo: USP, 2007.

BIAVA, M. B. **Espaço escolar como ambiente de saúde e ensino no discurso de alunos**. Maringá: UEM, 2008.

BOIVIN, D.B. et al. Dose-response relationships for resetting of human circadian clock by light. **Nature**, v. 379, p. 540- 542, 1996.

BOJKOWSKI, *et al.* Suppression of nocturnal plasma melatonin and 6-sulphatoxymelatonin by bright and dim light in man. **Hormone and Metabolism Research**, v. 19, p. 437 - 440. Guildford, England, 1987.

BOMMEL, W. J. M. Non - visual biological effect of lighting and the practical meaning of lighting for work. **Applied Ergonomics**, v. 37, p. 461- 466, 2006.

BOYCE, P. R. Observations of the manual switching of lighting. **Lighting Research & Technology**, v. 12, n. 4. p. 195-205, 1980.

BRAINARD G.C, et al. Photic regulation of melatonin in humans: ocular and neural signal transduction. **Biol Rhythms**, v.12, p. 537–546, 1997.

BRASIL. Decreto Presidencial 4.131 de 14 de fevereiro de 2002, Brasília, DF. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4131.htm>. Acesso em: 05 ago. 2013.

BRASIL. Lei Nº 9.394, 20 de dezembro de 1996, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>. Acesso em: 10 maio. 2013.

CABÚS, Ricardo. Troplux: Um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: ENCAC - ENLACAC, 2005, Maceió. **Anais do ENCAC - ENLACAC, 2005**: Maceió: antac, 2005, v.1, p. 240-249.

CAPELUTO, I. G. The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. **Building and Environment**, vol. 38, no 5, 2002.

CASAS, L. **Contribuição para a modelagem de um ambiente inteligente de educação baseado na realidade virtual**. Florianópolis: UFSC, 1999.

CASTRO, G. N. de. **Componente de condução da luz natural em edifícios multifamiliares**. João Pessoa, PB: UFPB, 2013.

CHING, F. D. K. **Arquitetura de interiores ilustrada**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2006.

CHANG. *et al.* Human responses to bright light of different durations. **Journal of physiology**. v. 590, p. 3103 - 3112, United States, 2012.s

CINTRA, M. S. **Arquitetura e Luz Natural**: A influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais. Brasília: UNB, 2011.

CIBSE, **Daylight and window design**. 2ª edição, Londres, 1999.

CRESTON. **Crestron Lighting Control and Energy Management Solutions**. Nova Iorque, 2013.

DORNELLES, K. A., RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absorvância solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 3, 2007.

EDWARDS, L. T., TORCELLINI, P. **A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants**. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2002.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Manual para aplicação do RTQ-C**. v.02, 2013

FALZON, P. **Natureza, objetivos e conhecimentos da ergonomia: elementos de uma análise cognitiva da prática**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

FERNANDES, Regina Maria F. O sono normal. **Revista Medicina**, v. 39, n. 2, p. 157-168, 2006.

FUDESCOLA. **Espaços educativos ensino fundamental: subsídios para colaboração de projetos e adequação de edificações escolares** - cadernos técnicos 4, v. 2. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação**: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1997

GHISI, E.; RAMOS, G. **Comparação de iluminâncias internas e externas obtidas por meio de simulação computacional**. In: ENTAC 2008 - XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construtivo, 2008, **Anais...** Fortaleza. ENTAC, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GROSS, R.; MURPHY, J. **Educational change and architectural consequences: A report on facilities for individualized instruction**. Nova Iorque: Educational Facilities Laboratories, 1968.

HOPKISON, R. *et al.* **Ilumina**, R. **Educational Facilities**. William Heinemann Ltda. Londres, 1966.

IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. **Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Centros docentes**. Madrid, 2001.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento TRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Rio de Janeiro, 2010.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Base de dados estações automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 30 out. 2014.

INTERNATIONAL LIGHTING HANDBOOK. **The IESNA lighting handbook**. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.

JOÃO PESSOA. Lei no 1.347, de 27 de abril de 1971. Institui o código de obras do município de João Pessoa. João Pessoa, 2001.

KOWALTOWSKI, D. C. **Arquitetura Escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

KROMER, K.H.E., GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o trabalho ao homem**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LABAKI, L. C.; BARTHOLOMEI, C. L. BM. **Avaliação do Conforto Térmico e Luminoso de Prédios Escolares da Rede Pública, Campinas-SP**. In: ENCAC 2001 - VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro, SP. **Anais do ENCAC 2001**. São Carlos.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética na arquitetura**. São Paulo: Procel, 3 edição, 2012.

LEPROULT, R. *et al.* Transition from dim to bright light in the morning induces an immediate elevation of cortisol levels. **Journal of Clinical Endocrinology Metabolism**, n. 86, p.151-157, 2001.

LUMICENTER. **Informações Técnicas**. São João dos Pinhais, PR. Disponível em: <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/arquivos/info_tecnicas_lumicenter.pdf> Acesso em: 19 de nov. 2014.

LUTRON. **Quantum Total Light Management™**: Architectural Lighting Control, Shading, and Energy-Saving Solutions. Nova Iorque, 2013.

MARKUS, R.P. *et al.* **Glândula Pineal e Melatonina**. Disponível em: <<http://www.crono.icb.usp.br/cap8.htm>> Acesso em: 22 maio 2014.

MARTAU, B. T. **A luz além da visão: Iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping center em Porto Alegre**. Campinas: UNICAMP, 2009.

MARDALJEVIC, J. & NABIL, A. Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, vol. 37, no 1, 2005.

MORAIS, L. N. **Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial com diferentes luminárias considerando a disponibilidade de luz natural**. Florianópolis: UFSC, 2012.

MOREIRA, V. de A. **Iluminação Elétrica**. São Paulo: Edgard Bluche, 3ª ed., 2008.

MOORE, F. **Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting**. New York: Mc Graw Hill, 1993.

MURATORI, J. R.; BÓ, D. P. H. **Automação residencial: Conceitos e aplicações**. Belo Horizonte: Educere, 2013.

NASSER, A. *et al.* Cylindrical illuminance and its importance in integrating daylight with artificial light. **Lighting Research Technologies**, 35, 3, p.217-223, 2003.

NE'EMAN, E. A. Comprehensive Approach to the Integration of Daylight and Electric Light in Buildings. **Energy and Buildings**, vol. 6, p. 97-108, 1984.

NETO, E. P. **Cor e Iluminação nos Ambientes de Trabalho**. São Paulo: Livraria Ciência e Tecnologia Editora Ltda, 1980.

OLIVEIRA, G. C. de. **Estudo do potencial de aproveitamento da iluminação natural em escolas municipais de João Pessoa**. João Pessoa: UFPB, 2012.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Osasco, SP, 2000.

PHILIPS. **Lighting**. Surrey: Philips Center, 2006

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window - head - height to daylit zone depth rule - of - thumb. Building Simulation, 2005. **Ninth International IBPSA Conference**. Montreal, Canada, 2005.

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

REINHART, C. F.; FITZ, A. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 824-835, 2006.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The Daylighting Dashboard - A Simulation-Based Design Analysis for Daylit Spaces. **Building and Environmental**, v. 46, n. 2, p. 386-396, 2010.

REINHART, C. F., WEISSMAN, D. A. The daylit area e Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. **Building and Environmental**, v. 50, p. 155-164, 2012.

RENNHACKKAM, W. M. H. **School Light**. Pretoria, 1964.

RIBEIRO, S. L. Espaço escolar: um elemento (in)visível no currículo. **Sitientibus**, n. 31, p. 103-118, 2004.

ROBBINS, C. L. **Daylighting, Design and Analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1986.

RODRIGUES, P. **Manual de iluminação eficiente**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2002.

RUTTEN, A. J. F. Sky Luminance Research Imperative for Adequate Control of Temporary Supplementary Artificial Lighting Installations. **Building and Environmental**, v. 29, n. 01, p. 105-111, 1994.

SERRA, R. Daylighting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 2, no 1 e 2, 1998.

SILVA, E. L., & MENEZES, E. M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação. UFSC, Florianópolis, 2005.

SILVA, F. da. **Conforto Ambiental**: iluminação de interiores. João Pessoa: A união, 1992.

SILVA, M. L da. **Luz, Lâmpada e Iluminação**. Porto Alegre: M. L. da Silva, 2002.

SOUZA, M. B. de. **Potencialidade do aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Florianópolis: UFSC, 2003.

TENNER, A. D. A healthy future for office lighting? **Journal of Lighting & Visual Environment**, v. 27, n. 3, p. 42-46, 2003.

THORN, L. *et al.* The effect of dawn simulation on the cortisol response to awakening in healthy participants. **Elsevier, Ltd, Psychoneuroendocrinology**, v. 29, p. 925-930, agosto/2003.

VERDUSSEN, Roberto. **Ergonomia**: A racionalização humana do trabalho. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos, 1978.

VIANNA, N. S., GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001.

WESSOLWSKI, N. *et al.* **Wirksamkeit von dynamischen licht im Schulunterricht**. Hamburgo, 2008.

GLOSSÁRIO

Nesta seção será apresentada uma lista de conceitos básicos que foram necessários para o melhor entendimento das variáveis utilizadas ao longo da pesquisa. No entanto, não se trata apenas de um conceito físico, que pode ser avaliado por equipamentos específicos, mas agrega-se o elemento fisiológico da percepção visual. De acordo com Procel (2011), são os aspectos físicos e subjetivos da luz.

São nove as principais grandezas fotométricas relativas à iluminação natural e artificial. Dentre elas: Fluxo Luminoso; Intensidade Luminosa; Iluminância; Eficiência Luminosa; Luminância; Contraste; Índice de Reprodução de Cor; Temperatura de Cor; Vida Média ou Mediana, para a iluminação artificial. E para a iluminação natural: Iluminância, Luminância, Contrastes e Temperatura de Cor.

Contraste: É a diferença relativa de luminâncias entre um determinado objeto e seu entorno. Unidade: sem unidade de medida (PROCEL, 2011).

Eficiência Luminosa: É a relação entre o fluxo luminoso (lm) e seu fluxo energético (potência) consumido para produzi-lo. É conhecido também como eficácia ou rendimento. Unidade: lúmen/watt (PROCEL, 2011).

Fluxo Luminoso: Luz emitida a partir de uma fonte luminosa. Unidade: lúmens (lm) (SILVA, 2002).

Iluminância: Luz que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância da fonte. Unidade: lux (lx).

Índice de Reprodução de Cor: Relação entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma fonte de luz (MOREIRA, 2008).

Intensidade Luminosa: É o fluxo luminoso (lúmen) irradiado na direção de um determinado ponto. Unidade: candela (cd) (PROCEL, 2011).

Luminância: Os raios luminosos não são visíveis, a sensação de luminosidade é decorrente da reflexão desses raios por uma superfície. Essa luminosidade, então vista, é chamada de luminância. Unidade: cd/m^2 (PROCEL, 2011).

Temperatura de Cor: Cor aparente da luz que é emitida pela fonte (NBR 8995-1:2013). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz e o inverso também ocorre, tornando a cor mais amarelada (MOREIRA, 2008).

Vida Média: É a durabilidade, em horas, das lâmpadas e reatores, isto é, quanto tempo duram acesos (PROCEL, 2011).

APÊNDICE I