

1 INTRODUÇÃO

A iluminação é um dos parâmetros essenciais para a concepção de qualquer projeto. O tipo de iluminação empregado irá caracterizar a edificação, adequando-se a sua função e possibilitando o exercício das atividades visuais. Em edificações escolares, é o projeto de iluminação que possibilitará o desenvolvimento das tarefas visuais que auxiliarão no aprendizado.

A utilização da iluminação natural em edifícios escolares é relevante tanto para atender questões econômicas (economia de energia), quanto pelo fator estético e psicológico, visto que a luz natural é preferida pelo ser humano. Apesar disto, deve-se lembrar que a luz natural é variável e não está disponível em todas as 24 horas do dia, tornando necessário o emprego de uma fonte de iluminação artificial que substitua a iluminação natural durante a noite e suplemente à iluminação natural durante os períodos em que os níveis de iluminação fornecidos estejam menores que os recomendados.

A integração do sistema de iluminação natural e artificial se faz necessária para o melhor aproveitamento da luz natural e economia de energia, além de possibilitar a geração de ambientes mais agradáveis aos seus usuários.

O sistema de iluminação artificial apresentado atualmente em salas de aulas, principalmente na rede pública de ensino, não leva em conta a diversidade das atividades executadas nestes ambientes e, muitas vezes, desconsidera parâmetros importantes como: a orientação, as dimensões e as atividades visuais desenvolvidas. Aparentemente, o objetivo geral dos projetos de iluminação artificial é atingir os níveis de iluminação mínimos recomendados, com baixo custo de implementação. Apesar da busca pela economia e praticidade, os projetos de iluminação artificial implantados são indiferentes à incidência de luz natural no edifício, o que conseqüentemente gera desperdício.

O presente trabalho busca a avaliar a adequação do sistema de iluminação complementar ao sistema de iluminação natural existente em sala de aula padrão através da integração dos dois sistemas de iluminação. Objetiva-se o aproveitamento da iluminação natural, a obtenção de propostas de um sistema de iluminação artificial diferenciado que permita o desenvolvimento das atividades

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

executadas em sala de aula, além de oferecer uma melhor qualidade de iluminação aos seus usuários.

1.1 Justificativa

A arquitetura é multifuncional: compõe o cenário das cidades, delimita espaços, hierarquias, expõe desigualdades sociais, interage com o meio, com seu usuário, fornece-lhe escala orientação, abrigando funções, indicando percursos, estimulando sensações e oferecendo privacidade ou exposição.

Por trás dela estão envolvidas muitas disciplinas, sejam técnicas, estéticas ou humanas. Pode se expressar em diversas escalas, da macro a micro, atendendo diversos públicos e proporcionando diferentes vivências.

A cada instante, há mais do que o olho pode ver, mais do que o ouvido pode perceber, um cenário ou uma paisagem esperando para serem explorados. Nada é vivenciado em si mesmo, mas sempre em relação aos seus arredores, às seqüências de elementos que a ele conduzem à lembrança de experiências passadas. (LYNCH 1997)

Para podermos vivenciar, utilizar e apreciar os ambientes edificados de forma mais completa, utilizamos todos os nossos sentidos. Àquele que nos possibilita ter a primeira percepção espacial da arquitetura é nossa visão. Esta se dá através da luz, permitindo-nos visualizar o espaço construído, sua forma, volumes, cores, etc. “*A arquitetura é o jogo sábio, correto e magnífico dos volumes sob a luz. Nossos olhos são feitos para ver formas sob luz; as sombras e os claros relevam as formas [...]*” (LE CORBUSIER, 1977).

É através do jogo de luz e sombra que estabelecemos diferentes sensações em espaços edificados e não edificados. A intensidade de luz no ambiente traça hierarquias para a orientação dos observadores, para a percepção dos planos e objetos, além de tornar possível a realização de atividades de nosso cotidiano. [...] “*uma boa iluminação resulta do acertado gerenciamento da luz, feito de maneira a proporcionar uma aparência correta do meio, permitindo assim identificá-lo.*” (PEREIRA, 2001).

De maneira geral, quando se realiza um estudo de iluminação para determinado ambiente busca-se cumprir dois objetivos: fornecer uma iluminação

suficiente para a realização das atividades específicas de forma segura e econômica e garantir um ambiente visual agradável, facilitando a compreensão do espaço pelo observador.

Uma vez atendidos os objetos funcionais da iluminação, parte-se para a adequação das necessidades visuais do observador em um ambiente, elementos ou características estéticas que podem ser simultaneamente adicionados, em intenção projetual que incorporada à proposta arquitetônica mais ampla proporciona a imagem e o significado espacial. (CORREA, 1998)

O aspecto funcional da edificação é determinante para o emprego do projeto arquitetônico e das estratégias de captação e controle da luz no edifício. O conhecimento das atividades visuais a serem desenvolvidas é de grande relevância neste processo. No caso desta pesquisa, foi escolhido o ambiente de sala de aula para o desenvolvimento do estudo na área de iluminação.

O ambiente escolar já havia sido estudado durante as pesquisas realizadas para o trabalho de conclusão de curso de graduação no ano de 2002; quando foram realizados estudos e levantamentos¹ das principais deficiências na rede escolar catarinense; principalmente no que se referia à organização espacial. Observou-se que a grande demanda de salas de aulas levou a necessidade de construir ou alojar novas escolas, o que acarretou numa maior preocupação com a racionalização e otimização dos novos edifícios escolares.

Fato que acabou contribuindo para a o declínio da qualidade dos novos projetos, havendo um descaso visível, principalmente nas escolas da rede pública, em relação a parâmetros importantes como: a relação com o entorno imediato, a adequada orientação, o emprego de materiais, a expressividade arquitetônica, além do conforto (térmico, acústico e visual) e da qualidade dos ambientes internos.

De forma geral em todo país, observa-se na rede pública de ensino a utilização de projetos padrões em diferentes regiões, sem alterações necessárias para cada uma delas, justificados na premência de tempo e de verbas para elaboração de estudos diferenciados. Estes chamados de “projetos carimbo” por muitos profissionais da área, aliados a ampliações inadequadas ao longo dos anos

¹ LOPES, Aline C. de S.. *Projeto de escola para ensino médio e profissionalizante*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, junho, 2002.

reflete uma arquitetura escolar degradada no que se refere a sua linguagem e homogeneidade.

[...] os prédios escolares não devem ser uniformes, carimbados em todo território. Afinal, os ambientes, as condições geológicas e a disponibilidade econômica variam de região para região. Daí, a inclinação para uma solução em que haja diversidade, mas com unidade. Mas unidade como?(MELLO apud OLIVEIRA , 1986, p.44)

Concorda-se que uma unidade das edificações se faz necessária para viabilizar a construções, por questões financeiras e para a otimização de todo o processo. Essa unidade não precisa necessariamente ser sinônima de inflexibilidade. A padronização poder abranger alguns pontos comuns como o número de salas de aula, materiais empregados, tipos de esquadrias, portas , pisos e acabamentos; buscando a melhor solução para cada edificação escolar.

Neste contexto o projeto de iluminação das escolas também se tornou padrão para todas as salas, sem uma adequação a cada caso específico. Os diferentes ambientes escolares, que realizam atividades distintas recebem o mesmo tratamento lumínico, mesmo caracterizados por diferentes orientações, dimensões ou atividades visuais.

O sistema de iluminação artificial das salas se apresenta de maneira homogênea no que se refere à distribuição de luminárias, demonstrando uma uniformidade de iluminâncias. Em geral, a meta é apenas atingir os níveis de iluminação estabelecidos pelas normas com o menor custo possível; utilizando luminárias simples e lâmpadas fluorescentes comuns, empregadas em série para todas as salas.

[...] a iluminação artificial é manipulada por critérios principalmente econômicos, muitas vezes nos leva a soluções de projeto que a utilizam de forma irrestrita e excessiva. A falta de conhecimento nessa área nos leva também a uma concepção de espaços que pode ser considerada muito perigosa: a concepção de espaço-uniformidade. (VIANNA & GONÇALVES, 2001).

Apesar da aparente preocupação com os custos das instalações e dos componentes de iluminação empregados, a falta de um sistema de iluminação devidamente integrado e o melhor aproveitamento da luz natural, acarreta em desperdício e/ou falta de qualidade nos espaços internos.

A luz artificial também pode nos oferecer, assim como a luz natural uma variedade de possibilidades no tratamento lumínico dos ambientes, principalmente devido ao crescente desenvolvimento tecnológico no setor de lâmpadas e luminárias.

Estudos realizados por Heschong Mahone Group (1999) demonstram que uma boa qualidade de iluminação no ambiente escolar promove um melhor aprendizado. As escolas deveriam fornecer um ambiente estimulante para que os alunos aprendam melhor. A qualidade da iluminação influenciará no comportamento, concentração e conseqüentemente em todo processo de aprendizagem.

Um projeto de iluminação artificial pensado para atuar conjuntamente com a iluminação natural existente no ambiente de sala de aula, pode gerar ambientes mais agradáveis, estimulantes e pode oferecer maior qualidade visual para espaço. Com este intuito, esta pesquisa buscar uma investigação de parâmetros importantes para a integração dos dois sistemas de iluminação e trazer propostas para o sistema artificial complementar.

1.2 Objetivo geral

Desenvolver alternativas de iluminação artificial complementar em sala de aula padrão através da integração com o sistema de iluminação natural existente.

1.2.1 Específicos:

- Caracterizar a sala de aula padrão da rede municipal de Florianópolis para utilizar como modelo nas simulações de iluminação natural e artificial;
- Analisar a iluminação natural presente no modelo padrão através de simulações computacionais;
- Analisar a iluminação artificial padrão existente para sala de aula através de simulações computacionais;

- Definir zonas de iluminação de acordo com a incidência da luz natural na sala para propor nova distribuição dos componentes de iluminação artificial;

- Avaliar as propostas de iluminação artificial suplementar à iluminação natural fornecendo uma iluminação diferenciada do padrão existente.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para a realização dos objetivos expostos no item anterior, o presente trabalho está dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo, **Introdução**, aborda de maneira geral a problemática a ser estudada, expondo o foco de estudo, os objetivos gerais e específicos.

O segundo Capítulo, **Revisão Bibliográfica**, constitui um embasamento teórico, composto por elementos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa na área de iluminação e contribuindo para o melhor entendimento do leitor sobre o assunto abordado.

O terceiro capítulo, **Metodologia**, retrata a escolha do objeto de estudo e a metodologia adotada para a realização das simulações do sistema de iluminação natural e artificial de iluminação, além de demonstrar a maneira com que os dados foram transformados em gráficos, figuras e tabelas, para melhor avaliação e discussão dos resultados.

O quarto capítulo, **Discussão dos Resultados e Considerações Finais**, apresenta os gráficos, figuras e tabelas resultantes das diversas situações simuladas computacionalmente tanto para o sistema de iluminação natural quanto para o sistema de iluminação artificial suplementar, bem como as conclusões alcançadas através dos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA DAS ESCOLAS NO BRASIL

As escolas sempre estiveram dependentes dos monastérios, adquirindo apenas no século XII existência própria, quando se transformam em *asilos*, ou centro independente de ensinamentos. Seguindo até o final do século XIX a mesma configuração dos conventos.

De 1900 a 1930 surgem os conceitos higienistas na arquitetura, levantando a importância de ar fresco e a luz solar para a saúde. Estes conceitos levaram ao movimento de *open aire schools*. As escolas eram orientadas para o Sul empregando novas tipologias de janelas deslizantes e dobráveis, de forma que as salas de aula fossem expostas ao ar fresco a luz direta do sol pó algumas horas durante o dia.(DEPARTMENT FOR EDUCATION).

A história das escolas no Brasil também está refletida na presença de seminários e escolas de ordens religiosas.

As primeiras edificações devotadas ao ensino nasceram da "missão divina" empunhada pelos soldados da Contra - Reforma: colégios, seminários e aldeias destinadas à catequese dos índios ou a formação de um contingente local fiel à causa católica. Assim nasceu a maior cidade brasileira: no "*Pateo do Colégio*", a sombra do sobrado e da capela jesuíta, fundou-se São Paulo de Piritininga. (SEGAWA, 1986).

O ensino era ministrado em construções adaptadas e, quando o Estado desenvolvia algum apoio à causa, na maioria das vezes, empregava imóveis alugados.

As primeiras edificações que abrigaram escolas surgem no século XIX, por cerca de 1870-80, no Estado de São Paulo, com programas bastante simples: sala de aula, museu, galpão coberto e sanitários, escolas com características rurais, que algumas vezes recebiam até mobiliário especificamente desenhado.

Após a substituição do regime imperial pelo republicano, o Estado passou a assumir novas responsabilidades, e é neste contexto que se situa o projeto educacional da Primeira República, o qual enfatiza o ensino elementar como

atribuição essencialmente governamental. A educação secundária, considerada como própria às elites, não era obrigatória.

Além de responder as preocupações pedagógicas e de higiene, os projetos escolares, principalmente na cidade de São Paulo, eram inspirados em modelos europeus, assim como a contribuição dos profissionais de procedência ou formação estrangeira.

A necessidade de construir rapidamente o maior número de escolas a baixos custos e com reduzidos números de profissionais na época levou a utilização de projetos tipos, isto é, projetos genéricos que foram construídos em localidades diversas do Estado, resultando numa racionalização do trabalho.

“O que identificava cada tipo de edificação escolar era, essencialmente, seu tamanho (número de salas de aula), sua distribuição espacial (o esquema de circulação adotado) e a opção formal por uma fachada específica; implantação técnica construtiva, localização dos banheiros, e o próprio detalhamento do projeto (portas, janelas, materiais construtivos, brises de madeira, etc.).”(SEGAWA,1986). Esses projetos obedeciam a normas rígidas, ligadas a preocupação de controle, vigilância e higiene, que se inspiravam em modelos estrangeiros.

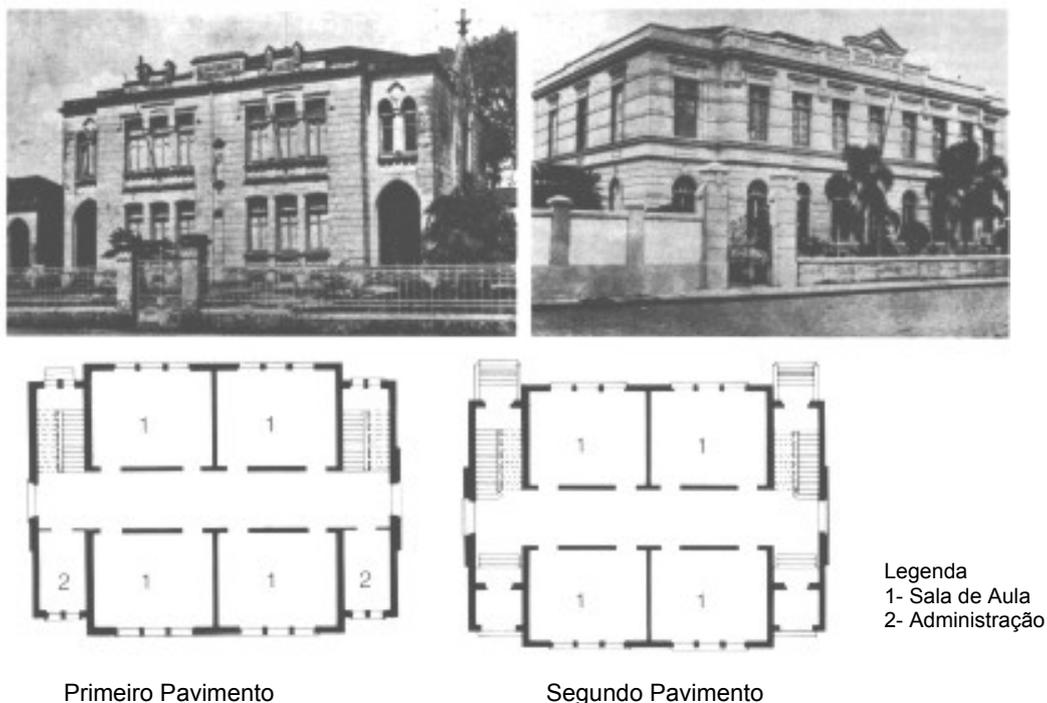


Figura 2.1 – Projeto Tipo de Escola (1895).
Fonte: Revista Projeto maio/86.

Primeiro projeto - tipo para escola (ver figura 2.1), projetado por Victor Dubugras em 1895. A separação dos alunos por sexo era resolvida por andar: no primeiro pavimento meninas; no segundo meninos. Em torno desse projeto foram desenvolvidos outros, com pequenas alterações em planta e com fachadas bastante diferenciadas. (RAMALHO e WOLFF,1986).

As salas de aulas eram de forma retangular , com aberturas laterais. As janelas eram estreitas e altas, com a presença de duas portas nas laterais opostas que auxiliavam também na ventilação.

As posturas higiênicas e educacionais também determinaram o programa e o mobiliário, claramente calcados em soluções já desenvolvidas no exterior. São alguns exemplos: as dimensões das salas de aula e das carteiras dos alunos; o posicionamento dos quadros negros e das próprias carteiras, de forma a permitir boa iluminação e livre circulação dos professores; e, ainda, a localização dos sanitários (geralmente fora dos prédios).

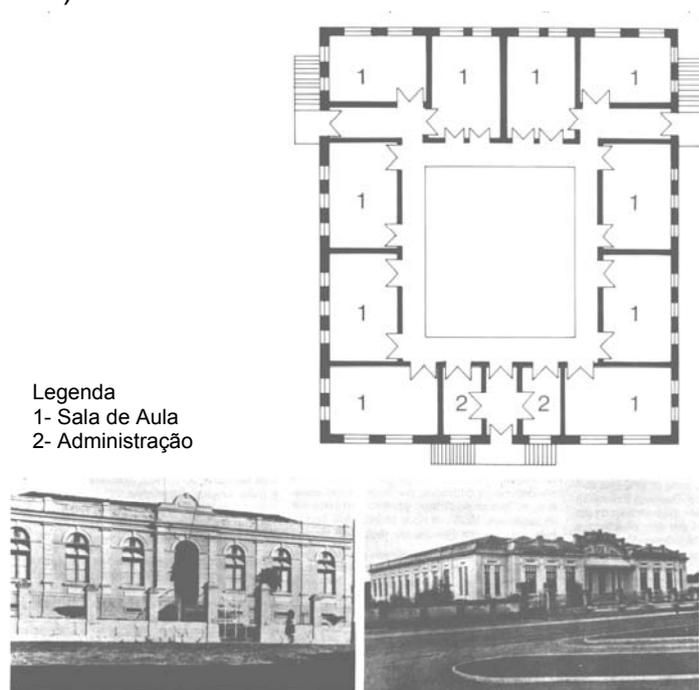


Figura 2.2 – Projeto Tipo de Escola (1905).
Fonte: Revista Projeto maio/86.

O primeiro projeto-tipo (ver figura 2.2) para escola térreo projetado por José Van Humbeeck em 1905. O projeto desenvolve-se em torno de um eixo de simetria de modo a criar duas alas: masculina e feminina. A separação dos alunos por sexo continuava além das paredes do edifício com a construção de um muro desde o portão de

entrada até os fundos do terreno Em tomo do mesmo esquema foi concebido outro projeto-tipo em 1909. (RAMALHO e WOLFF,1986)

O projetos tipo, muitas vezes recebiam a mesma solução de planta apenas com fachadas diferentes. O esquema de pátio foi abandonado por outros em H ou U, com possibilidades de ampliação. As aberturas se apresentavam quase sempre laterais com algumas exceções para as salas que se localizavam no canto do edifício. A luz natural penetrava nas salas de aula através das janelas internas e através dos pátios centrais , que traziam iluminação para as circulações e também para as salas através das portas laterais.

Paralelamente aos projetos-tipo foram elaborados também inúmeros projetos únicos, não repetidos, específicos para locais determinados. Uma vez que, em sua concepção formal e espacial, não diferem dos projetos padronizados.

“Os projetos em dois pavimentos logo passam a ser duramente criticados, por seus custos elevados, no interior do próprio governo. Em vista disso, surge em 1905 um novo projeto-tipo, concebido pelo mesmo Humbeeck, desta vez térreo.” (RAMALHO e WOLFF,1986).

Outro período bastante marcante é o do Convênio Escolar (desenvolvido a partir de 1949 até meados dos anos 50), não somente pelo número significativo de obras realizadas, mas também pela participação do arquiteto Hélio Duarte, de formação no Rio de Janeiro; responsável pelo setor de arquitetura e autor de diversos projetos de edifícios escolares subseqüentes.

O momento era de implantação e construção de um sistema educacional moderno, e para tal seriam necessárias escolas modernas. Com essa preocupação foi assinado um convênio entre o Estado e a Prefeitura da capital. Perto de cem escolas foram criadas pelo Convênio Escolar, sob a coordenação dos arquitetos Hélio Duarte e uma equipe de arquitetos. (_____,2004).

Os edifícios receberam a influência da arquitetura moderna de inspiração carioca: volumes geométricos simples, horizontalidade, coberturas inclinadas, estruturas em arcos, pilotis, quebra - sóis, rampas, fluidez de espaços, integração com a natureza ("o verde"). (SEGAWA,1986)



Figura 2. 3 - Grupo Escolar Pedro Voss.
Fonte: Revista Habitat nº 9, 1952, p. 5

Nas escolas construídas nesse momento vemos uma complementaridade entre a postura educacional e o edifício escolar. A organização do Programa de Necessidades da escola definia um novo resultado. As escolas construídas na época não eram apenas um conjunto de salas. Dentro do prédio da escola tínhamos ambientes com funções de ensino, de recreação e de administração. Seriam essas as três “zonas da escola. (_____,2004).

Esse período influenciou a arquitetura de muitas escolas construídas posteriormente, principalmente da década de 60. Com o passar dos anos as características arquitetônicas do movimento modernista foram se perdendo nos projetos das novas escolas. Estas ganharam nova estética com a utilização dos pré-moldados, principalmente na década de 70.

Atualmente há uma diversidade de padrões para todo o país. Geralmente se utilizam de aberturas laterais, com corredores dividindo duas fileiras de salas, com duas ou uma água de telha cerâmica. O emprego de janelas com altura intermediária é comumente utilizado para penetração da iluminação natural. Segundo Kremer (2002), o emprego deste tipo de abertura é justificado para proporcionar a visualização da paisagem externa, a ventilação ao nível do corpo e a aplicação usual (convencional) relacionada com os custos iniciais.



Figura 2. 4- exemplo de escola com iluminação lateral – Colégio Imaculada Conceição- Florianópolis/SC.

A iluminação e ventilação das primeiras escolas eram obtidas por janelas laterais estreitas e altas, devido ao sistema construtivo, baseado em paredes estruturais. A medida do aperfeiçoamento destes sistemas, com o avanço tecnológico, novas estruturas permitiam a ampliação das aberturas, que passaram a ter características mais horizontais. Principalmente com a influência modernista a partir da década de 50. As salas passam a receber vãos maiores envidraçados, com a presença de elementos que auxiliariam no controle da luz natural, como os brises e/ou lâminas móveis.

Num primeiro momento, com o advento da lâmpada elétrica, iluminação artificial nas escolas era fornecida por lâmpadas incandescentes que mais tarde, foram substituídas pelas lâmpadas fluorescentes, mais econômicas e de maior durabilidade, sendo mais adequadas à atividade escolar devido aos fatores econômicos.

2.2 LUZ NATURAL

A luz natural pode ser um poderoso veículo de expressão arquitetônica. Ela se move, muda suas características e varia com o tempo, pode conceder às construções uma qualidade de vida inalcançável entre qualquer outro elemento de design. (ROBBINS, 1986).

A utilização da luz natural em edificações é evidenciada ao longo dos séculos. Muitas construções se tornaram referência arquitetônica utilizando a luz natural

como elemento primordial de projeto . Obras que se evidenciam pelo efeito da iluminação tanto na qualidade estética como funcional. Alguns arquitetos como Le Coberbusier , Alvar Aalto, Wright e Louis Khan, verdadeiros nomes do modernismo e conhecedores do poder da utilização da luz natural como determinante central de seus projetos , estabeleceram a partir dela os espaços internos e forma da edificação. Alguns exemplos bastante famosos podem observados nas figuras 2.5, 2.6 e 2.7:



Figura 2.5 – Mount Angek Library projetada por Alvar Aalto.

Fonte:

www.greatbuildings.com/architects/Alvar_Aato.html



Figura 2.6 – Viipuri Library projetada por Alvar Aalto.

Fonte:

www.greatbuildings.com/architects/Alvar_Aato.html



Figura 2.7 –Capela Notre Dame projetada por Le Corbusier.

Fonte: www.vitruvius.com.br

O uso da luz natural como principal fonte de luz de uma edificação pode ser justificado principalmente no fato dela estar disponível na maior parte do dia e ser gratuita, além de possibilitar alta eficiência luminosa, excelente reprodução de cores, possibilitar o contato visual com o exterior, gerar economia e preservação do sistema ambiental, sensação de amplitude e bem estar e a qualidade estética.

A luz natural pode penetrar em um ambiente interno através das aberturas, tornando-o mais amplo e agradável, oferecendo um contato visual com o exterior, uma sensação de um ambiente mais espaçoso e iluminado. A presença da luz natural pode influenciar também no ambiente através de mudanças de cores, luz e contraste e ainda permitir uma dinâmica que não pode ser alcançada por outras fontes de iluminação.

“A qualidade da luz natural é tão boa, que na maioria das vezes faz-se necessário de menos luz do dia para executar uma tarefa do que se executaria da mesma forma sob a luz elétrica.” (Erenkrantz Group 1979) “Por exemplo, ler com luz do dia proveniente de um sistema de iluminação natural lateralmente requer aproximadamente 35% da luz quanto é requerido de um sistema de iluminação fluorescente.”(ROBBINS, 1986).

Por ser uma fonte que oferece uma luz não uniforme, devido à trajetória solar e condições de céu, ela pode oferecer sensações e efeitos visuais únicos. Sua variação contínua ao longo do dia ou mês, pode acarretar em modificações nas proporções de luz e sombra, destacando a modelagem e a percepção visual dos espaços internos e objetos.

Nos projetos das escolas atuais, apesar das vantagens da luz natural, ela nem sempre vêm sendo empregada de forma coerente para atender os níveis de iluminação das atividades específicas. Devido à padronização e a otimização do tempo na etapa de projeto, muitas escolas são implantadas sem o correto planejamento, em relação à orientação de salas, à localização e dimensões de aberturas, ao desenvolvimento das atividades escolares, ao emprego dos materiais dos revestimentos e outros parâmetros importantes. O que resulta em muitas salas deficientes em relação ao conforto visual e térmico. Segundo Atanasio et al (2004), este resultado pode ser explicado também pela dificuldade que muitos projetistas têm em manipular a luz natural e realizar uma correta avaliação de seu desempenho na edificação.

Desta forma a luz elétrica passa a ser a fonte principal de iluminação, geralmente inserida depois do projeto finalizado para atender os níveis de iluminação que poderiam ser alcançados pela iluminação natural, em pelo menos na maior parte do dia.

2.2.1 Fontes de Luz Natural

A luz natural que incide sob a edificação não depende exclusivamente da luz direta do sol, mas também da luz difundida pela atmosfera, abóbada celeste, e da luz indireta, refletida pelo entorno.

2.2.2 Luz do sol

A luz do Sol fornece elevados índices de iluminação (de 60 a 110 klux), cerca de 10 a 15 vezes a iluminação da abóbada celeste em caso de céu encoberto. Devido a estes índices, sua captação de forma direta sobre a superfície de trabalho em um ambiente interno é desfavorável, podendo causar ofuscamento, ganho de calor e alterando a integridade física de materiais (desbotamento de carpetes, roupas, objetos, e outros).

2.2.3 Luz da abóbada celeste

A luz solar da abóbada celeste é difusa, sua intensidade depende das condições atmosféricas, resultantes dos fenômenos de refração e reflexão. Produz uma iluminação mais suave e sem atributos direcionais marcantes, resultando numa ausência de sombras definidas. Os níveis de iluminação resultantes são menores do que os produzidos pela luz solar direta podem variar de 5 a 20KLux.

2.2.4 Tipos de céus

Segundo Kittler (1997), os céus podem ser classificados em duas categorias básicas: homogêneos e não homogêneos. Os céus homogêneos podem variar do claro ao turvo, nebuloso a encoberto; encontrando-se seis tipos de céu nesta categoria.

Os céus não homogêneos podem ter diferentes classificações em função do tipo, altura e quantidade de nuvens presentes no céu.

Para fins de desenvolvimento de pesquisas na área de iluminação natural, os tipos mais utilizados são os céus homogêneos, céu encoberto, céu claro e céu parcialmente encoberto.

Segundo Souza (2003) para a caracterização do céu se pode utilizar o método de cobertura preconizado pela *Nacional Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EUA), onde a cobertura é estimada visualmente pela observação do montante das coberturas de nuvens e expressa em percentual numa escala de 0 a 100%. Assim sendo, ABNT (1997) apresenta as seguintes condições de céus:

Céu Claro: 0% a 35%

Céu parcial: 35% a 75%

Céu encoberto: 75% a 100%

A obtenção dos dados de frequência de ocorrência do tipo de céu predominante para determinada localidade pode auxiliar na determinação dos níveis de iluminação natural que chega aos planos de trabalho. Desta maneira, torna-se possível determinar os períodos em que a iluminação natural atende aos níveis mínimos de iluminação e os períodos em que se deve acionar o sistema complementar de iluminação artificial.

2.2.5 Disponibilidade e Variabilidade da Iluminação Natural

A disponibilidade da iluminação natural em ambientes internos depende de dois fatores principais: as características físicas do ambiente construído (dimensões,

geometria, orientação e tamanho das janelas, refletâncias das superfícies internas e entorno) e da disponibilidade da luz natural externa.

A iluminância externa dependerá da distribuição de luminâncias do céu, que varia ao longo do dia. A latitude do local também é de bastante importância, contribuindo com que os benefícios da luz natural mudem de região para região. Existem mudanças da posição do sol no céu com a latitude fazendo com que a distribuição de luminâncias do céu seja diferente, proporcionando variações na disponibilidade de luz natural. A quantidade e o tipo de nuvens também alteram a disponibilidade de luz, assim como a névoa e poeira suspensa na atmosfera.

A disponibilidade de luz natural e a distribuição de luminâncias de céus são um problema meteorológico com as mesmas escalas de tempo e incertezas da previsão de tempo.

Segundo Souza (2004) alguma forma de controle da radiação solar incidente é necessária quando houver muitas horas de insolação no ano e que um sistema ampliado de admissão de luz pode ser usado quando houver predominância de dias encobertos.

Apesar da disponibilidade da luz natural ao longo do dia, ela pode ser insuficiente principalmente nas suas horas iniciais e finais, nas quais os níveis de iluminação fornecidos pelo sol e pelo céu são menores. Faz-se então necessária a complementação com o uso da iluminação elétrica para alcançar níveis de iluminação superiores.

2.3 VISÃO E CAMPO VISUAL

Por definição a visão é a habilidade do olho perceber a porção do espectro de radiação que é definido como luz. É ela que estimula o tecido nervoso de nossos olhos e nos permite distinguir a forma, o tamanho, a cor, o movimento, à distância aos objetos.

A córnea e o cristalino focam a luz por refração para criar uma imagem invertida na retina – superfície sensível a luz localizada no fundo do olho - que transmite a informação para o cérebro.

A retina é sensível à densidade superficial do fluxo luminoso que chega a ela, este estímulo físico é proporcional a magnitude denominada luminância (brilho). A esta se pode referir as capacidades visuais do olho, como a capacidade de

percepção do contraste (diferença de brilhos). Visto que o olho não mede nenhuma das magnitudes luminosas, simplesmente é capaz de comparar luminâncias.

Num primeiro momento, a experiência visual se apresenta como um processo de orientação e formação de impressões espaciais. A seguir, pelo recebimento da várias informações, ocorre um processo de comparações e ordenamento de prioridades mentais. A visão também inclui o processo de comunicação com a identificação de informações visuais. Ela interpreta o movimento e mudanças no entorno adjacente, contribuindo para a orientação espacial e segurança no ambiente.

2.3.1 Contraste

A sensibilidade da retina se adapta em todo o tempo a da luminância média do ambiente, o que realmente se detecta como o sentido da visão é um valor relativo de diferença de luminâncias por isso o contraste é definido como a diferença entre a luminância de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto (plano de fundo).

$$C = \frac{L_f - L_d}{L_f}$$

Onde:

L_d = Luminância do objeto (cd/m²).

L_f = Luminância de fundo(cd/m²).

Se a luminância do fundo é elevada, a sensibilidade da retina é menor, os detalhes parecem mais escuros. Isto demonstra que em tarefas como a leitura, que requer o reconhecimento dos perfis das letras, acentua-se os contrastes utilizando geralmente letras pretas sobre o papel branco.

A leitura é uma tarefa típica de contorno de detalhes (o contorno das letras). Quanto há tinta preta em um papel branco pode-se ler com maior facilidade, mesmo com valores mais baixos de iluminâncias.

Segundo Ayala, et al (1991), a leitura de textos, que tenham letra de elevado contraste com o papel de fundo, é independente da quantidade de iluminação. É possível ler, neste caso, com iluminâncias de 1000lux tanto quanto de 200lux.

2.3.2 Distribuição de Luminâncias

A distribuição de luminâncias em salas de aula depende de como a fonte de luz fornece iluminação ao ambiente interno. Quando se trata de uma iluminação natural, através de aberturas laterais, a luz solar que incide em uma mesa próxima às janelas apresenta grandes diferenças de iluminação em relação às mesas da área mais afastadas. Este efeito também pode ser observado com fontes artificiais, onde a luminária pode concentrar seu fluxo luminoso sobre uma superfície, causando elevado contraste com outra superfície menos iluminada. A distribuição de luminâncias depende da geometria, das características das fontes de luz do ambiente iluminado natural ou artificialmente e das propriedades dos materiais empregados no ambiente.

De forma geral, as normas recomendam uma distribuição da iluminação mais uniforme para todas as superfícies de trabalho, o que acaba gerando uma iluminação uniforme para toda a sala. Um ponto favorável de uma distribuição homogênea é evitar excessivos contrastes, porém esta homogeneidade não deve ser absoluta pois a sala pode perder características estéticas parecendo monótona para a percepção do usuário.

Estudos realizados por Baker et al (2000), mostraram que usuários apresentaram uma expectativa favorável em relação às janelas laterais, dando preferência aos ambientes que possibilitem a incidência de luz natural e dependendo da intensidade, atrasam a utilização do sistema de iluminação artificial para complementação do nível de iluminação. Os usuários aceitam níveis de iluminação natural mais elevados do que os níveis das fontes de iluminação artificial, somente pelo fato de poder desfrutar da possibilidade da visão do ambiente externo permitindo, por exemplo, a maior observação da passagem do tempo.

A variedade da distribuição da luz natural no ambiente interno é um grande atrativo aos usuários, que preferem à luz do dia à luz artificial, quando se pode optar pela utilização de uma ou outra. Apesar disto, a iluminação natural pode facilmente produzir ofuscamento devido aos elevados contrastes de luminâncias, que poderiam

ser atenuados através do emprego de elementos de controle como superfícies de separação, filtros solares, brises e outros.

Em ambientes escolares, as fontes luminosas devem ser combinadas para fornecer uma iluminação organizada. Com vários tipos de fontes de luz se pode compor uma iluminação mais homogênea, ou cada uma delas, pode criar um ambiente claramente autônomo com valores de iluminação diferenciados. O resultado global pode gerar uma ordem visual, ou fazer com que as fontes interfiram umas nas outras, acrescentando ou invertendo parcialmente seus respectivos efeitos. Ao se empregar diversas fontes de iluminação, deve-se organizá-las seguindo uma hierarquia, dando a uma delas a função principal de iluminação e ao restante a função de apoio.

Para se obter uma confortável proporção de luminâncias é necessário um estudo cuidadoso dos fatores relacionados, incluindo não somente as fontes de luz como também as refletâncias das superfícies da sala e do mobiliário. É preciso criar um equilíbrio entre as luminâncias do entorno de trabalho com as superfícies adjacentes do campo visual, evitando fundos escuros ou superfícies excessivamente brilhantes próximas ao entorno.

2.3.3 Equilíbrio de luminâncias x contraste

Segundo Pereira (2004), a luminância pode ser considerada como uma medida física do brilho de uma superfície iluminada ou de uma fonte de luz, sendo que é através dela que os seres humanos enxerguem.

Os olhos se ajustam constantemente as diferentes luminâncias, quanto maior e mais freqüentes o contraste entre o objeto e o plano de fundo, mais cansados eles estarão e menor será a habilidade para realizar as tarefas visuais.

A escala do brilho de que o olho humano pode apreciar e visualizar com conforto, é mais de 1000 a 1.

O equilíbrio na relação das luminâncias nas superfícies de trabalho é de grande importância para alcançar o melhor rendimento da atividade visual. O elevado contraste é conveniente no objeto observado; entretanto é incômodo no restante do campo visual. Por essa razão estabeleceram-se recomendações de refletâncias em locais, para atingir o conforto visual de um observador.

Estas são de 50, 30, 80 e 35% para paredes, pisos, tetos e mobiliários, respectivamente.

As condições de equilíbrio de luminâncias podem variar para diferentes espaços e atividades a serem desenvolvidas. De forma geral para atingir esse equilíbrio pode-se seguir as seguintes relações de luminâncias:

- - 3:1 entre a tarefa e o entorno imediato;
- - 10:1 entre a tarefa e o entorno distante;
- - 20:1 entre as fontes de luz natural e as superfícies imediatas;
- - 40:1 contraste máximo admissível.

Estes limites não implicam numa uniformidade ou condições de iluminação preferidas. O controle do contraste é obtido pela determinação das superfícies refletantes, pelo desenho das aberturas e pelas características das luminárias empregadas.



Figura 2.10 – Exemplo de relação de luminâncias em sala de aula.
Fonte: DesignLights, 2002.

2.3.4 Ofuscamento

A CIE define o ofuscamento como a condição de visão na qual há desconforto ou uma redução da habilidade de ver os detalhes ou objetos, causado por uma inadequada distribuição ou variação de luminâncias, ou contrastes extremos.

Um importante parâmetro para haver o conforto visual é a ausência de ofuscamento. Este ocorre devido a uma grande variação de luminâncias e/ou de velocidade, nos quais se experimenta uma perturbação, um desconforto ou até mesmo a perda da visibilidade. É um fenômeno complexo que envolve a compreensão de aspectos como o tempo de exposição na qual a fonte de ofuscamento está presente, o raio de luminância entre a fonte de luz e seu entorno, e a posição da fonte de luz em relação à superfície de trabalho. Duas maneiras de gerar o ofuscamento:

- Ofuscamento direto: ofuscamento devido as próprias fontes luminosas situadas dentro do campo de visão.
- Ofuscamento Indireto: devido a reflexão de uma fonte luminosa sobre uma superfície observada.

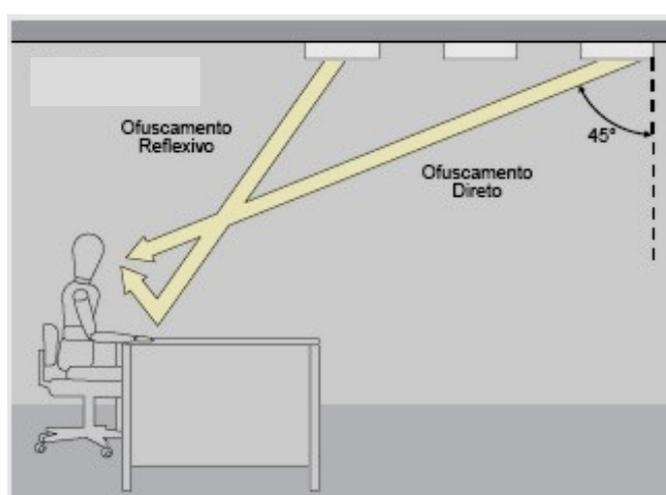


Figura 2.11 – Tipos de ofuscamento.
Fonte: OSRAM, 2005.

2.4 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

O sistema de iluminação natural é um importante componente de projeto, que aliado de forma sensata e integrada com os outros sistemas pode resultar em uma edificação mais eficiente e de maior qualidade visual para seus usuários. ROBBINS (1986).

Os principais objetos da iluminação natural segundo Moore (1985) é permitir a maior entrada de luz pelas aberturas envidraçadas, controlando a luz direta do sol, diminuir o ganho de calor no verão e diminuir a perda de calor no inverno e obter o controle do brilho em excesso das superfícies.

Para Robbins (1986), o projetista deve estabelecer nas primeiras etapas de projeto os conceitos de iluminação natural necessários para fornecer uma quantidade de luz razoável nos espaços, garantindo um bom desempenho visual e contraste suficiente para proporcionar conforto visual.

O conceito de iluminação natural em uma edificação deve envolver a otimização de todos os seus componentes internos e externos (área, volume, forma, materiais, aberturas, fechamentos, objetos, pessoas, plantas, e outros) que podem ser beneficiados pelo uso da luz natural. Esta deve fornecer os níveis de conforto necessários à manutenção da produtividade de seus usuários.

As seguintes categorias de sistemas de iluminação natural podem ser divididas segundo Robbins (1986): Iluminação lateral, iluminação zenital, iluminação indireta, iluminação utilizando a luz direta do Sol, iluminação através de pátios, átrios, reentrâncias, etc e combinações diversas.

Para desenvolver um sistema de iluminação natural adequado, que aproveite os benefícios desta luz, é preciso compreender como a luz natural penetra na edificação, através de sua forma, orientação, ou localização de aberturas, interagindo com os outros sistemas complementares.

O caminho com que a luz incide em uma edificação depende basicamente de sua forma e da localização de suas aberturas. Estas podem ser expressas principalmente pelas janelas, importantes componentes de passagem que possibilitam a entrada da luz natural, radiação solar, possibilita a visão do meio externo e a ventilação natural.

De acordo com Brow & Ruberg (2003) o balanço da qualidade e da quantidade de iluminação natural em um ambiente pode ser controlado através das

janelas deste ambiente. O excesso de luminâncias na realização de uma tarefa pode causar ofuscamento com a redução da sensibilidade ao contraste e/ou a saturação dos olhos à luz. Para evitar excesso é necessário reduzir a iluminação direta do sol sobre as superfícies de trabalho através de dispositivos de controle como brises e vegetação.

2.4.1 Aberturas Laterais

As aberturas laterais são componentes bastante utilizados nas edificações, talvez por serem mais econômicas e tradicionais. Segundo Robbins (1686), esse sistema provoca uma distribuição irregular com a redução de iluminâncias à medida que se afasta da fonte de luz. Nas áreas próximas a abertura ocorre níveis mais elevados de iluminação que vão diminuindo à medida que nos afastamos da abertura. O que acarreta em alto índice de ofuscamento próximo a abertura e elevado contraste em relação aos níveis de iluminação.

Além de permitir a entrada de luz, as aberturas laterais possibilitam a visão do meio externo e a ventilação natural no ambiente.

Suas características como tipo, tamanho, forma posição e orientação podem influenciar no modo que a luz estará distribuída no ambiente.

2.4.1.1 Tipos de janelas:

Os tipos de janela podem variar de acordo com sua finalidade seja para a obtenção da luz natural, a visão com o exterior e ventilação natural. Num ambiente podem haver janelas que servem somente para iluminação e outras que cumprem somente a função de contato visual com o exterior, podendo variar sua localização, tamanho e forma. No caso de janelas a serem utilizadas em escolas, principalmente no ambiente de sala de aula, deve-se ser cauteloso quanto a escolha de suas funções. A presença de janelas que fornecem a luz natural é sempre favorável, mas o contato visual com o exterior, por exemplo, pode se tornar uma fonte de distração para os alunos, influenciando em sua concentração.

➤ Tamanho

Para estabelecer o tamanho das janelas é preciso distinguir a superfície absoluta a sua proporção em relação à área do ambiente. A superfície absoluta influi na ventilação e na visão e a proporção da abertura afeta a quantidade e distribuição de luz.

De acordo com a relação de proporção entre a superfície da janela e o espaço interno, seguindo a classificação pode ser feita:

- Baixa proporção – de 1% a 4%
- Média proporção - de 4% a 10%
- Alta proporção – de 10% a 25%
- Altíssima proporção - acima de 25%

Devido a grande influência na distribuição de iluminação e ventilação para o ambiente interno, o tamanho da janela não é estudado de forma detalhada nos códigos de obras vigentes nas cidades de nosso país, principalmente no que se refere às salas de aula. Apenas oferecem de maneira geral proporções de áreas mínimas de aberturas, sem a devida análise das funções e dos níveis de iluminação a serem atingidos para determinadas atividades.

No caso de Florianópolis, o código de obras classifica as salas de aula no Grupo A – I –compartimentos destinados ao uso residencial ou de prestação de serviços de saúde e educação. Onde a soma total de áreas dos vão envidraçados de iluminação e ventilação destes compartimentos deve corresponder no mínimo a 1/6 da área dos mesmos.

➤ **Forma**

Para a definição da forma da janela é preciso estabelecer a relação entre sua altura e largura, podendo ser classificada Como:

- horizontal: com coeficiente de forma = $\frac{1}{2}$

- vertical: com coeficiente de forma = 2
- intermediária com coeficiente de forma = $\frac{1}{2}$ a 2

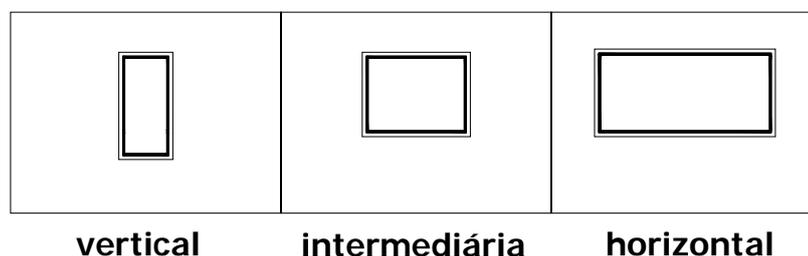


Figura 2.12 – Tipos de janelas.

As janelas horizontais fornecem luz nas áreas mais próximas à parede em que estão localizadas, com pouca diferença na distribuição da luz e pouco brilho, mas permitindo uma visão melhor do meio externo. Já as verticais oferecem zonas de iluminação mais afastadas da parede em que está inserida, com uma maior variabilidade de iluminação ao longo do dia e uma limitada visão do exterior.

Segundo Correa (1995), a janela horizontal alta tende a uma distribuição mais uniforme e possivelmente sem efeitos de ofuscamentos no caso dela estar locada na linha superior à linha de visão do exterior. Em salas de aulas seria necessário acrescentar uma janela secundária para satisfazer a necessidade de visualizar o ambiente externo.

Assim como na maioria das edificações brasileiras, nas instituições de ensino, a abertura lateral com janelas de altura intermediária é a forma mais comumente utilizada para a penetração da iluminação natural. Nas edificações escolares públicas, este domínio com abertura lateral é ainda mais gritante. (KREMER, 2002).

➤ **Localização**

A localização da janela pode ser descrita como horizontal ou vertical na parede na qual está inserida. Sendo classificada como:

-
- Janela alta - aumentando a altura da janela, aumenta-se a profundidade de penetração da luz, acarretando em uma melhor distribuição no ambiente.
 - Janela baixa - geralmente nesta posição a janela está fora do campo visual e pode oferecer uma luz refletida pelo piso para outros pontos do ambiente.

As janelas mais baixas propiciam uma iluminação mais elevada próximas a ela, em contrapartida as janelas altas proporcionam maior profundidade na distribuição da luz natural. Isso se deve pela relação entre a altura do piso e o limite superior, também auxiliando na uniformidade da iluminação.

Em relação à posição da janela na parede pode-se classificar em: central, lateral, ou de esquina. A posição central é a que produz a melhor distribuição de luz no interior enquanto a de esquina fornece menos brilho.

➤ **Orientação**

A trajetória solar tem grande influência para a orientação das aberturas, através dela pode-se prever os períodos mais ou menos iluminados do dia.

As janelas com orientação Norte, nordeste, noroeste, produzem altos níveis de iluminação e luminosidade variáveis, com elevados ganhos térmicos no inverno e médios no verão.

As janelas com orientação Leste e Oeste, oferecem níveis médios de iluminação. Os níveis de iluminação são mais elevados no período da manhã para a orientação Leste e mais elevados no período da tarde para a orientação Oeste devido a trajetória solar.

As janelas de orientação Sul produzem baixos níveis de iluminação. Janelas com esta orientação podem gerar ambientes sombrios no inverno, quando a presença da radiação solar direta é preferida.

2.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SUPLEMENTAR

A iluminação artificial é determinante para a qualidade da iluminação interna das edificações, principalmente nos períodos da inexistência da luz natural, como no

período noturno. Durante o dia, a iluminação artificial pode funcionar como fonte suplementar à luz natural, gerando maior economia de energia e auxiliando na complementação dos níveis de iluminação. Segundo Vianna & Gonçalves (2001), na maioria dos casos, um edifício é incapaz de suprir os níveis de iluminação somente com a luz natural. Utiliza-se então, da iluminação artificial que se torna um apoio fundamental para a iluminação natural.

Nas escolas brasileiras, de maneira geral, há poucas edificações que somente com a iluminação natural conseguem atingir os níveis necessários de iluminação, em contra partida, há poucas construções em que a iluminação natural não contribua significativamente nos níveis de iluminância do ambiente.

Para Souza (2003), as pessoas preferem ambientes com luz natural, a menos que a função deste torne isto impraticável. Alguns edifícios fazem aproveitamento da luz natural, mesmo assim, parte do sistema de iluminação artificial fica em uso contínuo durante períodos em que a luz natural fornece os níveis de iluminância satisfatórios para o desenvolvimento das atividades. Para um uso eficiente de energia e para uma iluminação de alta qualidade no ambiente de trabalho, a iluminação artificial e a natural devem ser complementares.

A técnica de integrar a iluminação artificial com a natural é denominada Iluminação Artificial Suplementar Permanente para Interiores- (*Permanent Supplementary Artificial Lighting for Interiores - PSALI*). Segundo Vianna & Gonçalves (2001) a *PSALI*, desenvolvido na Inglaterra no *Building Reserch Station*, baseia-se nas considerações subjetivas da aparência do local assim como na previsão dos níveis necessários de iluminância.

Os princípios básicos para a Iluminação suplementar baseiam-se no nível de iluminância necessária e exigida pela função em questão, e na relação de luminância entre a parte do local iluminado com a luz natural e artificial.

Segundo Hopkinson (1975) 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. Esse nível é determinado não necessariamente somente pela tarefa visual a ser desenvolvida na região remota do ambiente, mas pela sensação subjetiva de ajuste de contrastes.

Na elaboração do projeto de iluminação artificial há um conjunto de condicionantes que podem influenciar no consumo de energia da instalação. O

primeiro aspecto é atender os níveis de iluminação exigidos para o desenvolvimento das tarefas visuais, depois a escolha dos componentes do sistema, como tipos de lâmpadas, luminárias, posicionamento, quantidade, tipos de acionamento e outros.

2.5.1 Componentes da iluminação Artificial

As fontes de luz artificial podem ser agrupadas de forma geral em dois grupos:

- As de irradiação por efeito térmico (Lâmpadas incandescentes)
- As de descarga em gases e/ou vapores (lâmpada fluorescentes, vapor de mercúrio, de sódio, etc.)

Para a escolha da lâmpada é preciso levar em consideração alguns fatores importantes como: eficiência luminosa, rendimento cromático, reprodução de cor, temperatura, vida útil e custo.

As lâmpadas , exceto as coloridas, podem ser divididas em dois grupos, de acordo com sua aparência de cor (temperatura de cor correlata).

Tabela 2.1 – Temperatura de cor correlata e aparência de cor.

Temperatura de cor correlata	Aparência de cor
> 5000 K	Fria (branca – azulada)
3300 – 5000 K	Intermediária (Branca)
< 3300 K	Quente (branca - avermelhada)

Fonte: Adaptado de PEREIRA, 2004.

- Lâmpadas Incandescentes - foram as primeiras lâmpadas comerciais. A lâmpada incandescente foi inventada por Thomas Edson em 1879. Seu princípio era de uma corrente elétrica passando por uma resistência (filamento), que se aquecia até virar uma brasa, ou seja, em estado de incandescência. Para que não queimasse o filamento era fechado no interior de uma ampola de vidro (bulbo). As lâmpadas incandescentes atuais são baseadas no princípio de Thomas Edson, recebendo apenas alguns ajustes e variações.

“Esses tipo de lâmpadas são menos eficientes, pois transformam em luz somente 10% da energia que consomem. Mesmo assim, ainda representam o maior mercado de consumo de lâmpadas.” (SILVA, 2004). Uma variação bem conhecida dessas lâmpadas são as incandescentes com halogênios. Diferentes das incandescentes comuns pela adição de gases halógenos, que se combinam com as partículas despreendidas do filamento pelo aquecimento. São mais eficientes que as incandescentes convencionais, possuem um tamanho reduzido do bulbo , em geral de quartzo, pois sua temperatura de funcionamento é mais elevada. Produz uma iluminação branca e brilhante de grande intensidade e é até quatro vezes mais durável que a tradicional incandescente.

- Lâmpadas de Descarga – Esses tipos de lâmpadas constituem um grupo bastante vasto e diferenciado. A luz é produzida pela excitação de um gás dentro do tubo de descarga. Todos estes tipos de lâmpadas requerem uma maneira de controle através do reator da lâmpada.

As mais conhecidas são as lâmpadas fluorescentes tubulares, clássicas para uma iluminação econômica que foram evoluindo com os anos, possibilitando melhores índices de reprodução de cor (IRC), antes com IRC de 70% e atualmente chegando até 85. Por serem mais econômicas foram empregadas largamente ao longo dos anos em construções escolares. As antigas fluorescentes tinham um bulbo chamado de T-12, que a partir da década de 80 evoluíram para o bulbo T-10(mais fino). Em seguida, surgiram as modernas fluorescentes tubulares tipo T-8 e hoje, no Brasil, está sendo comercializada as tubulares T-5 ainda mais finas que as T-8.

As fluorescentes compactas, também vem se tornando bastante populares em nosso país. Podem reduzir em até 80% do consumo em relação às incandescentes, além de possuírem vida útil maior. Alguns modelos possuem reatores eletrônicos incorporados, proporcionando grande economia e maior durabilidade.

2.5.1.1 Luminárias

As luminárias são compostas pelos suportes das lâmpadas e pelos componentes de fixação. Elas distribuem o fluxo luminoso em determinada direção

de interesse. O conhecimento de sua fotometria, propriedades e custo são fundamentais para determinar sua utilização no projeto luminotécnico.

Quando escolhemos uma luminária, o dado mais importante que deve constar é a forma com que a intensidade luminosa se distribui. Cada luminária se caracteriza por um diagrama polar de intensidade luminosa ou curva fotométrica. Às vezes, apesar de serem similares as luminárias possuem curvas fotométricas diferentes, ou seja, distribuem de maneira diferente o fluxo luminoso.

2.5.1.2 Curvas de Distribuição de luminárias

Cada lâmpada e luminária se caracterizam por uma distribuição específica do fluxo luminoso. Essa distribuição pode ser observada através de um diagrama polar de intensidade luminosa (curva fotométrica). Para isso, considera-se a fonte luminosa como um ponto e coloca-se no centro de um diagrama. A partir deste ponto, a intensidade luminosa é medida em diferentes direções que variam de 0 a 180 graus para o plano superior ou para o plano inferior.

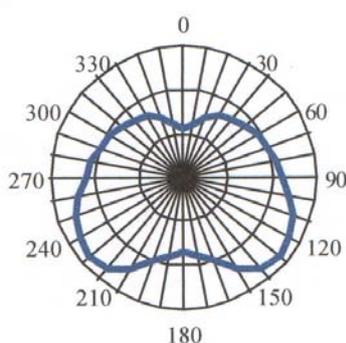


Figura 2.13– Curva Fotométrica para uma fonte real.
Fonte: GHISI, 1997,p.50.

Segundo a proporção da direção do fluxo luminoso, sendo para o plano superior ou inferior da luminária, elas classificam-se em:

- Direta: Quando pelo menos 90% do fluxo luminoso está dirigido para o plano inferior. Estas luminárias têm sido utilizadas na maioria dos ambientes escolares por fornecerem todo o fluxo luminoso em direção à superfície de trabalho. Podem causar ofuscamento direto e indireto e são mais apropriadas para uma iluminação localizada.

- Semi - direta: Quando entre 60 a 90% do fluxo está dirigido para baixo. São luminárias que podem ser aplicadas em salas de aula com eficiência energética aceitável, proporcionando menos uniformidade nas paredes e mais uniformidade no teto. Podem diminuir os riscos de ofuscamento direto e indireto.

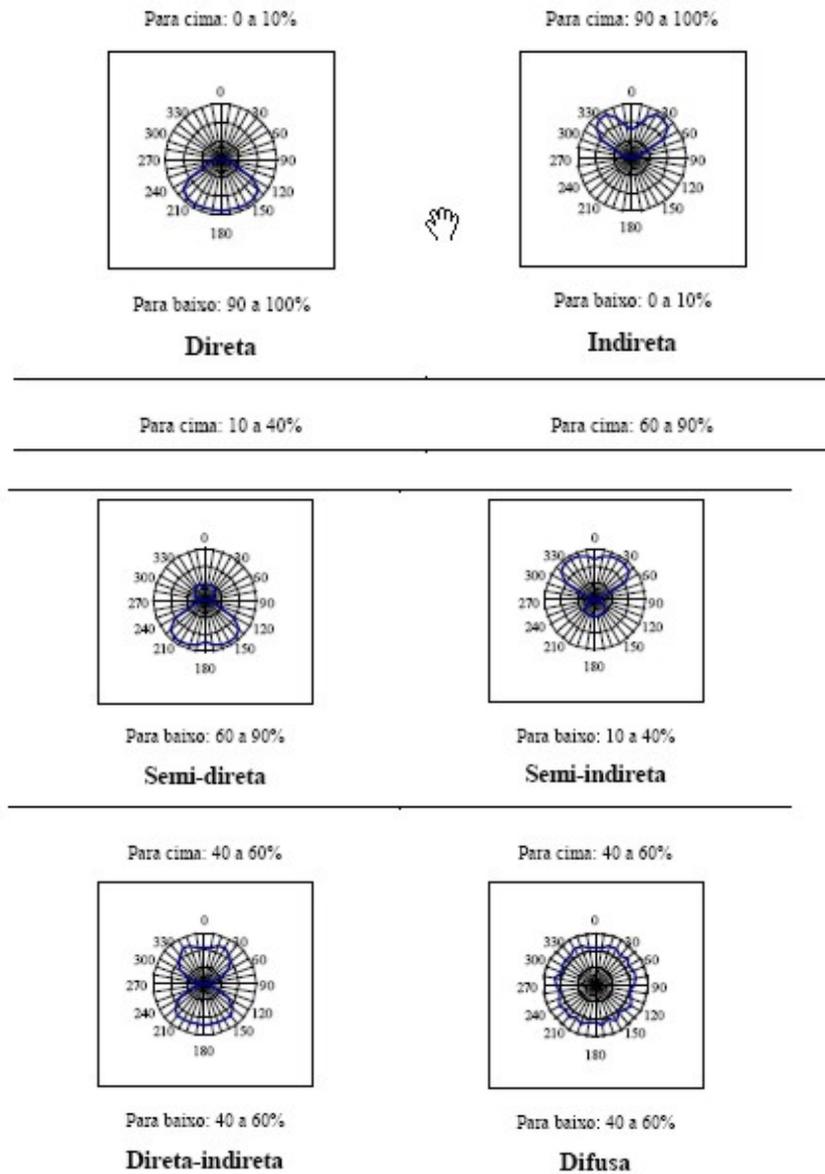
- Semi – Indireta: Possuem de 10% a 40% do fluxo dirigido para baixo. Segundo Correa (1995), esse fluxo é obtido com luminárias que apresentam em sua parte inferior materiais translúcidos, o que tem a vantagem de criar contrastes com o teto imediato. A atmosfera visual produzida por esse sistema é bastante parecida com o sistema indireto. O risco de ofuscamento é quase inexistente.

- Direta - Indireta: Possuem de 40% a 60% do fluxo dirigido para baixo. Podem iluminar o teto diretamente e a superfície de trabalho. Os riscos com ofuscamento direto são maiores do que com as semi-indiretas.

- Difusoras - Distribuem o fluxo e praticamente todas as direções. Este tipo de luminárias geralmente são compostas por materiais translúcidos difusores no envoltório da lâmpada. Podem causar tanto ofuscamento direto como indireto.

- Indiretas: Quando o fluxo luminoso é de 10% para baixo. Estes tipos de luminárias requerem parâmetros de alta refletância, sobretudo no teto. As potências das lâmpadas devem ser aumentadas se quiser obter iluminâncias elevadas no plano de trabalho. Produzem uma iluminação uniforme na superfície de trabalho e podem eliminar o risco de ofuscamento direto e indireto.

Tabela 2.2 - Classificação das luminárias pela CIE.



Fonte: GHISI, 1997, p.52-53 (adaptado IESNA, 1995).

As luminárias a serem utilizadas em salas de aula devem atender além das exigências técnicas de iluminação para a atividade requerida, aos fatores

econômicos (preço) e manutenção, fator que pode condicionar seu rendimento. No caso das escolas, por exemplo, uma luminária que não recebe manutenção regularmente, como falta de limpeza, pode ter seu rendimento comprometido (relação ente o fluxo luminoso que sai do aparelho e o fluxo luminoso emitido pela lâmpada).

As luminárias vêm acompanhando o desenvolvimento do setor de iluminação através de modelos mais modernos, eficientes e específicos, além de esteticamente melhores. Cabe aos profissionais a escolha adequada da luminária de acordo com a solução a ser proposta. Observa-se nos exemplos abaixo alguns modelos de luminárias com diferentes distribuições de fluxo luminoso.

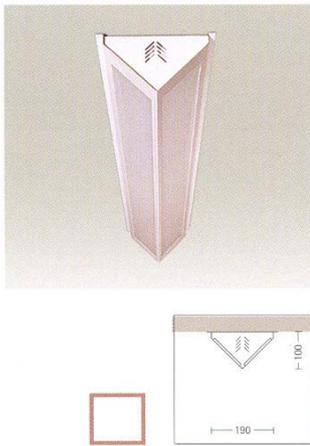


Figura 2.14 – Luminária direta mod. 1352.
Fonte: LUMINI, 2002.



Figura 2.15 – Luminária direta assimétrica mod. 1351.
Fonte: LUMINI, 2002.

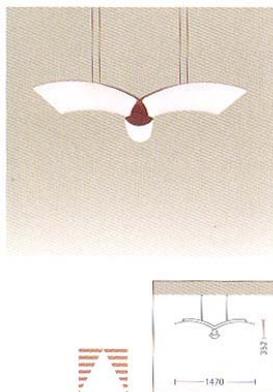


Figura 2.16 – Luminária direta mod. 1620.
Fonte: LUMINI, 2002.



Figura 2.17 – Luminária semi-indireta mod. 1610.
Fonte: LUMINI, 2002.



Figura 2.18 – Luminária direta com aletas mod. C 2336
Fonte: LUSTRES PROJETO, 2003.

2.5.2 Tipos de disposições do sistema artificial

O sistema de iluminação artificial utilizado dependerá da tarefa visual a ser executada, o tipo de luminária empregada, sua distribuição e posicionamento. Os sistemas de iluminação se comportam em relação a disposição da luminárias da seguinte forma:

- Iluminação geral :

A iluminação geral é utilizada para dar uma iluminação uniforme. Para obtê-la coloca-se um número de luminárias em uma distribuição regular sobre a área total do teto (teto luminoso) , resultando em uma iluminação uniforme no plano horizontal de trabalho. Proporciona condições de visão uniformes para iluminação de tarefas diferentes com iguais exigências de iluminâncias, como também para iluminação de tarefas iguais, com localização variável ao longo do tempo. Exemplos: iluminação de escritórios, lojas de departamentos e muito utilizada em salas de aula.

- Iluminação direcional:

A iluminação direcional ocorre quando a luz incide predominantemente em uma direção preferida, geralmente por meio de uma distribuição espacial de luminárias com lâmpadas fluorescentes espelhadas ou pelo uso de luminárias tipo “spot”, com fecho aberto.

Esse tipo de iluminação é muito usado como iluminação de exposição, para criar sombras sobre materiais, para iluminar superfícies, que por sua vez funcionam como fontes de luz secundárias (iluminação indireta).

Este tipo de iluminação pode integrar com a iluminação geral com a finalidade de eliminar o possível efeito monótono de uma iluminação uniforme.

- Iluminação localizada:

A iluminação localizada pode ser descrita como uma iluminação na qual a luz incida predominantemente em uma direção preferida; onde as luminárias são concentradas por cima e em volta das áreas de trabalho, fornecendo elevada iluminação em uma superfície de trabalho.

- Iluminação local:

Neste tipo de iluminação busca-se iluminar uma área pequena próxima à tarefa visual, sendo complementada por outros sistemas de iluminação. Segundo N.V. Philips a iluminação local é recomendada quando:

- ⇒ O trabalho envolve tarefas visuais muito criteriosas;
- ⇒ A visão forma ou textura exige luz que incida de uma direção particular;
- ⇒ A iluminação geral devido obstruções não atinge certas áreas;
- ⇒ Iluminamentos maiores são necessários para o benefício de usuários com desempenho visual reduzido;

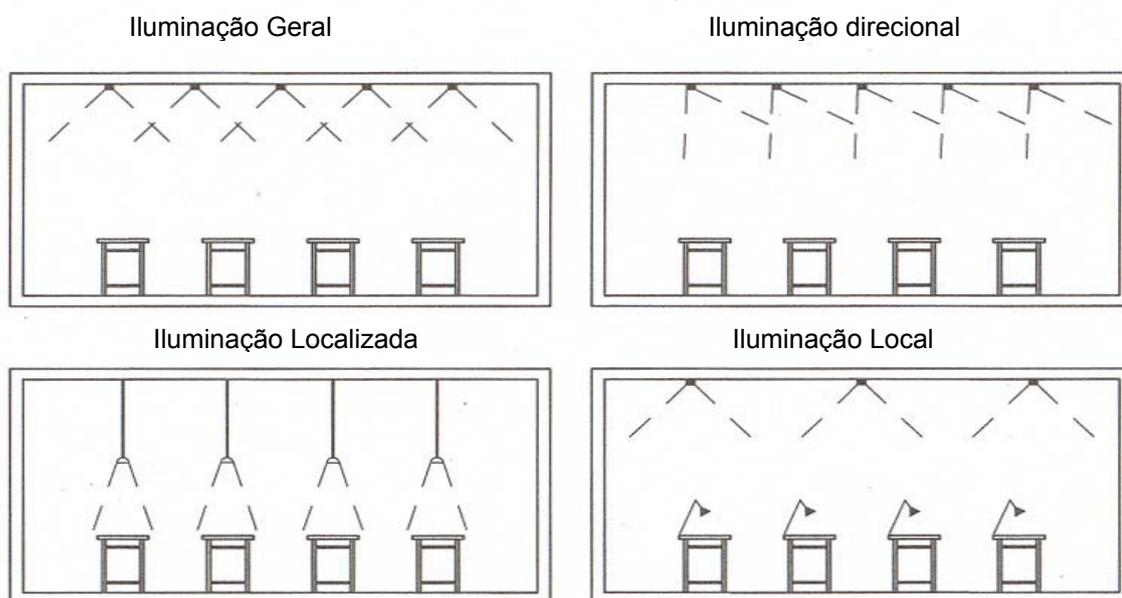


Figura 2.19- Tipos de iluminação artificial.
Fonte: N.V.. PHILIPS (1981).

2.5.2.1 Iluminação uniforme

Segundo Kalff (1971), o homem está acostumado a grandes diferenças de luz entre o dia e a noite, o sol e a sombra, o exterior e o interior, não apreciam a uniformidade.

“A total uniformidade na distribuição da luz dentro de um ambiente pode nos causar uma sensação de monotonia e insensibilidade muito desagradável”. (VIANNA & GONÇALVES, 2001)

Uma iluminação uniforme pode dificultar o reconhecimento dos objetos, suas dimensões e a distância a qual se encontra devido à ausência de sombras. O excesso de sombras causado por uma iluminação com fontes direcionais também pode causar desconforto pelo excesso de contrastes. Assim pode-se então mesclar os dois tipos de iluminação para alcançar uma visualização agradável e equilibrada.

Uma iluminação geral de uma sala de aula, por exemplo, dada por lâmpadas fluorescentes tubulares, gera uma iluminação bastante uniforme, podendo provocar nos usuários que geralmente ficam cerca de três a quatro horas na sala, uma sensação de monotonia. Como alternativa pode-se integrar a iluminação geral com fontes de luz direcionais que poderiam ser acionadas separadamente a fonte principal. Entretanto, não esquecendo de evitar que elas causem sombras na superfície de trabalho. Por isso é importante ter conhecimento do layout e da atividade desenvolvida para estabelecer o posicionamento e o tipo de luminária.

2.5.3 Sistemas de controle de iluminação artificial

Segundo Ayala (1991), o correto controle da iluminação inclui, em primeiro lugar, todos os dispositivos pelos quais se pode operar o sistema de iluminação; tanto os interruptores manuais, como os automáticos. Em segundo, a estratégia de controle da iluminação, que deve ser decidida ao mesmo tempo em que se projeta o sistema de iluminação da edificação, que deve ser apropriado à fonte de luz; aos acessórios do sistema e à disposição nos ambientes.

Nas escolas, o sistema de controle da iluminação artificial pode ser determinado em função da luz natural disponível, como também, pelo tipo de ocupação do ambiente, tipos de lâmpadas, luminárias e outros. Um sistema de iluminação baseado neste conceito pode incorporar os seguintes aspectos:

- Graduação contínua da luz;
- Sistemas de acendimento controlados por horários;
- Sistemas de detectores de presença;
- Painéis computadorizados para acionamento e desligamento de um grande número de unidades de iluminação;

Os objetivos principais do sistema de controle são sua flexibilidade, conforto para seus usuários e economia. Os componentes mais empregados são os interruptores manuais, fotossensores e sensores de ocupação.

Os interruptores manuais são os mais utilizados nas escolas, especialmente na rede pública. O tipo mais comum de controle manual é o de dois passos (liga/desliga), que pode controlar luminárias individuais ou em conjunto. Para esse tipo de controle se recomenda que em cada zona de iluminação tenha seu próprio controle e áreas que terão atividades semelhantes, sejam agrupadas em um mesmo circuito, e as luminárias paralelas às janelas devem ter seus acionamentos independentes.

Os fotossensores são equipamentos que utilizam componentes eletrônicos que transformam a luz em sinais elétricos. Geram uma corrente elétrica proporcional à radiação recebida. O sinal de saída do fotossensor é enviado a um controlador que ajustará a produção de luz do sistema de iluminação artificial em função de sua intensidade. Os fotossensores devem ser orientados para o Sul, evitando a incidência de radiação direta e garantindo uma iluminância mais uniforme,

Os sensores de ocupação são detectores de movimento que ligam as luminárias em ambientes ocupados e desligam em ambientes desocupados, com a finalidade de reduzir o tempo em que as lâmpadas permanecem acesas. São compostos por detector de movimento e um interruptor controlável. A ocupação é percebida por meio áudio, ultra-som, infravermelho passivo ou meios óticos. As lâmpadas são desligadas depois de um tempo prefixado que segue a partida do ocupante.

2.5.4 Integração Luz Natural+Artificial

Em relação à iluminação, novos requisitos fizeram-se presentes nas últimas décadas, principalmente com o surgimento de novas funções dentro do edifício. A partir da Segunda Guerra Mundial houve um avanço tecnológico neste sentido, principalmente em relação à iluminação artificial - com desenvolvimento de novos tipos de lâmpadas e luminárias, mais eficientes e de menor custo. Apesar deste avanço, o alto custo da produção de energia elétrica evidencia a necessidade de evitar desperdícios, a integração entre a luz natural e artificial se faz necessária para a conservação de energia.

De acordo com Robbins (1986) a integração entre os dois sistemas se dá pela devida adequação da luz artificial associada com a disponibilidade de luz natural no ambiente , através da escolha pertinente dos componentes do sistema de iluminação artificial.

As decisões de projeto para a integração dos dois sistemas envolvem os seguintes parâmetros:

- Estabelecer a luminária utilizada para complementar à iluminação natural e iluminar o ambiente quando a luz natural for insuficiente.
- Escolha do tipo de lâmpada adequada à luminária - para melhor eficiência e para complementar a luz natural no ambiente - temperatura de cor da lâmpada .
- Escolha do reator da lâmpada(se for de descarga) que seja apropriado para a estratégia de controle e para o tipo de lâmpada empregada.
- Determinação do projeto de controle da iluminação elétrica que se ligará ao sistema de luz natural e artificial.

2.5.5 Zonas de Iluminação

A iluminação artificial deve ser projetada para complementar a iluminação natural e não somente para substituí-la. Para o melhor desempenho da iluminação artificial, o ambiente poderá ser dividido em zonas de iluminação com níveis de iluminâncias próximos, para que a iluminação artificial atenda a cada uma das zonas com acionamento independentes. Segundo Robbins (1986), a delimitação de zonas de iluminação diferenciadas, num mesmo ambiente interno, as quais são demarcadas de acordo com os níveis de iluminamento, podem representar áreas de análise que posteriormente influenciarão no desenho da iluminação artificial. Dentro de uma zona de iluminação, a razão entre a iluminância máxima e a iluminância mínima deverá ser sempre menor ou igual a 3:1, isto garantirá uma relação de contraste razoável. Esta recomendação poderá variar de acordo com a atividade visual que será desenvolvida na zona, nunca sendo superior a 9:1.

A definição das zonas está relacionada principalmente com a localização das aberturas, que determinarão a distribuição da luz natural no ambiente interno. No caso das salas de aulas, as aberturas unilaterais são mais comuns, empregadas com orientações variáveis. Este tipo de abertura fornece uma iluminação com índices maiores de iluminâncias nas áreas próximas à janela e valores menores nas áreas próximas a parede oposta.

Estudos realizados por Souza (2003) utilizando 63 modelos estudados com dimensões de largura fixa de 6m e profundidade variável de 4m a 10m, foram caracterizados por 3 tipos de iluminação (unilateral, oposta, adjacente) e simulados no programa computacional LuzSolar(Claro 1998), que permitiu identificar as zonas de iluminação de acordo com a disponibilidade de luz natural ao longo do ano. Souza(2003) demonstrou em suas simulações que a distribuição das zonas de iluminação é função do tipo de iluminação tendo a orientação da fachada principal e o tipo de janela uma pequena influência sobre o tamanho das zonas.

O procedimento para a determinação das zonas de Souza (2003) englobava a determinação das iluminâncias a cada hora (no período das 8:00 às 18:00hs) para cada parcela do plano de exame (75cm do piso). As zonas de cada hora simulada tiveram os seguintes limites: E_{min} (Iluminância Mínima); $3 \times E_{min}$., $9 \times E_{min}$.; $27 \times E_{min}$., $81 \times E_{min}$ e assim sucessivamente até atingirem a iluminância máxima do ambiente.

Definido o número de zonas de cada hora simulada e os limites das mesmas, ele atribuiu a cada parcela de plano de trabalho a identificação a qual zona a parcela pertencia em cada uma das horas simuladas, foi atribuída à parcela a zona que nela ocorreu com maior frequência.

Tomando como exemplo um modelo de 6m x 8m , as zonas de iluminação ficariam segundo a figura 2.20 de acordo com a distribuição proposta por SOUZA (2003):

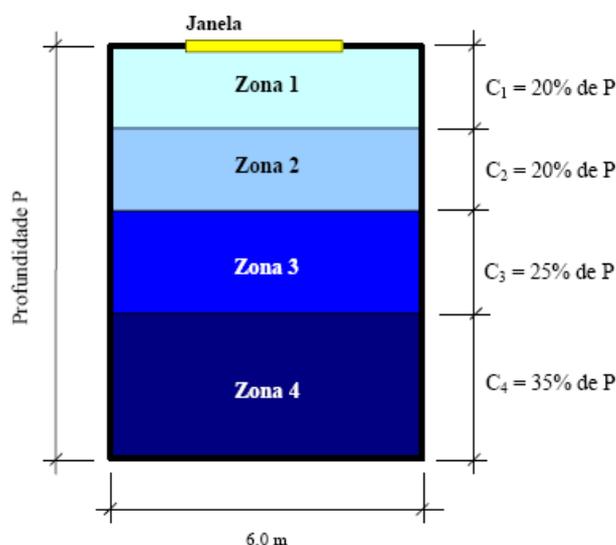


Figura 20 – Zonas de iluminação para modelo com abertura lateral (dados de SOUZA 2003).

Os modelos com iluminação unilateral foram divididos em 4 zonas de iluminação paralelas à parede das aberturas. As zonas tiveram seu comprimento definido como uma fração da profundidade do modelo. Realizando uma média de valores obtidos para todas as profundidades a configuração das zonas de iluminação pode ser observada de acordo com a figura 20. Neste modelo a variação de iluminância estaria entre 4050 lux a 50 lux. Neste caso, a divisão das zonas se daria da seguinte forma:

Zona 1 : de 1351 a 4050 lux

Zona 2 : de 451 a 1350 lux

Zona 3 : de 151 a 450 lux

Zona 4 : de 50 a 150 lux

Segundo Souza et all (2003), deve-se evitar a entrada de radiação solar direta dentro do modelo, porque os pontos que forem atingidos por ela terão altos níveis de iluminâncias que distorcerão os parâmetros de análise. Por isso, utilizou-se o artifício de que sempre que a média de iluminâncias ultrapassasse 3000lux, a simulação era refeita modificando-se as características dos vidros das aberturas de transparente para difuso.

Quanto maior o número de zonas, melhor será o controle da iluminação e maior a economia de energia. Porém os custos iniciais com a aplicação do projeto de iluminação artificial para todas as zonas torna-se maior, por isso é necessário

estabelecer um equilíbrio entre custos aplicação e manutenção, desempenho e redução de energia para executar o projeto de iluminação artificial.

2.5.6 Recomendações para elaboração de projeto de iluminação

Na elaboração do projeto arquitetônico, a preocupação com a iluminação é essencial para garantir a qualidade dos espaços e a satisfação dos critérios visuais correspondentes para cada tarefa. O projeto de iluminação tem por objetivo a integração harmoniosa dos seguintes elementos: o usuário, o ambiente e a fonte luminosa.

Durante o processo projetual deve-se abordar aspectos do desempenho visual (necessidades visuais do ser humano para a realização da tarefa); o conforto emocional e estética do ambientes(necessidades psicológicas em relação ao ambiente, critério não mensurável) e a eficiência do sistema (adequação econômica , integração com outros sistemas e viabilidade).

❖ Desempenho Visual:

- Iluminâncias médias e pontuais/horizontais e verticais;
- Distribuição de luminâncias das superfícies
- Contraste entre a tarefa e o fundo;
- Ofuscamento Direto ou Indireto;
- Modelagem: relação entre iluminâncias horizontais e verticais.

❖ Conforto Emocional e Estética do ambiente:

- Distribuição de luminâncias e cores das superfícies;
- Relação entre cor e intensidade das fontes luminosas;
- Índice de reprodução de cores adequada a qualidade do ambiente;
- Cores dos acabamentos de interiores adequados ao bem estar dos usuários.

❖ Eficiência

- Verificação do desempenho dos sistemas de iluminação
- Integração entre o sistema de iluminação natural e artificial;
- Escolhas dos componentes de controle e acionamento da iluminação;
- Verificação da potência instalado x tempo de funcionamento;
- Tipos de lâmpadas e luminárias.

De acordo com CORREA (1995), a partir dos critérios visuais, que devem ser estabelecidas nos ambientes escolares, pode-se traçar objetivos principais para a obtenção de um adequado ambiente lúminico:

- Conforto visual para tornar o interior em um lugar agradável;
- Dinamismo como fator de estímulo a nossos sentidos;
- Adequação às necessidades dos usuários e das atividades desenvolvidas;
- Flexibilidade em função da adaptação e da multiplicidade de atividades ou mudanças de funções;
- Minimização do consumo de energia elétrica.

Os edifícios escolares exigem características específicas de iluminação de acordo com a função de seus ambientes internos e atividades visuais a serem desenvolvidas.

Apesar das atividades visuais desenvolvidas em nas salas de aulas serem bastante diversificadas, as normas existentes estabelecem níveis de iluminância mínimos, atribuindo a leitura como atividade principal nestes espaços. Fato que merece uma pesquisa mais detalhada sobre a interdisciplinariedade das atividades visuais executadas em sala. A leitura por exemplo, que pode ser realizada em diferentes planos além de ocorrer simultaneamente a outras atividades também importantes, como a observação ao professor, a leitura do quadro, de um livro, a

percepção dos planos principais e adjacentes além da utilização de recursos áudios visuais que muitas vezes requerem níveis diferenciados de iluminação.

No Brasil a norma de iluminância de interiores NBR- 5413 , determina como valores médios para atividades em sala de aulas 300 lux no plano horizontal e de 500 lux para a área do quadro negro, no plano vertical.

Os valores de iluminâncias podem variar bastante com as normas técnicas de cada país. Abaixo segue um quadro com níveis de iluminamento recomendados por diferentes normas técnicas.

Tabela 2.3- Níveis de iluminamentos recomendados para iluminação de interiores.

Área	Atividade	NORMAS (VALORES EM LUX)				
		Brasileira ¹	Norte-Americana ²	Inglesa ³	Francesa ⁴	Alemã ⁵
Escolas	Salas de aula	200-500 lux	700 lux	300 lux	320 lux	250 lux
	Laboratórios	300-750 lux	1000 lux	500 lux	320 lux	500 lux
	Bibliotecas	200-500 lux	300-700 lux	300 lux	400 lux	500 lux

1- NB-5413 da ABNT, Iluminamentos de interiores;

2- IES, Illuminating Engeneering Society, New York

3- Association Française de L'éclairage (AFE). Recommendations relatives à l'éclairage interieur, 1971

4- DIN 5035, Innenraumbeleuchtung Mit Kunstlichem Licht, 1971

Fonte: Adaptado de MOREIRA, 1982.

O conforto visual dos alunos deve ser o objetivo principal do projeto de iluminação para salas de aula. Sabe-se que para alcançá-lo há variáveis que influenciarão no resultado final.

Além de suprir as normais de valores médios de iluminâncias é importante controlar os riscos de ofuscamento, principalmente no plano do quadro e das carteiras escolares.

A iluminação natural no interior do edifício provém do exterior e também da luz refletida nas superfícies interiores. Quanto maior for a refletância das superfícies maior será a iluminação; valores elevados desta refletância podem causar desconforto visual. No estudo da iluminação artificial, esses valores também devem ser avaliados. As recomendações estrangeiras apresentam indicações relativas aos valores de refletâncias a serem utilizados em superfícies em salas de aula.

As refletâncias internas sugeridas pela IESNA (1995) seguem na tabela abaixo:

Tabela 2.4 – Refletâncias Recomendadas.

Superfície	Refletância (%)
Piso	30 a 50
Parede	40 a 60
Teto	70 a 90
Quadro	Inferior a 20
Tarefa	35 a 50

Fonte: IESNA, 1995.

2.6 ATIVIDADES VISUAIS EM SALAS DE AULA

Nas salas de aula, as diferentes atividades visuais desenvolvidas requerem um tipo ou níveis de iluminação diferenciados que devem suprir as expectativas dos usuários em relação a esta iluminação. Estas atividades podem ser relacionadas e analisadas de acordo com suas prioridades e frequências.

2.6.1 Tipos de atividades visuais

Dentre as atividades visuais que ocorrem em salas de aula destaca-se:

Leitura

A atividade de leitura em salas de aula pode ser desenvolvida em diferentes planos: no plano horizontal sobre a carteira escolar, no plano vertical, na leitura do quadro negro e/ou de painéis.

As superfícies dos planos visuais podem conter variações dos índices de refletâncias devido as diferentes propriedades dos materiais empregados, como cor, textura, tipo de papel e outros. Essa atividade geralmente acontece simultaneamente à escrita, a observação e a variação de distâncias do observador ao alvo a ser lido.

Escrita

A escrita geralmente ocorre no plano horizontal, na carteira escolar ou no plano vertical na escrita no quadro. As superfícies visuais, assim como na leitura, também podem apresentar diferentes níveis de refletâncias, tanto em relação ao papel como em relação à caneta, lápis ou pincel utilizado para a escrita.

Esta atividade pode ocorrer paralelamente à leitura, como também somente na a adaptação visual do alvo a ser observado.

Atividades no quadro

A leitura do quadro constitui o principal plano vertical de uma sala de aula. Dependendo da posição do observador pode estar em seu entorno próximo ou remoto. Pode apresentar dificuldades na execução das atividades visuais causadas por reflexões sobre o plano visual e os contrastes com as superfícies adjacentes. Segundo CORREA(1995) os aspectos relativos à visibilidade do quadro podem ser descritos em dois tipos:

Quadro negro:

- Contraste com as superfícies adjacentes claras;

- Utilização de caracteres claros;
- Superfícies lisas que podem apresentar reflexões;
- Baixo índice de refletância;
- As reflexões apresentam manchas claras no fundo escuro.

Quadro claro (branco):

- Contrastes menores com superfícies adjacentes;
- Utilização de caracteres coloridos;
- Superfície especular;
- Elevado índice de refletância;
- As reflexões apresentam manchas brilhantes no fundo branco.

Outro aspecto bastante importante é o tamanho e a posição do quadro na sala, pois poderão ocorrer reflexões que atrapalhem os alunos sentados nas laterais opostas a janelas. Estas reflexões, geradas tanto por fonte natural como artificial ,são o principal problema de visibilidade do quadro, acarretando em desconforto visual para seus observadores.

Para minimizar este tipo de reflexões empregam-se proteções nas janelas e/ou nas luminárias. O que pode representar na utilização de um sistema suplementar para atingir os níveis de iluminação adequados; no caso da diminuição da luz natural na sala de aula.

Desenho

O desenho é uma atividade que pode ser desenvolvida no plano horizontal e inclinado.As ferramentas utilizadas como papéis , lápis, pincéis, aquarelas podem apresentar também variações de cores, texturas e refletâncias. Necessita de uma boa acuidade visual para a precisão dos detalhes e de rendimento de cor.

A direção da iluminação é especialmente importante quando se observa objetos tridimensionais. As sombras ajudam a definir as formas dos objetos.

Materiais áudio - visuais: transparências, slides, vídeos.

Estas atividades realizam-se no plano vertical e podem apresentar grandes variações de refletâncias, cor, brilho combinados à mudança de imagens que constituem o movimento da cena visual.

Assim como as outras atividades visuais desenvolvidas em salas de aula, ocorrem simultaneamente com outras como a leitura, escrita e a observação do professor. O contraste entre a luz incidente nas imagens projetadas e a luz da sala deve ser controlado para evitar ofuscamento ou fadiga visual. O emprego de uma iluminação indireta, com níveis mais baixos que a iluminação geral poderia amenizar este contraste. A utilização de uma iluminação periférica refletida pode ser uma alternativa.

As atividades visuais descritas acima muitas vezes exigem níveis diferenciados de iluminação; por isso o bom projeto luminotécnico pode além de atender os índices das normas, ser flexível às demandas das atividades visuais, oferecendo assim, um maior conforto aos seus usuários.

Conferências

Em aulas expositivas temos o foco visual vertical no professor, o qual pode apresentar-se em movimento ou estático(a maior parte do tempo). Desta forma o rosto humano se torna o foco central do campo visual. Sua percepção requer alta quantidade de iluminação para a visualização dos detalhes, assim como os contrastes e a cor.

“Uma iluminação moderadamente direcional é preferível do uma iluminação uniforme. A direção da iluminação não deve coincidir com a direção da visão. A luz lateral da janela é adequada para esse tipo de atividade, entretanto causa reflexões no quadro e/ou display.” (CORREA,1995). Nestes casos recomenda-se uma iluminação suplementar localizada no quadro para diminuir o contraste.

2.7 MÉTODOS COMPUTACIONAIS

O avanço tecnológico nas últimas duas décadas permitiu uma grande mudança na forma de representação dos projetos por parte de arquitetos, engenheiros e designers. Com a representação gráfica em 3D, a visualização dos projetos tornou-se mais detalhada e real. Estas simulações podem ser utilizadas em diversas áreas da tecnologia, como na fabricação de protótipos, implantação de sistemas, maquetes eletrônicas como suporte no desenvolvimento de realidades visuais, assim como em simulações de iluminação para edifícios como um todo.

Quando se pretende trabalhar com programas de computação gráfica para simulações, é necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos dos programas; como a base de dados que utilizam, os tipos de mecanismos de renderização e se os resultados que se deseja alcançar nas simulações finais são oferecidos por estes mecanismos.

A comparação e a validação dos softwares são importantes para avaliar seu desempenho, MOECK (1998) e HOUSER (1999) realizaram pesquisas com o intuito de validar softwares. MOECK (1998), em seus estudos com sistemas de persianas prismáticas utilizou o software Radiance comprovando a sua eficácia. HOUSER (1999) desenvolveu pesquisas para validar a precisão de 2 ferramentas computacionais: Lightscape e Radiance.

Basicamente existem dois algoritmos de cálculo empregados nos softwares de simulação de iluminação: o método *raytracing* e o *radiosity* (radiosidade).

Um dos primeiros algoritmos de iluminação desenvolvido e conhecido foi o *raytracing*. Segundo Claro (1998) este método pode ser traduzido como a perseguição ao raio, utilizando o conceito no qual o observador vê em um ponto de uma determinada superfície e o resultado da interação desta superfície neste ponto de vista com os raios oriundos diretos da fonte de luz ou através da reflexão e refração destes raios na incidência sobre outras superfícies.

Segundo alguns autores (HERBORG, P. et al.), o método *raytracing* básico não é realmente um método global da iluminação, pois o mecanismo da luz é somente local; entretanto, examina múltiplas fontes de luz do espectro: reflexões, refrações, etc. Os resultados são cenas extremamente impressionantes, porém

fáceis de enganar um observador desatento, o que pode gerar erros nas interpretações dos resultados finais.

O método da radiosidade baseia-se em um cálculo matricial de interações sucessivas até que se atinja um equilíbrio (pequena variação pré-estabelecida) no balanço de energia radiante no interior do ambiente. De acordo com isso, a luz que sai de uma superfície (radiosidade) é resultado da luz incidente que é refletida ou transmitida e da própria luz emitida. Entretanto, o somatório da luz que atinge uma superfície é resultado de relações geométricas (fator de forma) entre todas as superfícies refletoras e transmissoras, e da própria luz que deixa todas as outras superfícies (Cohen et al., 1985). A maior dificuldade do método é o cálculo do fator de forma que deve ser calculado para cada parcela receptora em relação a todas as outras emissoras (CLARO, 1998).

Este método considera as superfícies sendo difusas com luminâncias uniforme. Consiste na divisão inicial das superfícies em pequenas áreas e calcula a quantidade de luz distribuída da fonte para cada uma dessas áreas, e a reflexão destes elementos em si. “As superfícies refletem a luz igualmente em todas as direções e métodos iterativos são responsáveis pelo cômputo final dos níveis de iluminação.”(LIGHTSCAPE, 1996)



Figura: 2.21 : Exemplo de um ambiente hipotético simulado com o mecanismo de renderização: (a) Raytracing e (b) Radiosity.

Fonte: BARACHO, 2004

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa para atingir ao objetivo avaliar duas propostas do sistema de iluminação suplementar ao sistema de iluminação natural em sala de aula padrão pode ser dividida em três etapas principais: o levantamento *in loco* da sala de aula padrão da rede municipal de Florianópolis para a construção da maquete eletrônica empregada nas simulações, a determinação das zonas de iluminação para estabelecer a inserção das fontes de iluminação artificial, as simulações computacionais dos sistema de iluminação natural e artificial suplementar propostos.

Primeiramente, no levantamento investigativo junto à Secretaria de Obras da prefeitura Municipal de Florianópolis, foi definido o objeto de estudo, a sala de aula padrão como modelo para o desenvolvimento da pesquisa. Após a definição do modelo, o levantamento *in loco* permitiu a conferência das características espaciais da sala com as do projeto fornecido pela Secretaria Municipal.

A sala de aula padrão escolhida como modelo apresenta aberturas unilaterais, ocorrendo iluminâncias mais elevadas nas áreas adjacentes às janelas e zonas menos iluminadas junto às paredes opostas. De acordo com a distribuição da luz natural no modelo, foram determinadas zonas de iluminação baseadas em zonas estimadas por SOUZA (2003) que influenciaram na disposição das fontes artificiais de iluminação propostas.

As propostas têm um novo sistema de iluminação para a sala de aula padrão baseada na redistribuição dos pontos de iluminação artificial, conjuntamente com o emprego de novos tipos de luminárias e lâmpadas para permitir a suplementação da iluminação natural e o desenvolvimento das atividades visuais. O contraste de luminâncias em alguns pontos determinados para a observação do equilíbrio dos valores com a presença da luz natural e artificial também foi realizado.

3.1.1 Delimitação do Objeto de Estudo

Na edificação escolar a sala de aula é o ambiente no qual os alunos passam a maior parte do tempo enquanto estão na instituição escolar. Ela é utilizada durante os três períodos- matutino, vespertino e noturno- na maioria das escolas municipais. Nos dois primeiros períodos, a presença da luz natural pode fornecer uma boa iluminação para a execução das atividades visuais, podendo ser suplementada pela luz artificial em partes destes períodos. Já na parte da noite, a iluminação artificial substitui completamente a iluminação natural.

O objeto de estudo escolhido para a realização das simulações foi a sala de aula, devido a importância deste ambiente dentro do conjunto da escola, seja no nível fundamental, médio ou superior.

3.1.2 Escola Padrão

Atualmente a rede pública de Florianópolis utiliza de projetos padrões para a implementação das escolas, com o objetivo de otimizar custos, dinamizar o canteiro de obras e construir o maior número de sala de aula e a crescente demanda.

O projeto padrão foi elaborado no segundo semestre de 2005, com escolas de até 30 salas. Até o início de 2006, não se encontrava nenhuma escola padrão do novo projeto concluída, por isso se utilizou do projeto instituído desde 2001, de configuração bastante semelhante ao padrão atual. Os dois projetos apresentam salas de aula com iluminação unilateral para o pavimento térreo e bilateral para o primeiro pavimento. As dimensões das salas, variam de 6,95m x 6,95m para os projetos de 2001, à 8,10mx6,20m para salas projetadas em 2005.

De acordo com a figura 3.1, pode-se observar a disposição das salas de aula no pavimento térreo, com circulação vertical através de rampa central, no projeto padrão utilizado até 2005.

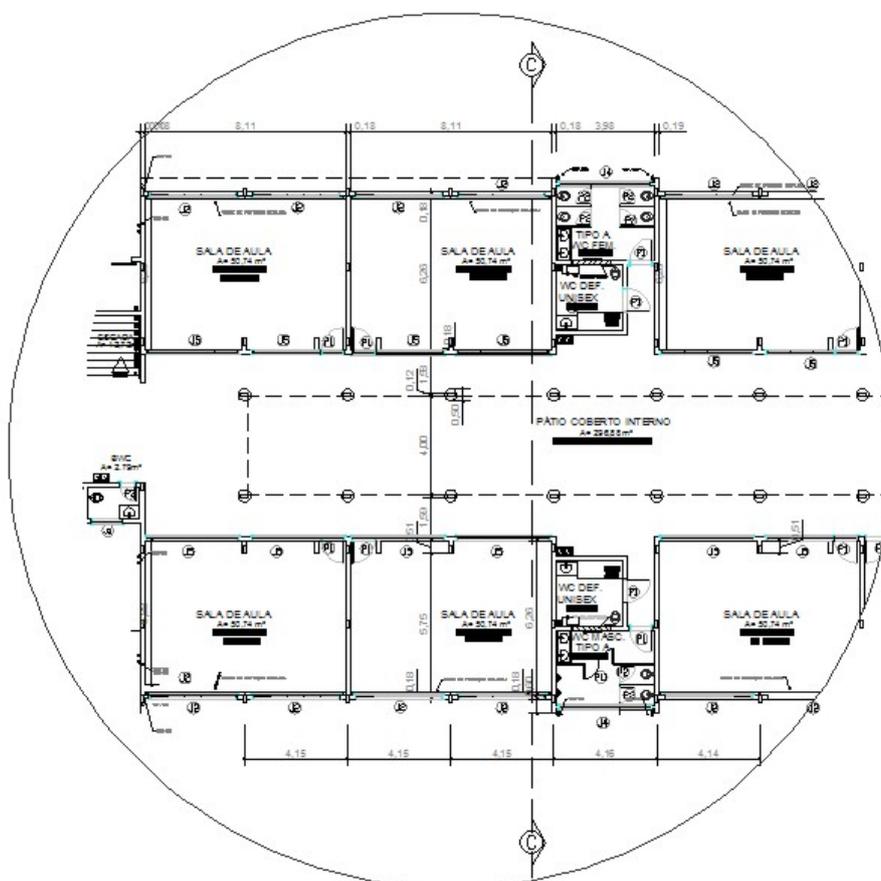


Figura 3.1 : Escola Padrão-projeto de 2001 - Planta Baixa Pavimento Térreo.
Fonte: PMF, 2001.

Os projetos padrões são implantados em todo município, tendo sua organização espacial determinada em função do terreno, ou seja, a determinação da disposição da planta e orientação das salas depende da forma do terreno adotado.

A maior dificuldade segundo a Arq. Cíntia de Queiroz, funcionária da secretaria de obras, está em achar os terrenos disponíveis com as dimensões máximas, principalmente na região insular devido a crescente especulação imobiliária com a supervalorização dos terrenos; torna-se cada vez mais difícil encontrar áreas bem localizadas, com acessos facilitados para os alunos a preços acessíveis.

3.1.3 Sala de Aula Padrão

O modelo empregado nas simulações foi a sala de aula de dimensões : 6,95metros x 6,95 metros e 3,0 metros de pé direito, localizadas no pavimento térreo. A luz natural penetra na sala através das janelas unilaterais que ocupam praticamente toda a extensão da parede, apenas com um intervalo de 15cm entre elas, de acordo com as figuras 3.2 e 3.3.

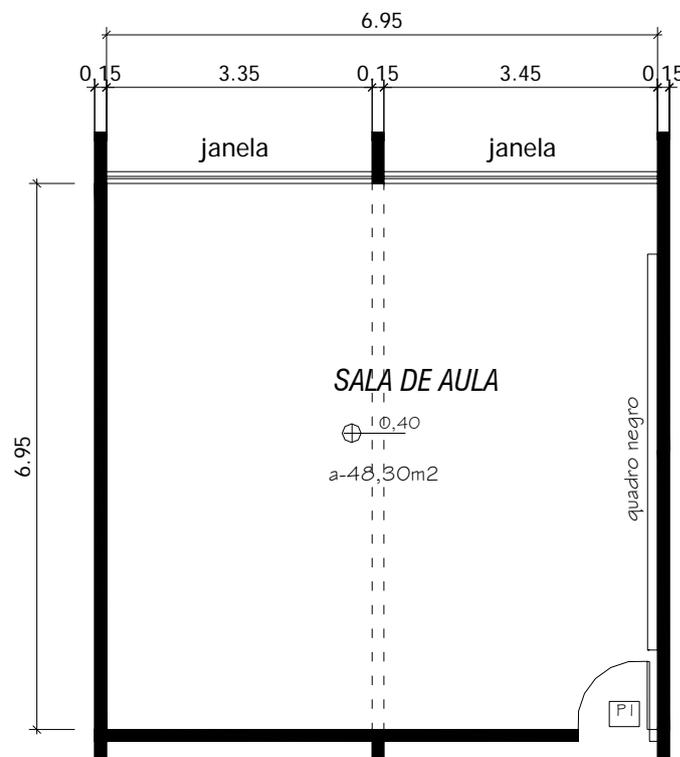


Figura 3.2 :Sala de Aula Padrão - Planta Baixa .
Fonte: PMF, 2001.

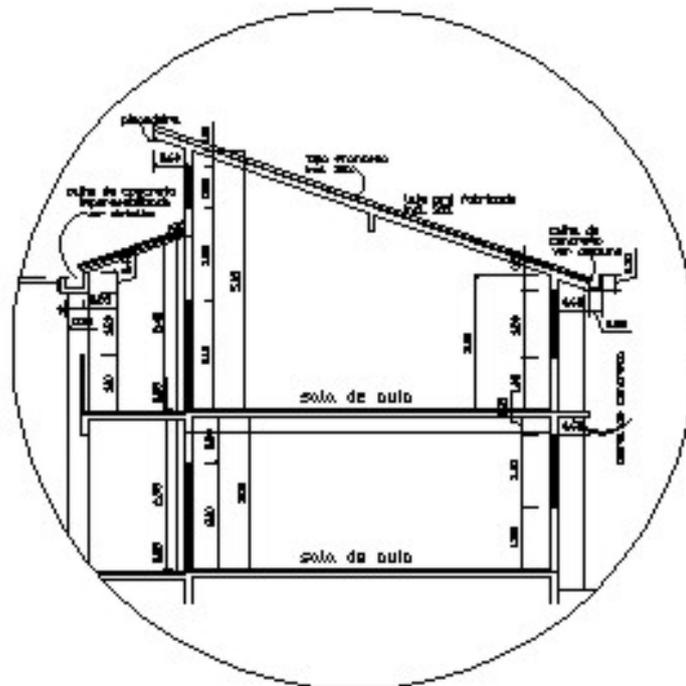


Figura 3.3 :Sala de Aula Padrão - Corte.
Fonte: PMF, 2001.

3.2 ESCOLHA DO SOFTWARE

O método computacional foi escolhido para a análise da iluminação natural e artificial devido a maior facilidade na obtenção de dados em diferentes situações. A iluminação natural, por exemplo, pode ser simulada em diferentes horários, e períodos do ano, na condição de céu desejada. Além disso, os dados são obtidos com maior rapidez se comparado com os medidos *in loco*.

Em relação a simulação da iluminação artificial, a dificuldade modelar em escala reduzida lâmpadas e luminárias, acaba levando à utilização de simulações computacionais.

Para aplicar a metodologia buscou-se inicialmente um software que simulasse a luz natural e artificial em diferentes situações e de maneira conjunta.

A primeira opção a ser testada foi o *Desktop Radiance 2.0*, uma versão do *Radiance* para a plataforma *Windows*, trabalhando dentro do *AutoCad*. Apesar de fornecer renderizações bastante realísticas da iluminação natural e artificial, houve grande dificuldade em manipular seus dados, mesmo com a utilização de seu manual. Segundo Cabús (1997) o *Radiance* é uma ferramenta bastante poderosa no estudo da iluminação natural, todavia, bastante complexo, de difícil manipulação. Os arquivos de ajuda e os tutoriais são uma dificuldade encontrada na execução da simulação.

Baracho e Silva (2004), que também testaram o *Desktop Radiance 2.0* afirmam que manual disponível na internet é deficitário: fornece apenas informações introdutórias, ficando o restante do processo de aprendizagem por ser descoberto ao longo da compreensão do programa.

Desta forma, outros programas foram levantados para a pesquisa entre eles o *Lumem Micro v. 6.0* e o *Lightscape v. 3.2*. Pelo fato do *Lightscape* realizar a simulação natural e artificial, mesmo que separadamente, e de permitir fácil manipulação, foi escolhido para ser adotado como ferramenta de simulação.

O *Lightscape* foi desenvolvido por *Lightscape Technology* de San Jose, Califórnia para fornecer imagens renderizadas de espaços iluminados artificialmente e com luz natural. O modelo dos dados de entrada é uma extensão *DWG*, *DXF* ou uma extensão do *3D Studio (3DS)*, que pode ser verificada para certificar se todas

as superfícies estão orientadas corretamente. O software opera em duas fases: a fase de preparação com arquivos com terminação *.lp* e a fase de solução com arquivos com terminação *.ls*. A fase de solução constitui-se apenas no resultado, ou seja, a simulação propriamente dita, não permitindo modificações no modelo. É através do arquivo *.ls* que se pode aplicar a renderização através do método ray tracing. As superfícies são tratadas como totalmente especulares ou totalmente difusas.

A atribuição dos materiais das superfícies pode ser feita através de um conjunto de materiais internos. Estes, são categorizados de acordo com o tipo de superfície (parede, assoalho etc.).

Após configurar o arquivo de projeto (*.lp*), com os parâmetro de materiais, localização, horários ou tipo de luminárias, fotometrias, e outros; gera-se um arquivo de solução (*.ls*), onde a partir daí, será calculada a iluminação no ambiente e executada sua renderização.

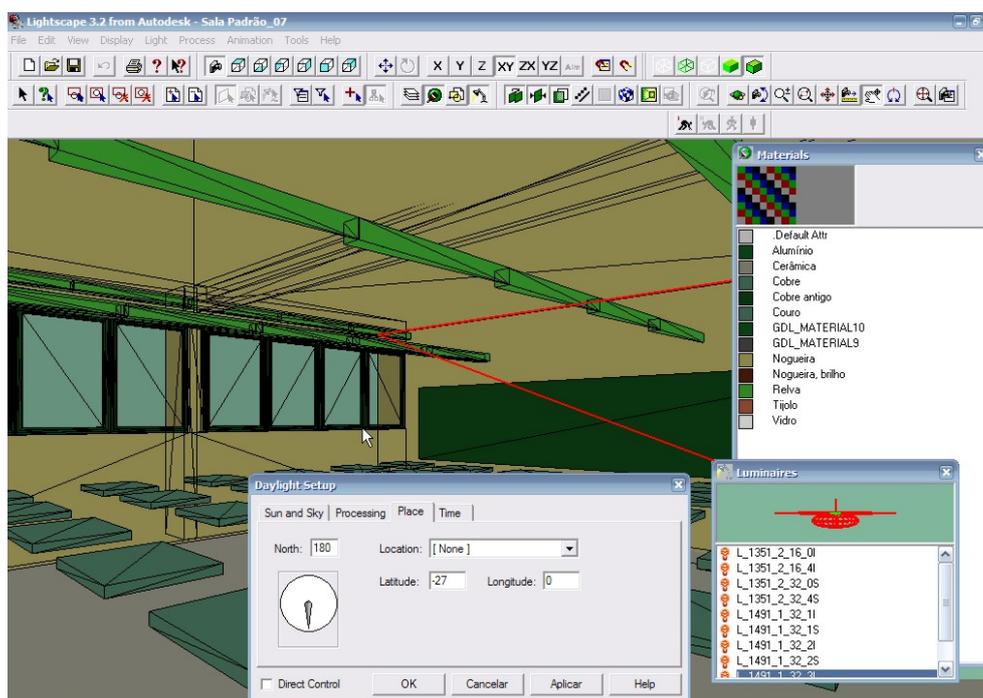


Figura 3.4: Imagem do arquivo de preparação (*.lp*) com janelas abertas de materiais, luminárias e Daylight Setup.

Fonte: Lightscape v. 3.2

3.2.1 Preparação do Modelo

Para iniciar as simulações no programa Lightscape foi necessário a execução de um modelo em 3D da sala de aula padrão. Este modelo foi elaborado no programa ArchiCad 6.5 (versão estudante) e depois exportado para o Lightscape com extensão .3ds.

As características físicas da maquete eletrônica foram baseadas nas plantas baixas e cortes fornecidas pela Secretaria de Obras, além do levantamento *in loco* de características comuns das salas; como por exemplo, o posicionamento do quadro, tipos de luminárias e cores empregadas.

O modelo em 3D foi empregado tanto para a iluminação natural quanto para a artificial. Os parâmetros adotados das características das superfícies dos materiais foram baseados em levantamento realizado por Kremer (2003), que empregou o mesmo modelo de sala para simulação de iluminação natural. Os índices de refletância foram calculados em razão das medições *in loco* dos valores de luminâncias e iluminâncias, com o intuito de aproximar ao máximo as simulações, da situação real encontrada.

Tabela 3. 1 : Características das superfícies do modelo simulacional.

Superfície	Material	Transparência	Cromacidade (H)	Saturação (S)	Valor (V)	Refletância média
Parede amarela	Pintura semi-brilho	0,0	55	0,45	0,55	0,55
Vidro	vidro	0,8	0	0,00	0,80	0,80
Piso	cerâmica	0,0	55	0,10	0,47	0,47
Teto	Pintura semi-brilho	0,0	0	0,0	0,68	0,68
Quadro-negro	Pintura fosca	0,0	130	0,80	0,11	0,11
Carteira	Pintura brilhante	0,0	150	0,38	0,38	0,38
Janela	Metal	0,0	130	0,80	0,25	0,25

Fonte: Adaptado de KREMER (2003).

O programa fornece uma lista de materiais cujos parâmetros podem ser alterados pelo usuário. A cor é uma das propriedades a serem selecionadas que influenciará na reflexão das superfícies, seus componentes de definição são: a

Cromacidade, Saturação e o Brilho (valor). Este último controla a quantidade de luz refletida e absorvida pela superfície.

3.2.2 Malha de pontos

Para medir as iluminâncias de cada simulação de maneira padrão, foi estipulada uma malha de medição envolvendo 49 pontos dispostos em 7 linhas e 7 colunas de acordo com a figura 3. 2.

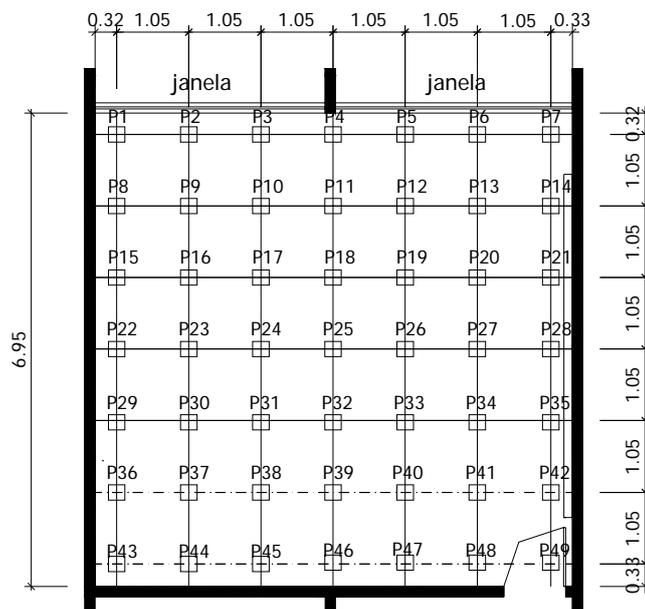


Figura 3. 5: Malha de pontos de medição.

Em todas as simulações foram medidas as iluminâncias médias nos pontos, a 75 cm de altura, que simulavam uma superfície de trabalho. Os valores obtidos na malha de pontos foram repassados em forma de planilha para o programa Excel que possibilitou a geração de gráficos para as análises.

3.3 ZONAS DE ILUMINAÇÃO

De acordo com os modelos de salas simulados por Souza (2003) com iluminação unilateral, há a ocorrência de quatro zonas de iluminação paralelas à parede que contém a janela. (ver figura 2.21). Para este tipo de iluminação, a orientação da fachada principal terá pequena influência sobre o tamanho das zonas (variação máxima de 5% da profundidade).

A delimitação de zonas de iluminação para o modelo de sala padrão foi relevante para analisar o desempenho da iluminação artificial existente e elaborar a proposta do novo sistema de iluminação.

Baseado na divisão determinada por Souza (2003), foi estipulada a junção de zonas de duas zonas reduzindo o número de zonas de 4 para 2, obedecendo a proporção do autor. A primeira zona, junto à janela que corresponderia as Zonas 1 e 2 da distribuição feita por Souza (2003) e a segunda, englobando a área menos iluminada, equivalente as zonas 3 e 4. Resultando na proporção de 40% e 60% da profundidade da sala (P), conforme a figura 3.3.

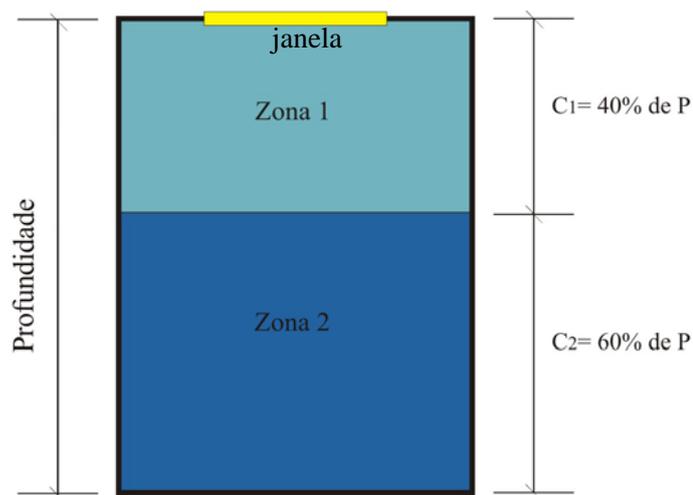


Figura 3.6 – Zonas de Iluminação para modelo padrão com abertura lateral baseado no modelo de SOUZA (2003).

A redução do número de zonas para o estudo foi estipulada considerando os custos iniciais para a aplicação de iluminação artificial diferenciada para cada zona,

visto que quanto maior o número de zonas eleva-se os gastos com circuitos, acionamentos e manutenção.

Além disso, visualmente o usuário observa facilmente a diferença entre duas zonas principais, a da área mais clara próxima à janela e da mais escura na direção oposta, enquanto que a divisão entre as Zonas 1 e 2 e as zonas 3 e 4 pode passar despercebido ao olhar do usuário.

Seguindo a proporção de 40% e 60% para cada Zona, as zonas para o modelo padrão foram divididas e partir delas a iluminação artificial será estipulada. Esta não precisa necessariamente estabelecer uma iluminação uniforme, deve considerar a distribuição gradativa da luz natural fornecida pela abertura unilateral.

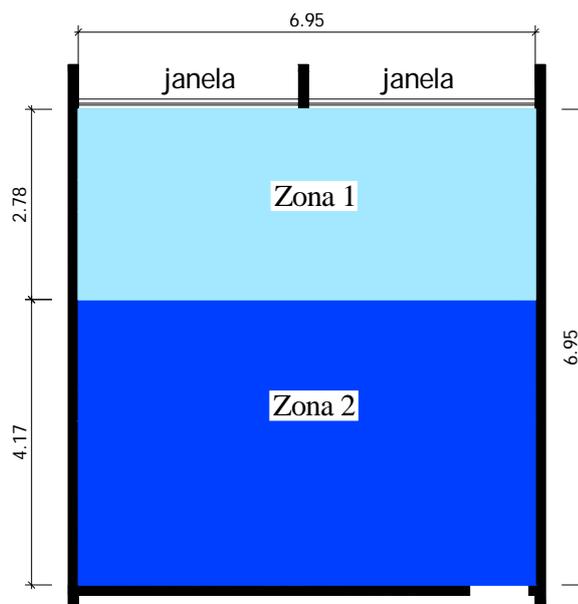


Figura 3.7 - Divisão de zonas da sala de aula padrão.

3.4 SIMULAÇÕES DA ILUMINAÇÃO NATURAL

A simulação computacional da iluminação natural foi necessária para avaliar os valores de iluminâncias e luminâncias presentes no ambiente. Através da

simulação foi possível quantificar os níveis de iluminâncias e observar se estes fornecem iluminação suficiente para as atividades requeridas na sala de aula. Parâmetros padrão foram estipulados para todos os horários de medição da luz natural e a partir deles geradas as simulações no programa Lightscape.

3.4.1 Orientação

O modelo padrão de sala de aula ,quando implantado, tem sua orientação variável em função da geometria do terreno e da adequação do projeto a ele, muitas vezes desconsiderando as variáveis ambientais. Fato que contribui para a implantação de salas com orientações desfavoráveis, contrariando as próprias recomendações do Decreto nº 30.436, que regulamenta as construções para estabelecimentos de ensino no estado de Santa Catarina, o qual dispõe sobre a orientação das salas de aula, bibliotecas e similares: “[...] *não tenham suas aberturas externas voltadas para o sul, nem situadas na face da edificação que faça ângulo menor que 45º com a direção leste-oeste.*” (SANTA CATARINA 1986, Art. 15, Seção I).

Neste trabalho, em virtude da variedade de orientações das salas, optou-se padronizar as simulações com a orientação Norte, mais adequada para as salas de aula em virtude da geometria solar e da possibilidade de sombreamento das aberturas.

3.4.2 Condição de céu

De acordo com Souza (2004) o céu de Florianópolis é bastante dinâmico, devido a constante presença de massas de ar frio que alteram a condição de céu. Souza realizou medições durante janeiro de 2002 e dezembro de 2003 através de

uma Estação de Medição de Iluminação (EMIN Floripa), chegando aos resultados observa-se na tabela 4.

Amaral (1999), também realizou medições do céu de Florianópolis, durante 1994 a 1997. Apesar de utilizar índices de claridade (ϵ') diferente de Souza (2004), ambos chegaram ao mesmo tipo de céu de maior ocorrência em percentagem:

Tabela 3.2 - Classificação de céu de Florianópolis segundo Amaral (1999) e Souza (2004).

Céu	Amaral		Souza	
	ϵ'	Percentagem (%)	ϵ'	Percentagem (%)
Claro	$\geq 6,0$	11,0	$\geq 5,0$	26,8
Intermediário	1,2-6,0	37,6	1,2-5,0	34,9
Encoberto	1-1,25	51,3	1-1,2	38,3

Fonte: Souza (2004), p. 250.

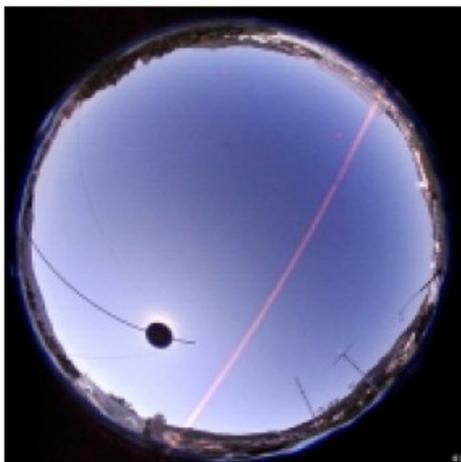


Figura 3.8 - Fotografia de céu sob condição de céu claro. Data: 29 janeiro, 9:00 HSV.
Fonte: Souza (2004), p. 68

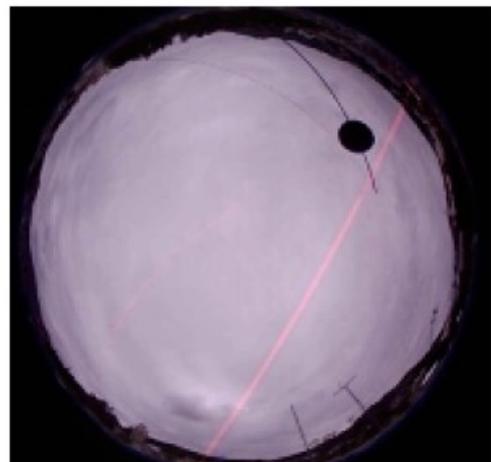


Figura 3.9 - Fotografia de céu sob condição de céu encoberto. Data: 18 fevereiro, 9:00 HSV.
Fonte: Souza (2004), p. 68

Percebe-se uma pequena variação entre o céu encoberto e o intermediário nos resultados obtidos por Souza (2004) e uma relevante diferença entre os dois tipos de céu nos resultados de Amaral (1999).

Para as simulações da luz natural, foi utilizado o céu encoberto que se apresenta predominante das duas pesquisas. Além disso, evitaria a obtenção de valores discrepantes de iluminâncias no plano de trabalho causados pela incidência direta dos raios solares.

3.4.3 Parâmetros para luz natural

Após a preparação do modelo, seguindo os critérios da tabela 3.1, os parâmetros para a simulação da luz natural adotados para o Lightscape foram:

Tabela 3. 3 : Daylight Setup.

Condições de Céu	Encoberto
Orientação	Norte
Localização	<i>27° sul 48° oeste</i>
Horário	10:00hs e 17:00hs
dia	21
mês	Dezembro e Junho

3.5 SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A simulação da iluminação artificial se divide em duas etapas: a primeira, composta pelo levantamento do sistema de iluminação existente e simulação do mesmo, e a segunda com a simulação da proposta de iluminação suplementar a iluminação natural existente.

Para realizar a simulação da iluminação artificial é necessário fornecer a fotometria da luminária, bem como a quantidade do fluxo luminoso. Estes parâmetros são definidos com a inserção do arquivo .ies (ver figura 3.8).Após a

inserção do bloco de luminárias é preciso selecionar o arquivo de sua curva fotométrica e intensidade do fluxo luminoso. No programa Lightscape o arquivo pode ser inserido através das propriedades da luminária de acordo com a figura 3.10:

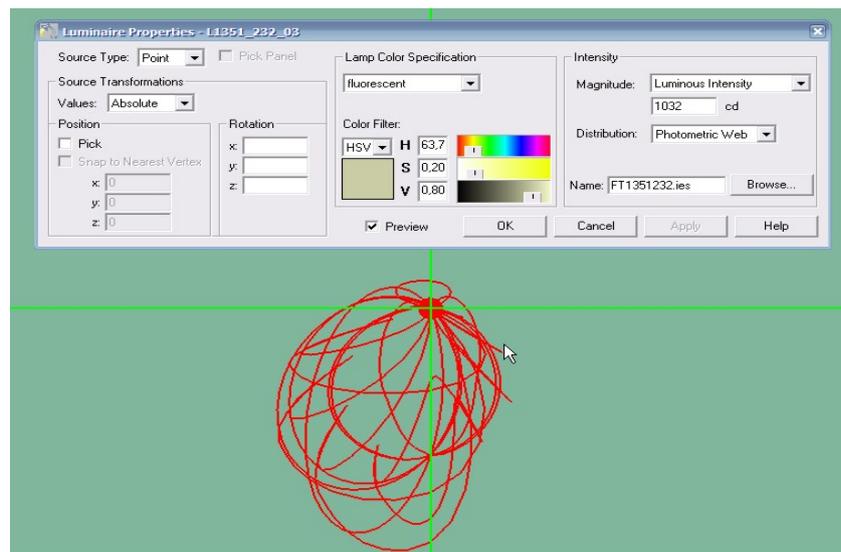


Figura 3.10 – Imagem Lightscape-Fotometria de luminária direta assimétrica.

3.5.1 Sistema de Iluminação Artificial Existente em Sala de Aula Padrão

Atualmente o sistema de iluminação artificial existente garante os níveis de iluminação suficiente recomendados pela norma 5413 para as superfícies de trabalho, dispondo uniformemente dos pontos de iluminação e atuando independente do desempenho do sistema natural.

O sistema de iluminação artificial existente é caracterizado por uma iluminação geral, composta por luminárias simples com curvas de distribuição diretas. Cada luminária possui 4 lâmpadas fluorescentes de 40W, não havendo presença de aletas, dispositivos que poderiam diminuir o ofuscamento direto.

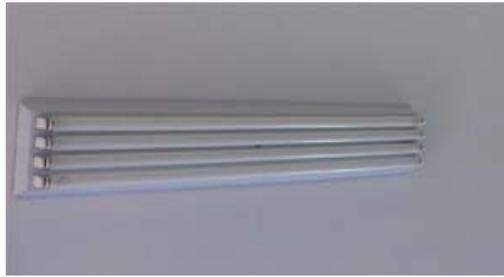


Figura 3.11 –luminária existente em sala de aula padrão.

As seis luminárias de teto estão distribuídas em três circuitos, com comandos que acionam duas luminárias por vez, no sentido perpendicular à janela. A localização e o acionamento das luminárias não consideram a maneira com que luz natural penetra no ambiente, funcionando de maneira independente.

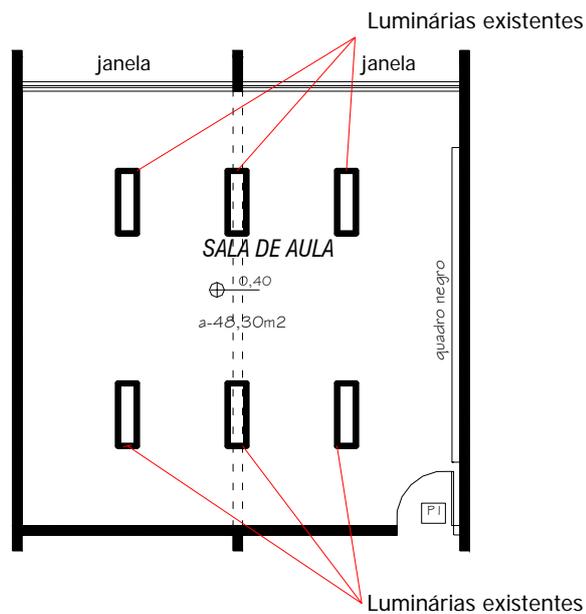


Figura 3.12 – Planta baixa com localização das luminárias de teto existentes.

A iluminação local existente para o quadro negro está representada por luminárias também de distribuição direta de fluxo luminoso. De acordo com a figura 3.7, percebe-se que as luminárias estão fixadas na parede e direcionadas maneira perpendicularmente ao quadro, o que pode causar ofuscamento direto e indireto para os alunos sentados à frente.



Figura 3.13 – Luminárias existentes localizadas para quadro negro.

3.6 Sistema de Iluminação Artificial Proposto

A proposta de iluminação artificial para a sala de aula baseia-se na complementação à iluminação natural existente, considerando a maneira com que a luz penetra no ambiente, seus componentes e elementos de controle.

Foram elaboradas duas propostas de sistema de iluminação artificial para a sala de aula padrão, nos quais se encontram diferentes tipos de iluminação artificial como: iluminação geral, local, localizada e direcional.

As duas propostas determinam uma nova distribuição dos pontos da iluminação artificial, a partir da distribuição da luz natural fornecida pelas aberturas da sala, observando-se as zonas de iluminação estabelecidas para o tipo de iluminação natural presente.

No caso da sala de aula em estudo, identificou-se a iluminação unilateral como tipo de sistema de iluminação natural, o que possibilitou a divisão de duas zonas de iluminação, de acordo com a adaptação feita das zonas estabelecidas por Souza (2003) – ver ítem 3.2.

Não somente as zonas de iluminação, mas também o layout padrão da sala (quadro na parede lateral e carteira disposta em linhas e colunas à frente) foi considerado para o posicionamento dos pontos de luz e acionamentos.

3.6.1 Proposta 1 de Iluminação Artificial Suplementar

O sistema de iluminação da proposta 1 busca produzir uma iluminação menos uniforme e mais próxima do efeito da luz natural, por isso foram empregadas luminárias com iluminação direta e assimétrica, onde o fluxo luminoso é direcionado para o eixo lateral. Neste caso, empregou-se uma fotometria de uma luminária existente, da marca Lumini (ver figura 2.17).

Estes tipos de luminárias fornecem uma iluminação oblíqua ao plano de trabalho, assim como a iluminação fornecida pelas aberturas laterais durante o dia. Elas foram posicionadas de acordo com as zonas de iluminação, paralelamente às aberturas, divididas em três circuitos, de seis luminárias cada.

Para a primeira proposta, a distribuição dos pontos está representada de acordo com a figura 3.11 :

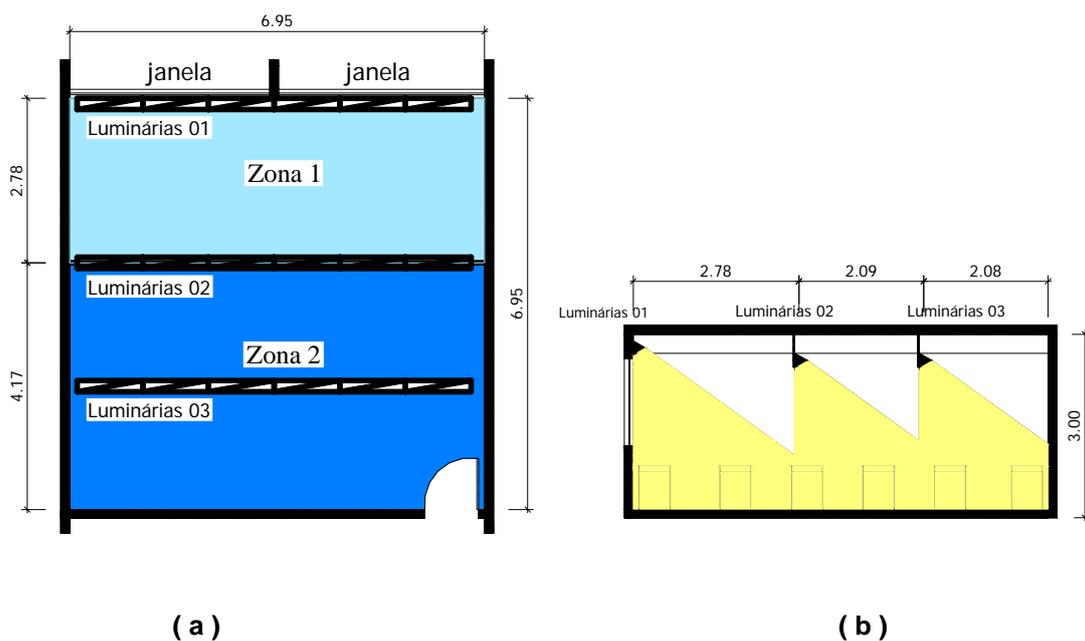


Figura 3.14 – Planta baixa (a) e Corte (b) com localização de luminárias.

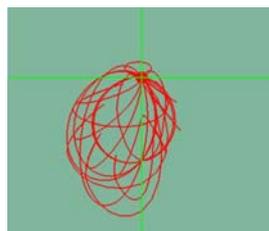


Figura 3.15 – Curva de distribuição das luminárias assimétricas.

As luminárias empregadas estão distribuídas em três circuitos (01, 02 e 03) que possuem acionamentos independentes. As luminárias que compõem o circuito 02 são compostas por uma lâmpada de 32 W, enquanto que os demais circuitos, compostos por luminárias com duas lâmpadas de 32W cada.

O objetivo principal é complementar a iluminação natural, acionando primeiramente os pontos localizados próximos da zona mais sombria e à medida que os níveis de iluminação decaíssem ao longo do dia, os demais circuitos fossem acionados até que todos estivessem ligados, nas horas finais do dia. Neste momento o sistema deve fornecer uma iluminação adequada para atender a demanda de iluminação no período noturno.

3.6.2 Proposta 2 de Iluminação Artificial Suplementar

Para a segunda proposta do sistema de iluminação artificial suplementar, a distribuição dos pontos de iluminação também segue as zonas de iluminação, apresentando-se em locais diferenciados da primeira, por apresentar uma iluminação direta e indireta. Neste caso, os tipos de iluminação artificial variaram entre geral e direcional e o emprego de luminárias entre indiretas, semi-indiretas e direta-indiretas.

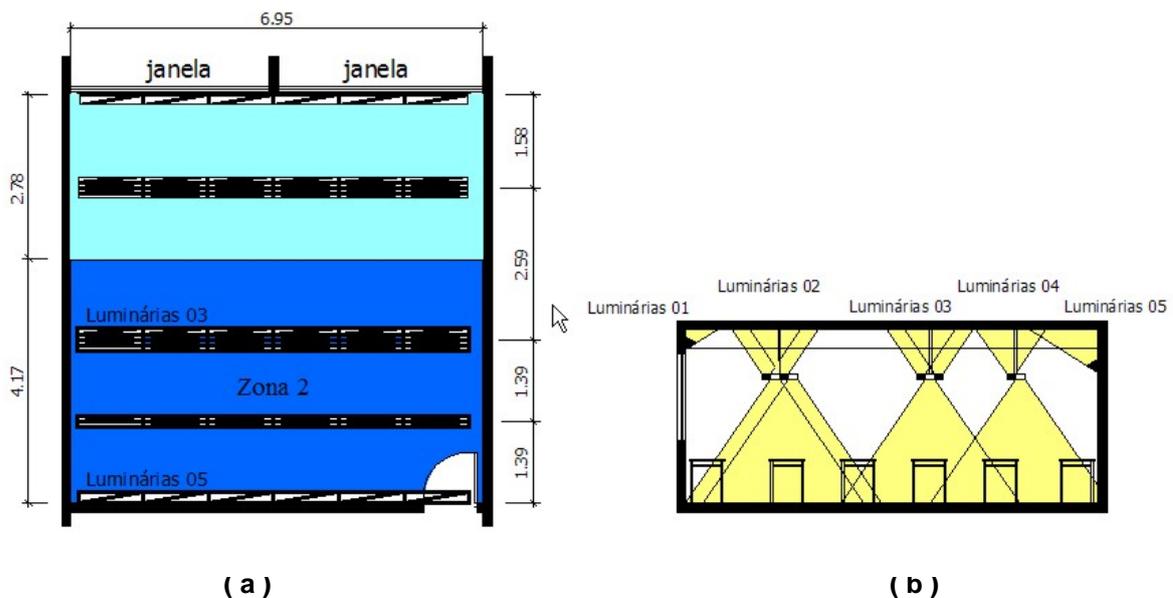


Figura 3.16 – Planta baixa (a) e Vista (b) com localização de luminárias.

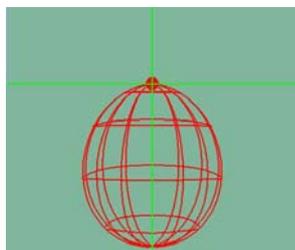


Figura 3.17 – Curva de distribuição das luminárias diretas.

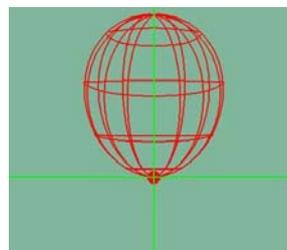


Figura 3.18 – Curva de distribuição das luminárias indiretas

O intuito é oferecer uma maior variabilidade na direção do fluxo luminoso, que ora pode ser voltado para o teto e ora voltados para a superfície de trabalho. Os comandos são individuais para cada alinhamento das luminárias, que variam de 01 a 05 e também divididos entre as luminárias diretas e indiretas. Assim, como na primeira proposta as luminárias são munidas de lâmpadas fluorescentes de 32W.

A variação dos tipos de disposição da iluminação artificial, conjuntamente com os tipos de luminárias (diretas, indiretas, diretas, assimétricas), possibilitou a iluminação de diferentes planos que compõem a sala de aula, como o teto e as paredes. Situação bastante diferente do sistema padrão de iluminação artificial, que basicamente ilumina os planos de trabalho através de luminárias diretas. O risco com a saturação dos níveis de iluminação e de ofuscamento torna-se maior com este tipo de iluminação.

Para a iluminação localizada no quadro negro foram empregadas o mesmo tipo de lâmpadas e luminárias nas duas propostas. Nos dois casos, forem utilizadas seis luminárias, diretas, com fluxo dirigido, compostas por duas lâmpadas fluorescentes de 32 W cada. Para as simulações do sistema de iluminação suplementar, não foram consideradas a iluminação fornecida para estas luminárias. Apesar na obtenção dos valores de iluminâncias a iluminação localizada foi acionada, para estabelecer as relações de luminâncias de acordo com o item 3.6.4 deste capítulo.

Após as simulações do sistema de iluminação artificial proposto, a comparação com os dados obtidos das simulações da luz natural foi realizada através da elaboração de gráficos representando os resultados em pontos da sala de aula.

3.7 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

3.7.1 Simulações

Tanto para as simulações da iluminação artificial como da iluminação natural, os valores de iluminâncias coletados das simulações foram medidos nos 49 pontos estabelecidos pela malha (figura 3.5) a 75cm de altura. Após isso, os dados obtidos foram organizados em forma de planilha, utilizando do software Excel. Posteriormente foram empregados no programa Surfer v. 5.0, que transformou os valores das planilhas em curvas de isolux – curvas que representam o mapeamento dos níveis de iluminâncias, expressas como curvas de contorno.

A utilização das curvas permitiu a visualização da distribuição da luz natural no ambiente nos horários determinados e da luz artificial de acordo com os circuitos acionados.

3.7.2 Níveis de iluminâncias

Após do mapeamento de iluminâncias pelas curvas de isolux, foi definido o limite dos níveis de iluminação com o objetivo de avaliar os níveis de iluminâncias. Para a definição dos limites da classificação, foi utilizada como base a norma de interiores (ABNT 5314) e a divisão elaborada por KREMER (2002) com algumas alterações.

A norma recomenda apenas que iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média. Cabús (1997) utilizou o limite entre 70% e 130% estabelecendo três zonas de classificação: insuficiente, suficiente e excessiva. Segundo Kremer (2002), a classificação em apenas três zonas acaba por vezes, sendo radical pois determinado ponto passa da zona suficiente para zona insuficiente ou ainda para a zona excessiva por uma variação de apenas um lux. Deste forma, ele obteve um classificação dividida em cinco zonas utilizando o critério de 70% a 130% para estipular zonas de transição inferior e superior de acordo com a tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Classificação das zonas por intervalo de iluminância.

Intervalo de iluminância (lux)	Zona	Classificação
0 a 299	Insuficiente	ruim
300 a 349	Transição inferior	regular
350 a 650	Suficiente	bom
651 a 1000	Transição superior	regular
Acima de 1000	excessiva	ruim

Fonte : KREMER (2002),p.68.

Para este trabalho, também se adotou a divisão de cinco zonas de classificação, todavia, empregando uma pequena variação, segundo a classificação de Kremer (2002), em relação a divisão dos intervalos de iluminância correspondentes da zona insuficiente, de transição inferior e suficiente.

Tabela 3.5 – Zonas de classificação por intervalos de iluminâncias.

Intervalo de iluminância (lux)	Intervalo	Classificação
< 250	Insuficiente	Não recomendada
250 a 300	Transição inferior	regular
301 a 650	Suficiente	bom
651 a 1000	Transição superior	regular
> 1000	excessiva	Não recomendada

A substituição da nomenclatura de zona de classificação para intervalo de classificação foi aplicada para evitar confusões com as zonas de iluminação definidas no item 3.3 deste capítulo durante as análises dos resultados.

3.7.3 Sistema de Iluminação Artificial Suplementar e Iluminação Natural

As simulações dos sistemas natural e artificial foram realizadas de maneira separada, já que o programa Lightscape não executa os dois tipos de iluminação

conjuntamente. Os parâmetros empregados seguiram os dos itens 3.3, 3.4 e 3.6 para realizar as simulações da iluminação natural, artificial existente e artificial proposta.

Para representar de maneira gráfica os dois sistemas de iluminação-natural e artificial- foram determinados 7 pontos de medição no centro do modelo- dentre os 49 pontos da malha - que representaram os índices de iluminâncias de acordo com sua distância da abertura lateral. De acordo com a figura 3.16, os pontos medidos foram P4, P11, P18, P25, P32, P39, P46. A linha de pontos escolhida representa a distribuição de iluminação natural na sala de aula, apresentando a mesma curva de distribuição de iluminâncias das outras linhas. (ver gráfico A.1 em anexo A). Os valores de iluminâncias obtidos foram resultados da média ponderada da área

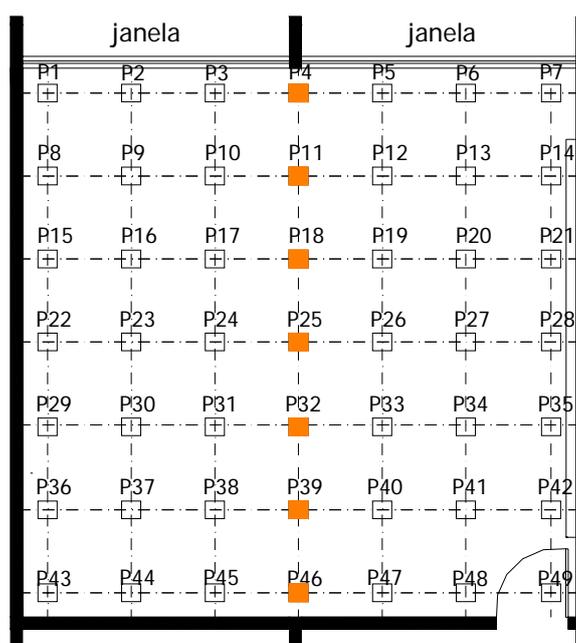


Figura 3.19 – Pontos de medição escolhidos para representação em gráfico.

Os dados coletados em cada ponto foram transformados em gráficos, representando as simulações feitas nos dois períodos – verão e inverno- para a iluminação natural e com os diferentes circuitos ligados para a iluminação artificial.

A obtenção dos gráficos com os valores dos dois tipos de iluminação conjuntamente, permitiu a comparação e o desempenho da curva de níveis de iluminâncias de linha representativa da sala de aula.

Para avaliar a iluminação artificial foi realizada a simulação com todas as luminárias acesas, já que estas estão divididas em circuitos perpendiculares às janelas.

Nas simulações da iluminação artificial, para a proposta 1, com luminárias assimétricas, o acionamento dos circuitos foi dividido em três etapas para avaliação:

- Luminárias 03 acesas;
- Luminárias 02 + 03 acesas;
- Luminárias 01+02+03 acesas.

Para a proposta 2, a divisão dos circuitos obedeceu a ordem e 01 a 05 das luminárias, dividindo-se as de fluxo luminoso direto e indireto, ou seja, para cada seqüência de luminárias voltadas para o piso e voltadas para o teto, havia um comando individual. A seqüência das simulações obedeceu a seguinte ordem:

- Luminárias 05 indiretas + 04 diretas acesas;
- Luminárias 04+ todas as indiretas acesas;
- Luminárias 05 indiretas+ 04+ 03 diretas acesas;
- Luminárias 05+01indiretas e 04+ 03 + 02 diretas acesas;
- Todas as luminárias acesas;
- Todas as luminárias indiretas acesas;

3.7.4 Contraste entre luminâncias

O contraste entre luminâncias não depende somente da iluminação fornecida pela fonte de luz, mas também da reflexão dos materiais empregados no ambiente. A diferença entre os valores de luminâncias em um ponto medido e as luminâncias do entorno imediato deste ponto caracteriza o contraste existente.

Após as simulações com a iluminação natural e artificial, foram determinados três pontos de medição para avaliar o contraste de luminâncias entre: o ponto medido e a superfície da janela, o ponto e o quadro, e entre o ponto e o entorno imediato.

Os pontos de medição determinados foram: P4, P25 e P 46 de acordo com a figura 3.17.

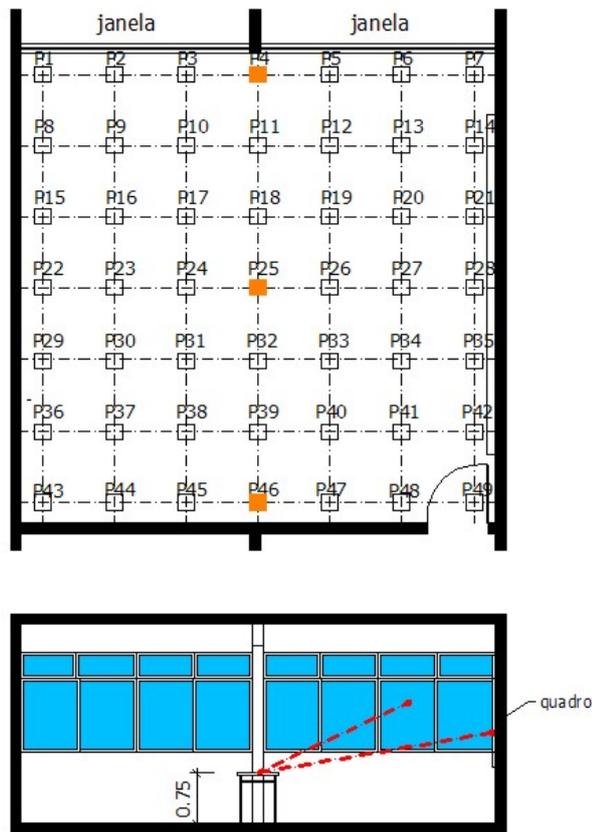


Figura 3.20 – Planta baixa dos pontos de luminâncias medidos e vista das superfícies medidas.

As situações de iluminação escolhidas para as relações de contrastes entre luminâncias para a proposta 1 foram:

- Iluminação Natural _ verão _ 10:00hs e as luminárias 03 acionadas;
- Iluminação Natural _ inverno _ 17:00hs e todas as luminárias acionadas.

A escolha da situação de verão às 10:00hs se deve ao fato de expressar um momento de elevado valor de luminância de céu; já na situação do inverno às 17:00hs, expressa uma situação de valores reduzidos de luminâncias de céu.

Para a proposta 2, as situações de iluminação escolhidas foram:

- Iluminação Natural _ verão _ 10:00hs e as luminárias 04 diretas + 05 indiretas acionadas;
- Iluminação Natural _ verão _ 17:00hs e as luminárias 04, 03 diretas + 05 indiretas acionadas;
- Iluminação Natural _ inverno _ 10:00hs e as luminárias 04, 03, 02 diretas + 05 e 01 indiretas acionadas.
- Iluminação Natural _ inverno _ 17:00hs e todas as luminárias acionadas.

A medição de iluminâncias nos pontos foi realizada considerando a iluminação localizada para o quadro acionada. Após a medição dos índices de iluminâncias, a avaliação do contraste foi feita em função das relações de proporção de iluminâncias recomendadas :

- 3:1 entre a tarefa e o entorno imediato;
- 10:1 entre a tarefa e o entorno distante;
- 20:1 entre as fontes de luz natural e as superfícies imediatas;
- 40:1 contraste máximo admissível.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas do sistema de iluminação natural e artificial proposto, conjuntamente com a análises e comentários dos dados obtidos.

4.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

O sistema de iluminação natural foi simulado, tendo seus resultados representados através de figuras demonstrando a distribuição de iluminâncias através de curvas de isolux, de acordo com a estação do ano e horários definidos. Os parâmetros para as simulações e análises obedeceram aos itens 3.3 e 3.6 do capítulo de metodologia.

4.1.1 Verão _ Horário: 10:00hs - Fachada Norte_ Céu encoberto

A incidência da luz natural ocorre de forma oblíqua aos planos de trabalho, sendo mais intensa na região adjacente às janelas laterais devido a incidência de iluminação natural. No horário das 10:00hs, há a ocorrência de três faixas de iluminação, de acordo com a classificação feita para avaliação dos níveis de iluminâncias.

De acordo com a figura 4.1, observa-se através das curvas de isolux que os valores de iluminâncias chegam a 550lux, correspondendo a área mais próxima à janela. Os índices mais baixos chegam a 50 lux junto à parede oposta às aberturas.

O intervalo de iluminâncias com valores suficientes abrange 31% da área de piso da sala, enquanto que 65% estão na zona insuficiente, para valores menores que 250lux. O restante (4%) englobam a zona regular entre 250 a 300lux.

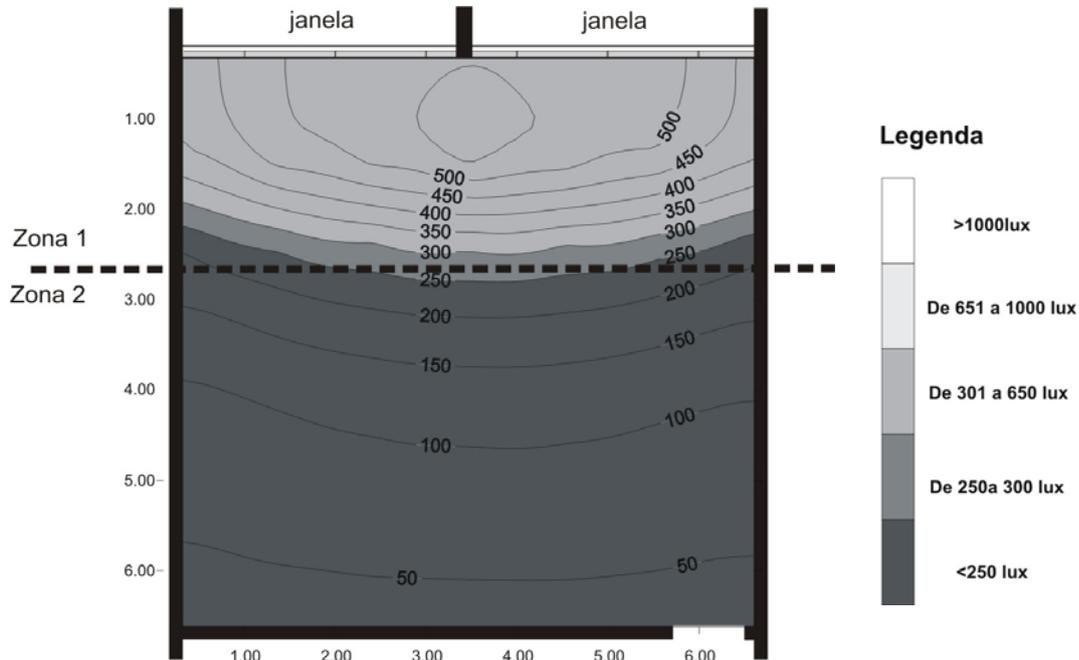


Figura 4.1 – Iluminação Natural - Norte_verão_10:00hs_céu encoberto.

4.1.2 Verão_Horário: 17:00hs - Horário: 17:00hs_Céu encoberto

Na situação das 17:00hs , no verão, valores de iluminâncias decaem em relação ao horário das 10:00hs devido ao menor nível de iluminação da abóbada celeste. A área menos iluminada, mais afastada da janela, alcança valores de 40lux e a zona insuficiente torna-se maior, com 71% da área. Neste período, 25% da área da sala encontram-se na zona suficiente de iluminação e 4% na zona de transição inferior. Para a atividade de leitura sobre o plano de trabalho, por exemplo, 29% da sala forneceriam índices suficientes, sem que seja necessário o emprego da iluminação artificial.

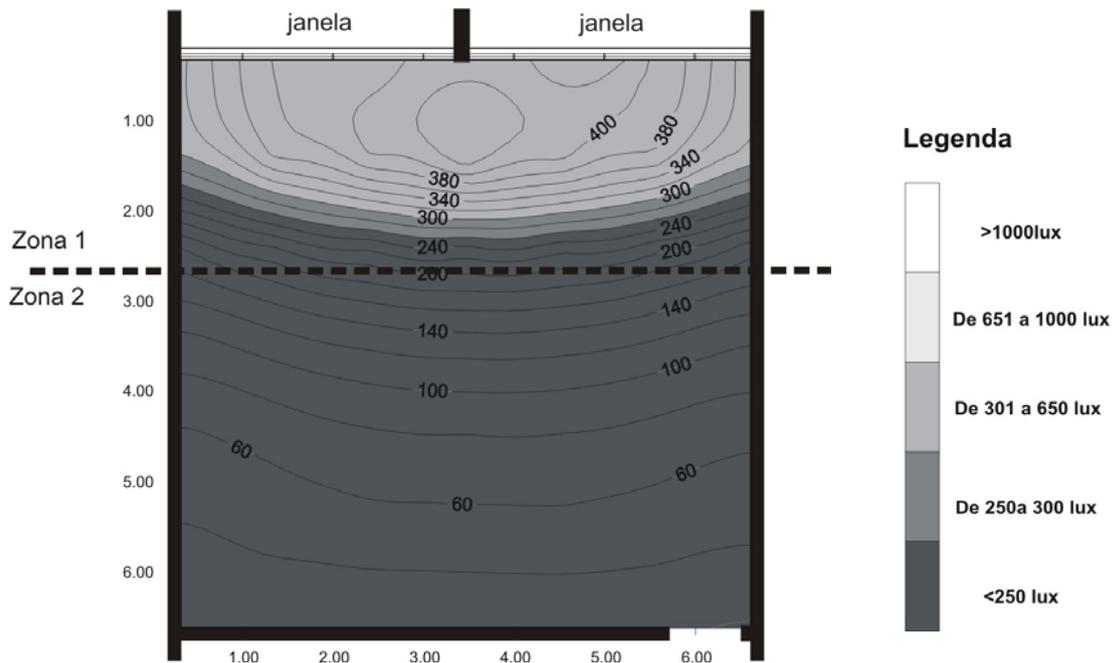


Figura 4.2 – Iluminação Natural - Norte_verão_17:00hs_céu encoberto.

4.1.3 Inverno_ Horário: 10:00hs - Fachada Norte_ Céu encoberto

A simulação para a estação de inverno, no horário das 10:00hs apresenta como valores mais elevados as curvas de 280 lux . De acordo com a figura 4.3, apenas duas zonas de classificação são encontradas para este período.

A maior parte da sala (88%) está na faixa insuficiente de iluminação para atividades de sala de aula. Apenas 12% encontram-se na transição inferior, enquanto nenhuma parte da sala fornece níveis considerados suficientes (de 301 a 650 lux).

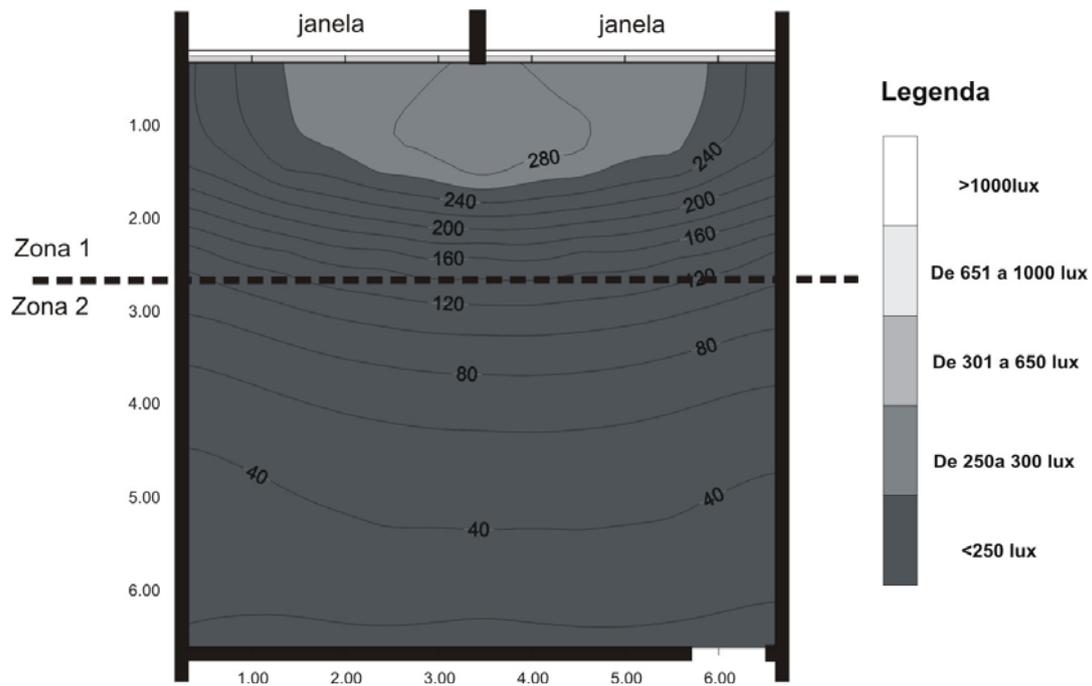


Figura 4.3 – Iluminação Natural -Norte_inverno_10:00hs_céu encoberto

4.1.4 Inverno_Horário: 17:00hs - Fachada Norte_Céu encoberto

Os valores de iluminâncias decaem sensivelmente no horário das 17:00 hs, dificultando o desenvolvimento das atividades no plano de trabalho somente com a utilização da iluminação natural. Toda a área da sala de aula está dentro da faixa insuficiente (abaixo de 250 lux), com os valores das curvas de isolux variando entre 10 a 200lux. Estes índices demonstram a necessidade de uma iluminação suplementar para elevar os valores de iluminâncias nas superfícies de trabalho.

Os resultados representados em curvas isolux da iluminação natural mostram que mesmo no período de verão, às 10:00hs, quando os valores de iluminâncias são mais elevados, encontram-se partes da sala com iluminâncias abaixo dos valores mínimos. Nos demais períodos e horários (das 10:00 hs e 17:00 hs), os valores de iluminâncias diminuem, aumentando as áreas que necessitam de uma iluminação suplementar.

Desta maneira, a área de atuação da iluminação artificial passaria a ter maiores dimensões, principalmente no horário das 17:00hs, no período de inverno, quando a luz natural se apresenta com menor intensidade.

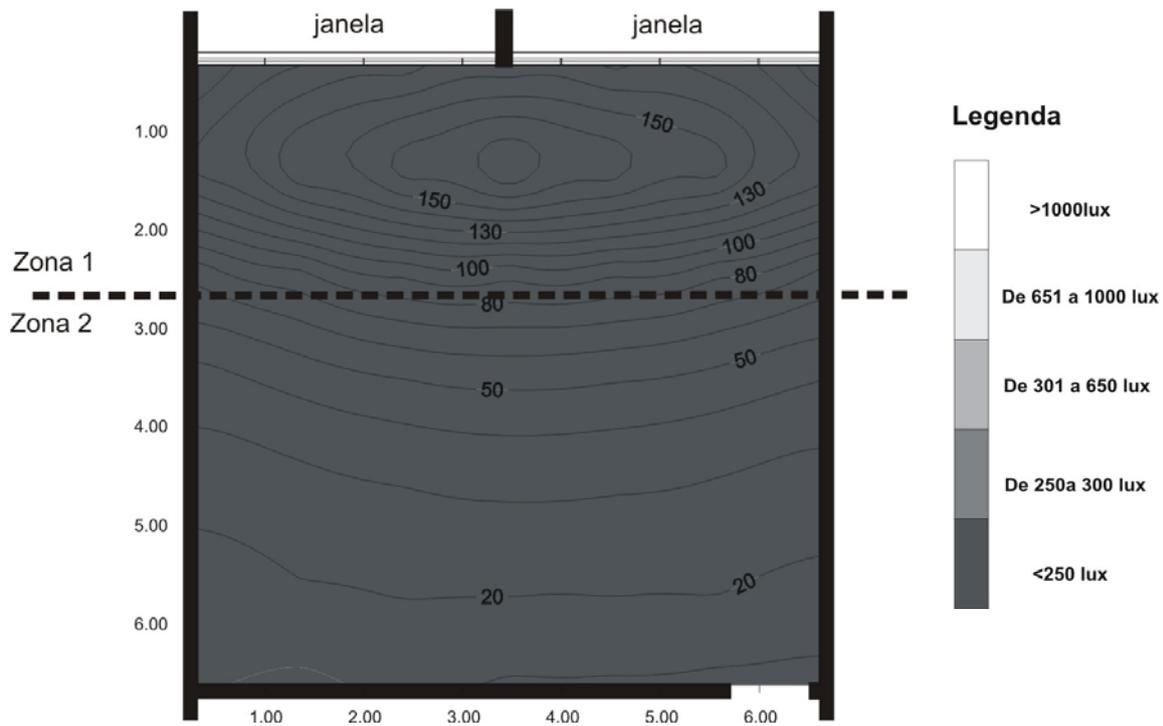


Figura 4.4 – Iluminação Natural -Norte_inverno_17:00hs_céu encoberto.

De acordo com as simulações do sistema de iluminação natural, grande parte da área da sala de aula, mesmo no período de verão, apresenta valores de iluminâncias abaixo de 250lux, classificado como não recomendado. Apesar disso, não significa que nestas áreas há total impossibilidade de se realizar tarefas com leitura, escrita e observação. A norma recomenda valores médios entre 200 a 500lux, mas algumas atividades com anotações ou a observação ao professor podem ser realizadas com valores próximos de 200 lux.

Para que essas atividades possam ser executadas com valores de iluminâncias mais baixos, fatores como a precisão da atividade, o contraste existente, a velocidade e tempo de adaptação e a preferência do usuário podem influenciar em seu desempenho.

De qualquer maneira, iluminação artificial deve ser projetada para suprir essas regiões menos iluminadas da sala e permitir a flexibilidade no acionamento dos circuitos para que o acionamento seja efetuado à medida que os valores de iluminâncias fornecidas pela luz natural diminuam.

4.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

As simulações do sistema de iluminação artificial existente na sala de aula padrão e do sistema de iluminação artificial suplementar proposto tiveram seus resultados representados em figuras e gráficos de acordo com o item 3.4 e 3.5 do capítulo 3. As análises dos resultados foram baseadas nos parâmetros estabelecidos no item 3.6 do mesmo capítulo.

4.2.1 Sistema de Iluminação Artificial Existente na sala de aula padrão

As simulações do sistema de iluminação artificial existente obtiveram os seguintes resultados:

4.2.1.1 Luminárias 01 + 02 + 03 acesas

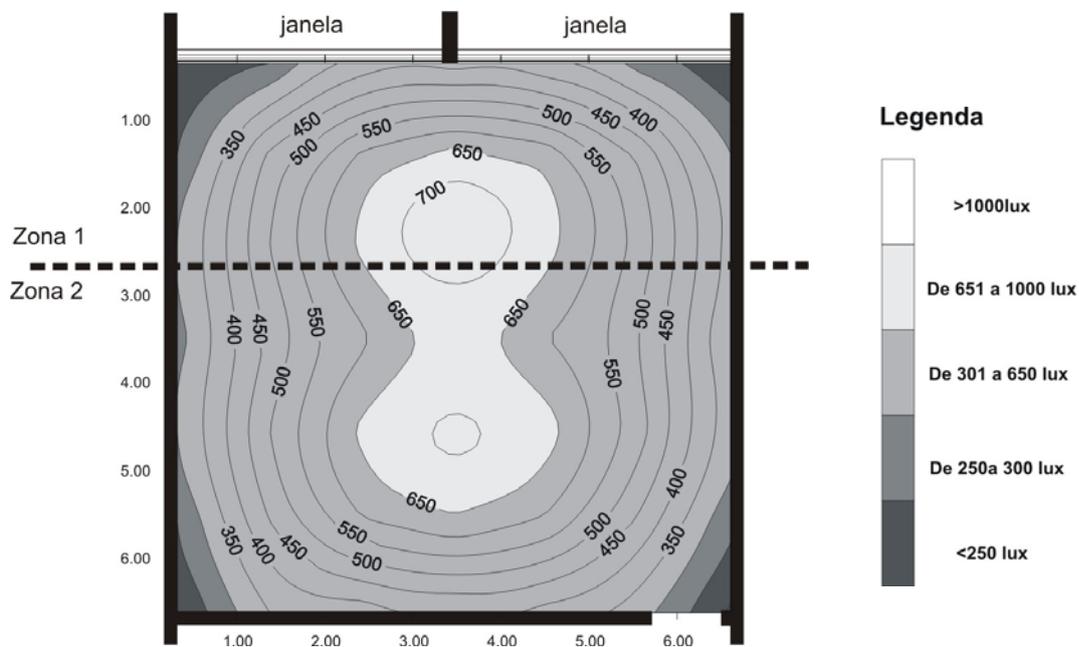


Figura 4.5 – Iluminação Artificial existente.

Os níveis de iluminâncias com todas as luminárias existentes ligadas, são mais elevados no centro da sala, onde os valores ultrapassam 650 lux, de acordo com a

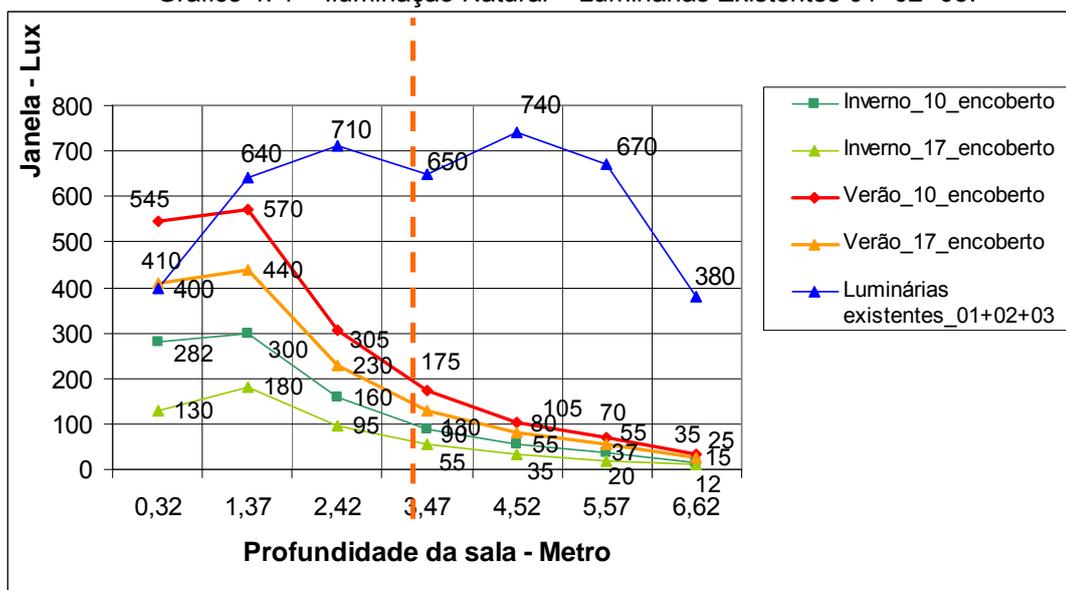
figura 4.5. A partir do centro, a distribuição é dada perpendicularmente à linha das janelas, onde os valores mais baixos são encontrados nos quatro cantos da sala.

Constata-se que 71% da área da sala estão dentro do intervalo suficiente, com valores acima de 300lux, enquanto que apenas 6% apresentam valores pouco abaixo de 250 lux, enquadrando-se no intervalo insuficiente.

De forma geral, os níveis fornecidos pela iluminação existente satisfaz a norma, apesar de não considerar a distribuição da luz natural, como pode ser concluído pela observação das figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 que demonstram a distribuição da luz natural na sala.

4.2.1.2 Todas as luminárias acesas e Sistema de Iluminação Natural

Gráfico 4. 1 – Iluminação Natural + Luminárias Existentes 01+02+03.



Quando todas as luminárias estão ligadas, os valores chegam a 740 lux e 710lux (intervalo de transição superior) nos pontos referentes às distâncias de 2,42 e 4,52 metros. A distribuição das iluminâncias é independente da iluminação natural, com valores mais baixos nas extremidades da sala, chegando a 380lux, na distância 6,62, considerado regular de acordo com a classificação dos níveis de iluminâncias. Quando se observa a soma dos valores dos dois tipos de iluminação, o menor índice encontrado é no horário da 17:00hs, no inverno, com valor de 392 lux, no intervalo suficiente de classificação.

De acordo com o gráfico 4.1 – que apresenta as curvas de distribuição de iluminâncias dos dois sistemas de iluminação, confirma-se que a disposição da iluminação artificial existente apresenta-se de forma perpendicular ao sistema natural, não fornecendo uma distribuição de iluminâncias adequada para estabelecer o complemento à luz natural presente. O sistema artificial poderia acompanhar a distribuição dada pela iluminação natural, atuando paralelamente às aberturas e acionado por circuitos independentes.

4.3 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SUPLEMENTAR PROPOSTO

As simulações do sistema de iluminação artificial proposto foram divididas em duas propostas (01 e 02) conforme o item 3.5 e 3.6 do capítulo 3.

4.3.1 Proposta 1 de Sistema de Iluminação Artificial Suplementar

Com os acionamentos dos circuitos independentes (01, 02 e 03), obtiveram-se os seguintes resultados:

4.3.1.1 Luminárias 03 acesas

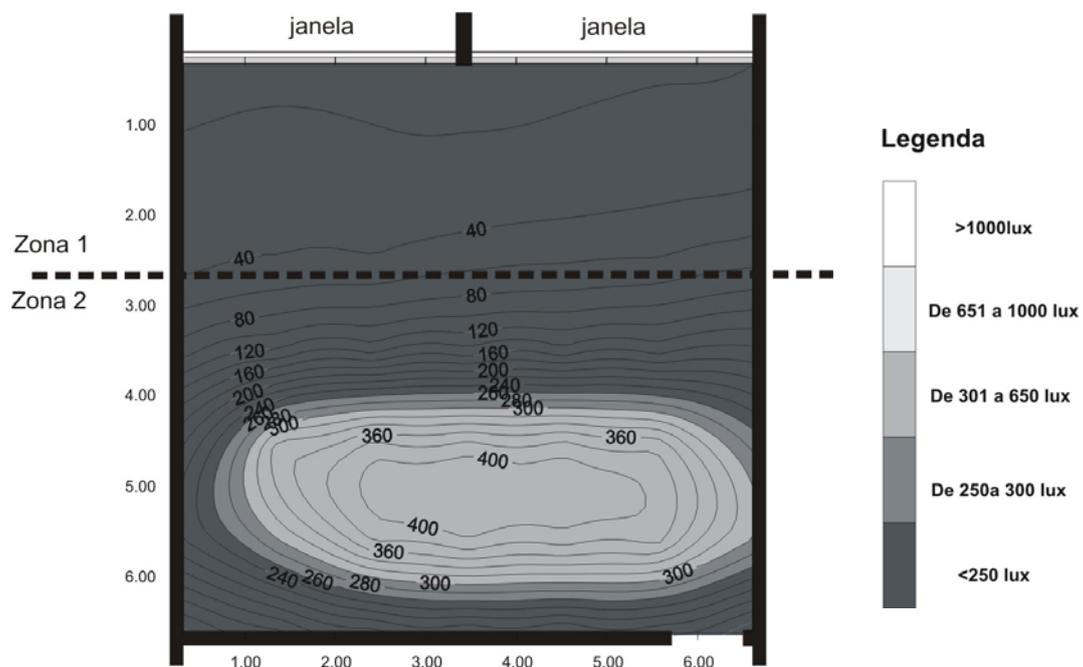


Figura 4.6 – curvas isolux - Luminárias Assimétricas_03

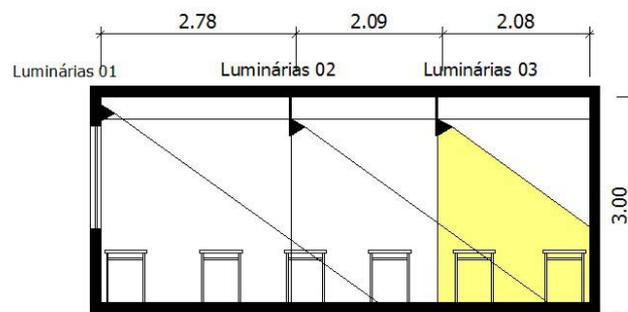


Figura 4.7 –Corte -Luminárias Assimétricas_03.

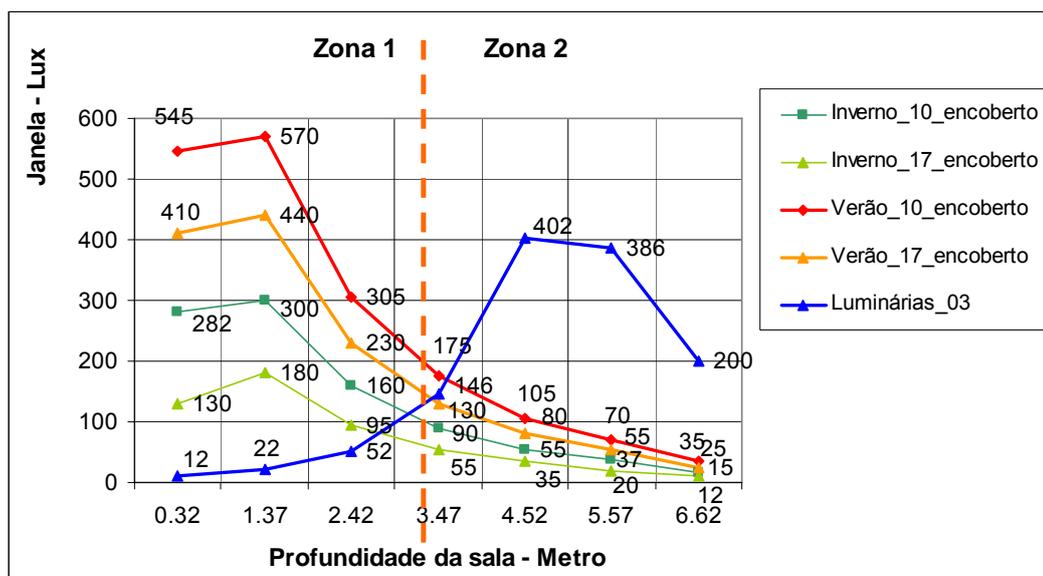
De acordo com a figura 4.6, os valores mais altos de iluminâncias estão concentrados na zona 2 de iluminação, próxima a parede oposta às aberturas. Nesta situação, 24% da sala possuem valores acima de 300 lux, dentro do intervalo suficiente de iluminação e 70%, no intervalo insuficiente, abaixo de 250 lux.

Esta situação, com somente o circuito 3 aceso, é recomendada para os períodos em que a luz natural esteja disponível, fornecendo índices mais elevados de iluminâncias principalmente na região adjacente às aberturas. A iluminação artificial suplementaria a iluminação natural na região mais afastada das aberturas.

4.3.1.2 Luminárias 03 acionadas e Sistema de Iluminação Natural

De acordo com o gráfico 4.2, em que somente as luminárias 03 estão acionadas, verifica-se que os índices de iluminâncias complementam aos da luz natural sendo inversamente proporcionais, de acordo com a distância das aberturas. A diferença entre a distribuição da luz natural e da luz artificial pode ser percebida nas figuras 4.8 e 4.9, onde a região próxima às aberturas está mais iluminada (fig. 4.8) pela iluminação natural e a região mais afastada das janelas está mais iluminada pela iluminação artificial (fig. 4.9).

Gráfico 4.2 – Iluminação Natural e Luminárias 03.



Os valores atingidos pela luz artificial chegam a 402lux – intervalo suficiente - decrescendo à medida que se aproxima da janela, onde se encontra apenas 12lux. – dentro do intervalo não recomendado.

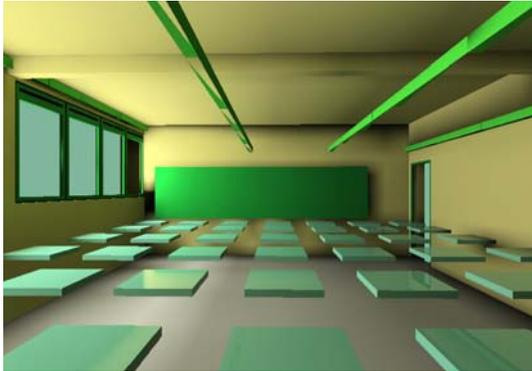


Figura 4.8 – Imagem Lightscape_ Verão_10:00hs_céu encoberto

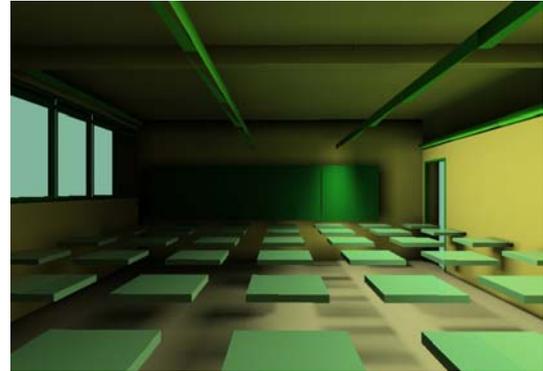
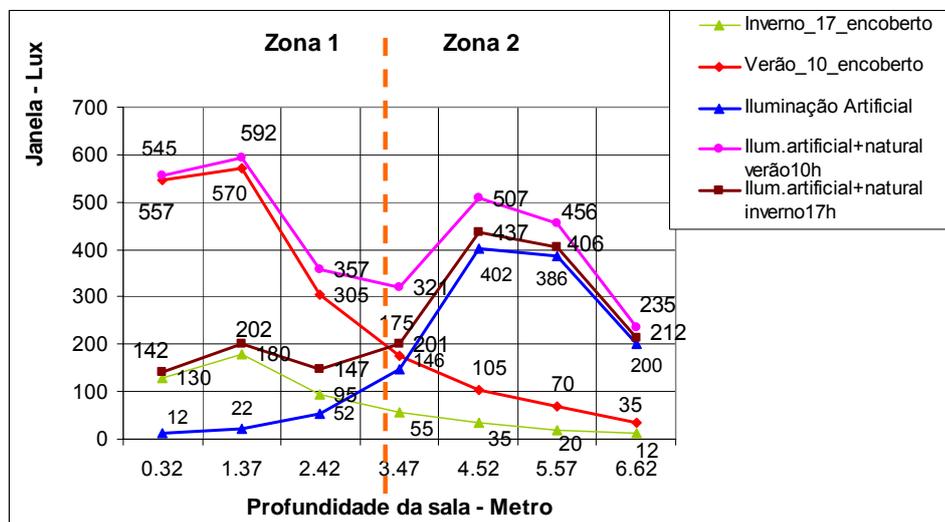


Figura 4.9 - Imagem Lightscape_Luminária_03

Ao considerarmos os dois tipos de iluminação atuando de maneira conjunta, o período de verão às 10:00hs representa o melhor horário para a suplementação da iluminação artificial à natural. De acordo com o gráfico 4.3, para este horário, os índices de iluminâncias estão dentro do intervalo suficiente na maioria dos pontos simulados, onde apenas na distância de 6.62m encontra-se abaixo de 250 lux. Em contrapartida o período menos indicado para o emprego somente deste circuito acionado seria no inverno às 17:00hs, onde os valores de iluminâncias são suficientes apenas entre as distâncias de 4.50 a 5.60 m.

Gráfico 4.3 – Iluminação natural (verão_10h e inverno 17h) + artificial (luminárias 03).



4.3.1.3 Luminárias 03 e 02 acesas

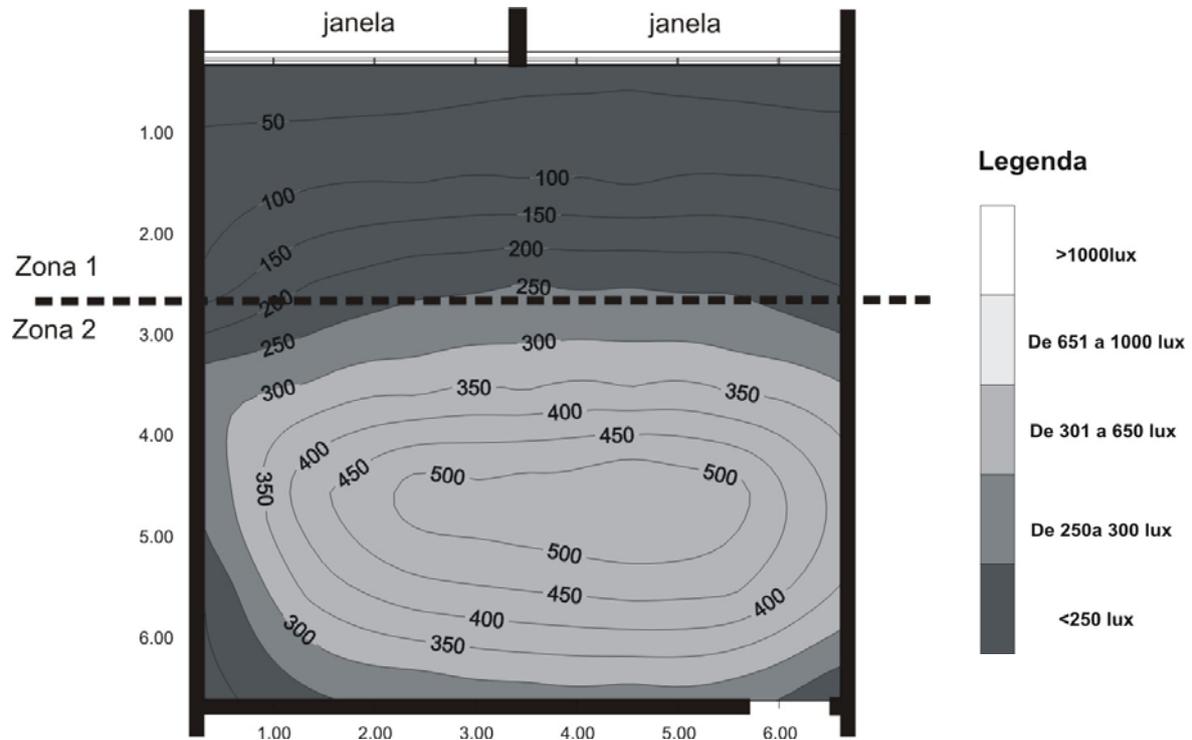


Figura 4.8 – curvas isolux - Luminárias Assimétricas_03+02

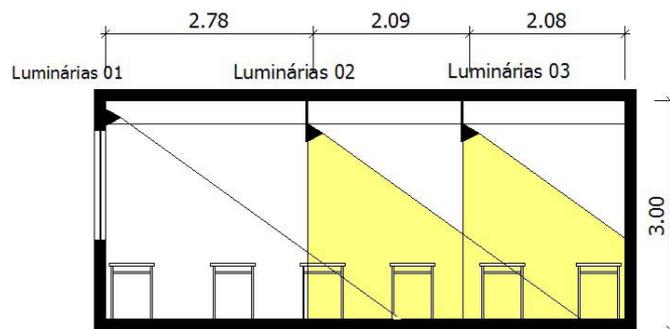


Figura 4.9 –Corte -Luminárias Assimétricas_03+02.

Com as luminárias 03+02 acesas, os valores de iluminâncias aumentam em toda zona 2 de iluminação. Mais de 57% da sala encontra-se no intervalo suficiente

e de transição inferior, com 44% dentro do intervalo classificado como bom – acima de 300lux.

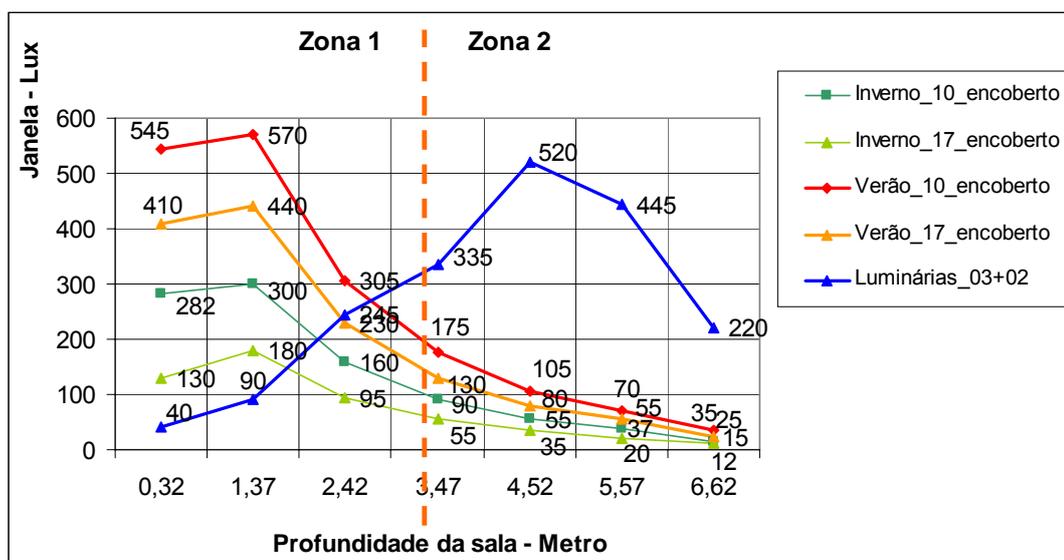
Observa-se que os valores mais baixos, 13% da sala, estão concentrados na zona 1, área próxima das aberturas. Região que receberá valores maiores de iluminâncias fornecidos pela luz natural.

4.3.1.4 Luminárias 03 e 02 e Sistema de Iluminação Natural

De acordo com o gráfico 4.4, a iluminação artificial fornecida com o acionamento das luminárias 03+02 apresenta níveis de iluminação mais elevados dentro da zona 2 de iluminação, atingindo os maiores índices de iluminâncias nos pontos de 4,52 e 5,57m e os menores valores nos pontos de 0,32 e 1,37m.

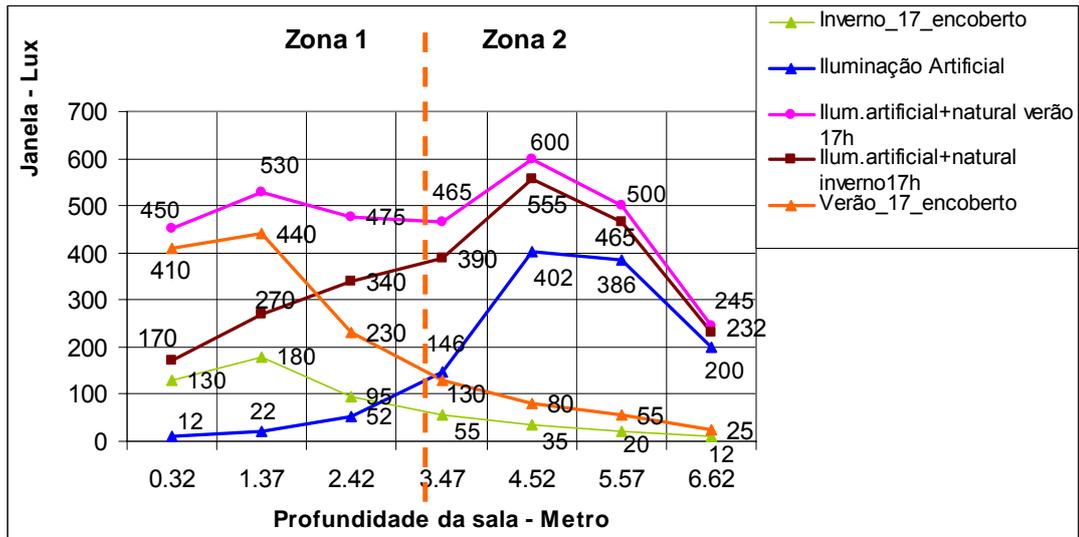
Observa-se também que mesmo no horário menos favorável (inverno 17:00hs), a iluminação da luz artificial + natural (gráfico 4.5) fornecem iluminâncias suficientes, acima de 250lux, na maior parte dos pontos simulados. Apenas nos pontos referentes às distâncias de 0,32 e 6,62, encontram-se os valores mais baixos, de 170 e 232 lux respectivamente, classificados como não recomendados. Se os usuários estiverem realizando atividades visuais nestes pontos, haverá necessidade de acionar mais uma linha de luminárias, para satisfazer os índices recomendados.

Gráfico 4.4 – Iluminação Natural + Luminárias 02+03.



O valor mais alto atingido pela iluminação artificial é de 520 lux, no ponto equivalente a distância 4,52 (gráfico 4.4). Ao considerar-se o acréscimo da luz natural, o maior valor chega a 600 lux no horário das 17:00h do período de verão(gráfico 4.5).

Gráfico 4.5 – Iluminação natural (verão_17h e inverno 17h) + artificial (luminárias 03+ 02).



O período mais favorável para o acionamento das luminárias 03 e 02 seria a partir das 17:00hs no verão , quando os índices de iluminâncias apresentam-se regulares na maioria dos pontos, sendo insuficiente no ponto 6,62m, junto a parede oposta às aberturas.

4.3.1.5 Luminárias 03,02 e 01 acesas

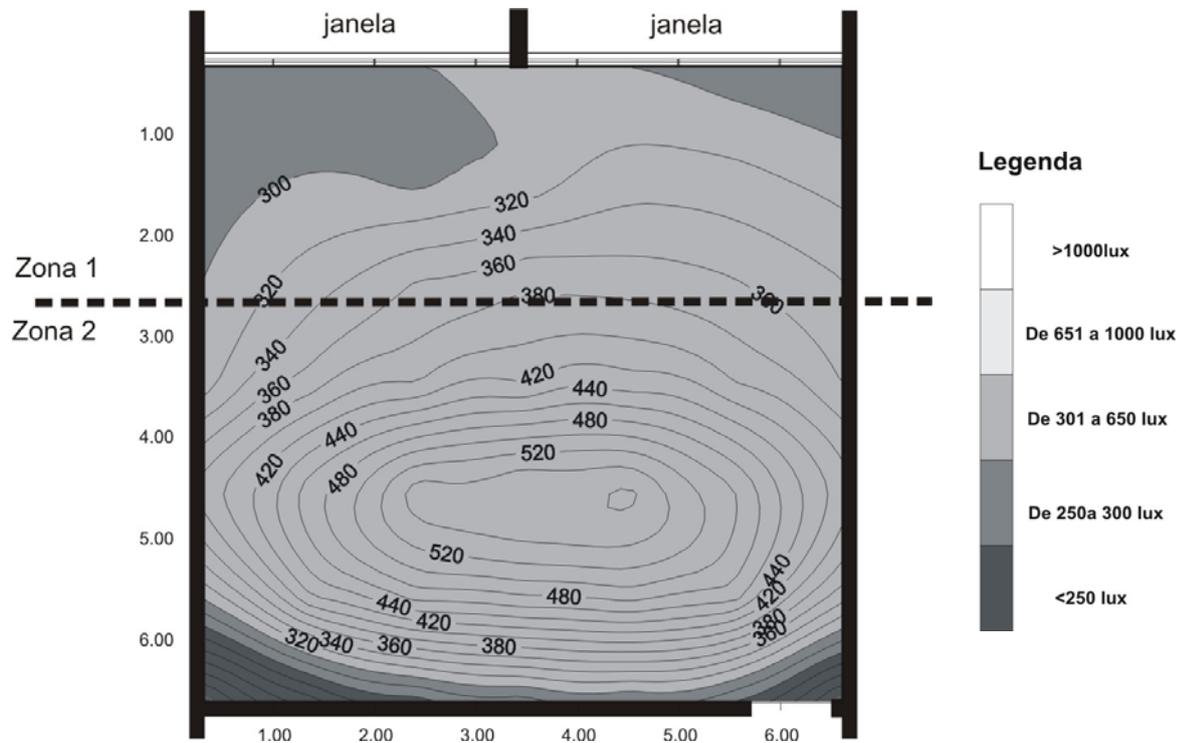


Figura 4.10 – curvas isolux - Luminárias Assimétricas_03+02+01.

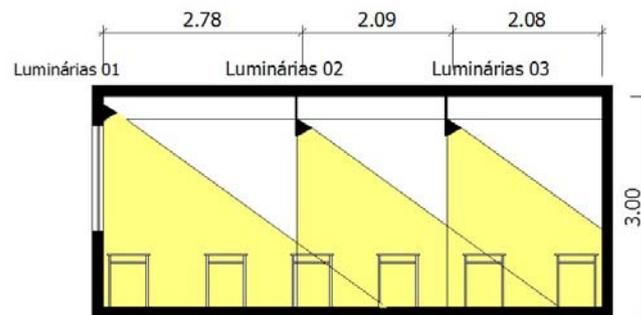


Figura 4.11 –Corte -Luminárias Assimétricas_03+02+01.

Quando todas as luminárias da proposta 1 estão acesas, de acordo com a figura 4.10, 83% da sala se encontra dentro do intervalo considerado bom de iluminação- acima de 300 lux; 13% da área da sala encontra-se na zona de

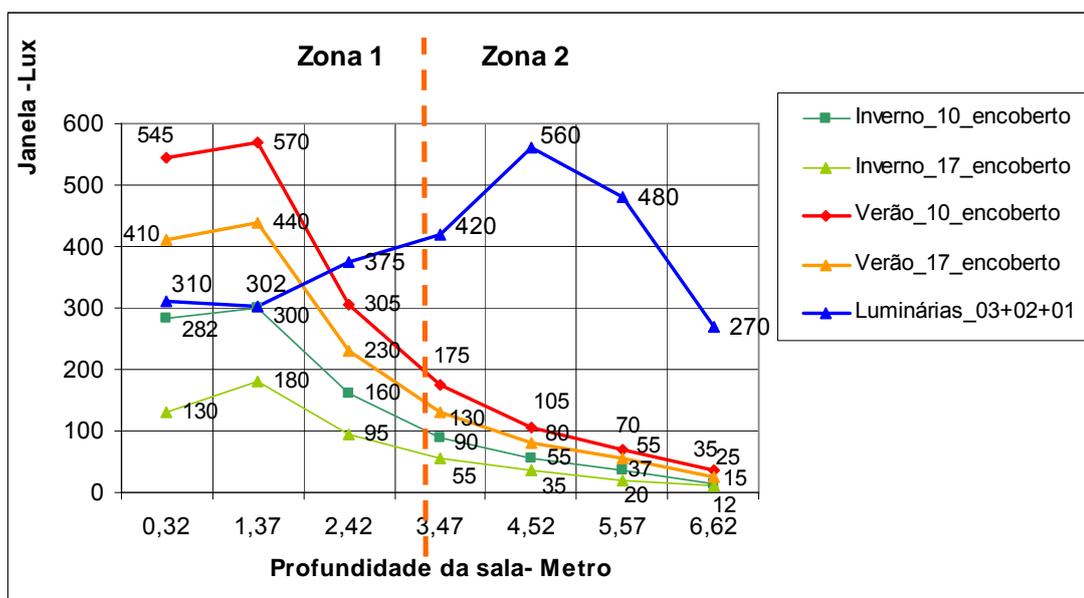
transição inferior- de 250 a 300 lux- e apenas 3% dentro do intervalo não recomendado.

Para esta situação, a luz natural estaria disponibilizando valores mais baixos de iluminâncias, e conseqüentemente a iluminação artificial forneceria valores mais elevados para atingir aos índices recomendados.

4.3.1.6 Luminárias 03,02 e 01 e Sistema de Iluminação Natural

No momento que todos os três circuitos estão acionados, o sistema de iluminação artificial apresenta uma variação de 270 a 560lux nos pontos referentes às distâncias 6,62 e 4,52 respectivamente (gráfico 4.6). Em todos os pontos simulados, os valores ultrapassam a 250lux, intervalo considerado regular o qual permite a realização das atividades de sala de aula. Percebe-se que a curva de iluminância permanece inversamente proporcional à iluminação natural assim com no gráfico 4.4.

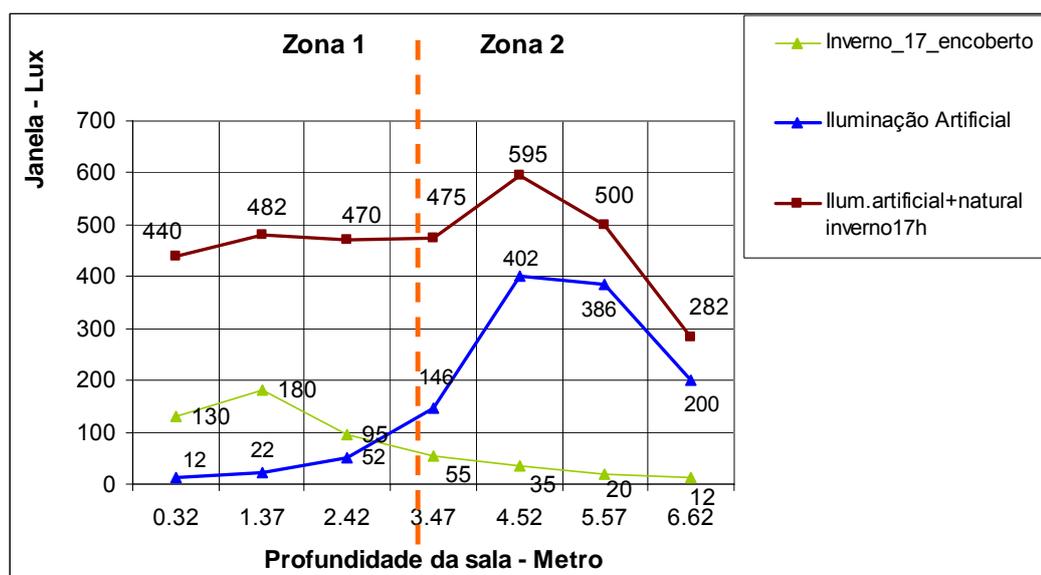
Gráfico 4.6 – Iluminação Natural + Luminárias 01+02+03.



Analisando somente a iluminação artificial, percebe-se que há um “pico” de iluminância no intervalo de 4,00 a 5,00 metros. Apesar disto, a relação entre os valores máximos e mínimos de iluminância são inferiores a três, não caracterizando mais de uma zona de iluminação para quando somente a luz artificial estiver acionada.

O acionamento de todas as luminárias assimétricas é recomendado para o período de inverno às 17:00hs, quando a iluminação natural fornece valores menores de iluminâncias, não havendo necessidade de acioná-las nos horários em que a luz natural fornece níveis de iluminação superiores.

Gráfico 4.7– Iluminação natural (verão_17h e inverno 17h) + artificial (luminárias 03+ 02 + 01).



De acordo com as simulações da iluminação artificial, o emprego das luminárias assimétricas, gerou uma iluminação que completa a iluminação natural através de uma curva de distribuição inversamente proporcional a curva produzida pela iluminação natural. Isso se deve a fotometria das luminárias e seu posicionamento, de acordo com as zonas de iluminação determinadas. Percebe-se que os valores mais altos de iluminâncias estão concentrados na zona 2 de iluminação, mais afastada da janela, na qual se encontra os menores índices fornecidos pela luz natural.

A divisão dos circuitos permite que sejam acionados independentemente a medida a luz natural fornece menores índices de iluminâncias. Quando somente o circuito 03 está ligado, o maior valor alcançado não supera o maior valor fornecido pela luz natural, no período de verão. O que demonstra um equilíbrio, evitando maiores diferenças de iluminâncias entre a área adjacente à janela e a área junto à parede oposta.

Quando todos os circuitos estão acionados, considerando somente a iluminação artificial, a maior diferença entre o maior valor e o menor chegar a 280 lux, razão inferior a três , o que não caracteriza a presença de mais de uma zona de iluminação.

Mesmo fornecendo uma distribuição não uniforme, a iluminação artificial poderia substituir totalmente a iluminação natural, quando esta não estivesse disponível, já que em todas as distâncias simuladas encontram-se valores superiores a 250 lux - intervalo regular da classificação.

4.3.2 Proposta 2 de Sistema de Iluminação Suplementar à Iluminação Natural

Foram realizadas seis situações de acionamentos para a proposta 2 de acordo com o item 3.6 do capítulo de metodologia. Os resultados estão expressos através das figuras e gráficos a seguir:

4.3.2.1 Luminárias 04 (luz direta) e 05 (luz indireta) acesas

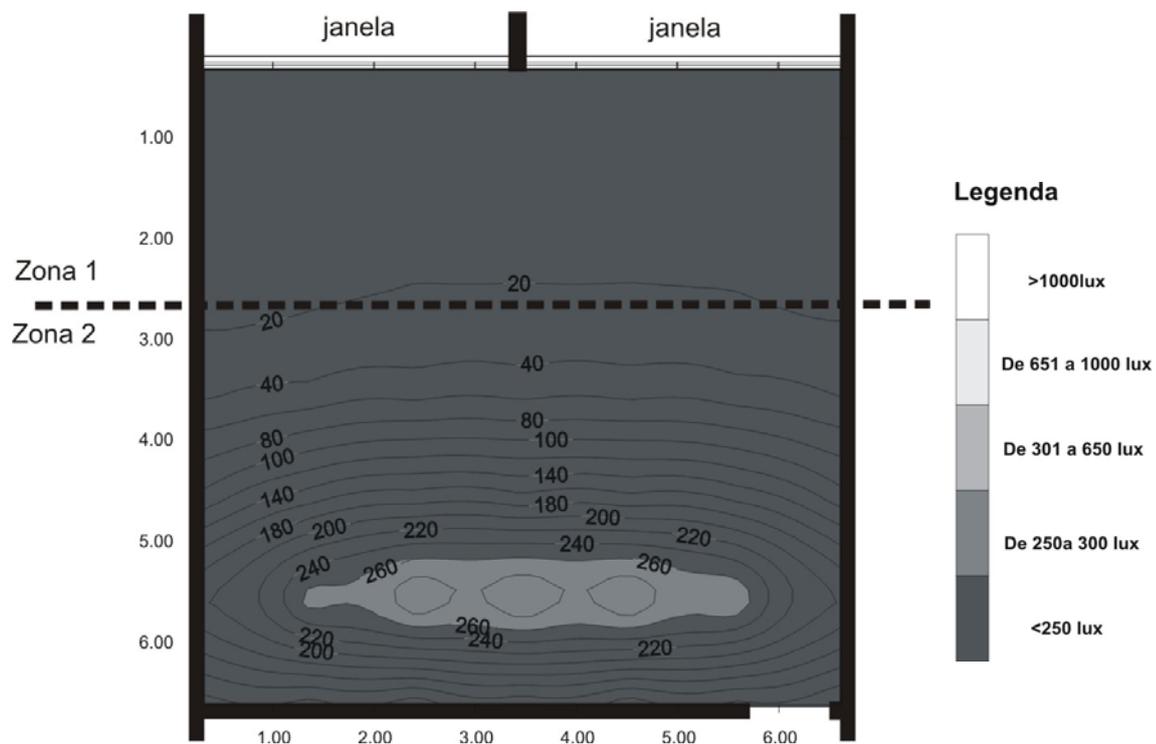


Figura 4.12 – curvas isolux - Luminárias 04 diretas+05 acesas.

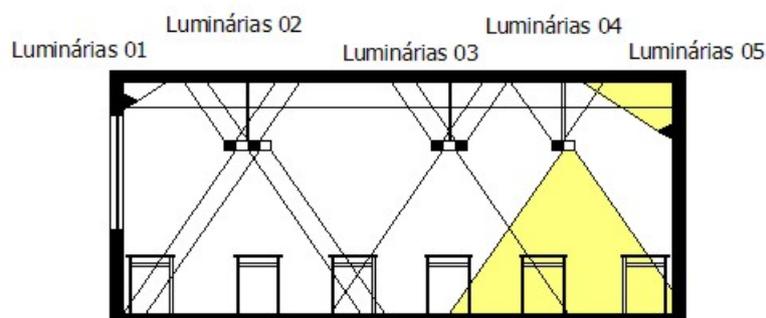


Figura 4.13 –Corte - Luminárias 04 (luz direta) +05 (luz indireta) acesas.

De acordo com a figura 4.12 , quando as luminárias diretas 04 e as luminárias indiretas 05 estão acesas, dois intervalos de classificação são determinadas. O intervalo considerado regular ocupa 6 % da área da sala, na região oposta às aberturas, enquanto que 84% estão incluídas no intervalo não recomendado, ou seja, abaixo de 250lux. Esta situação é recomendada para os períodos em que a iluminação natural forneça valores mais altos de iluminâncias, cabendo ao sistema de iluminação artificial suplementar os níveis referentes à região extrema oposta às janelas.

4.3.2.2 Sistema artificial composta por Luminárias 04 (luz direta) e luminárias 05 (luz indireta) acesas e Sistema de Iluminação Natural

A iluminação fornecida com as luminárias 04 diretas+ 05 indiretas, gera uma distribuição de iluminâncias inversamente proporcional a da iluminação natural, principalmente em relação às curvas de iluminâncias produzidas pela luz natural no período de inverno. O valor mais elevado de iluminância produzido pela luz artificial é de 302 lux no ponto à distância de 5,57metros, e o mais baixo no ponto à distância de 0,32 metro (7 lux), junto à janela (gráfico 4.8).

Gráfico 4.8– Iluminação Natural + Luminárias 04 diretas+05 indiretas.

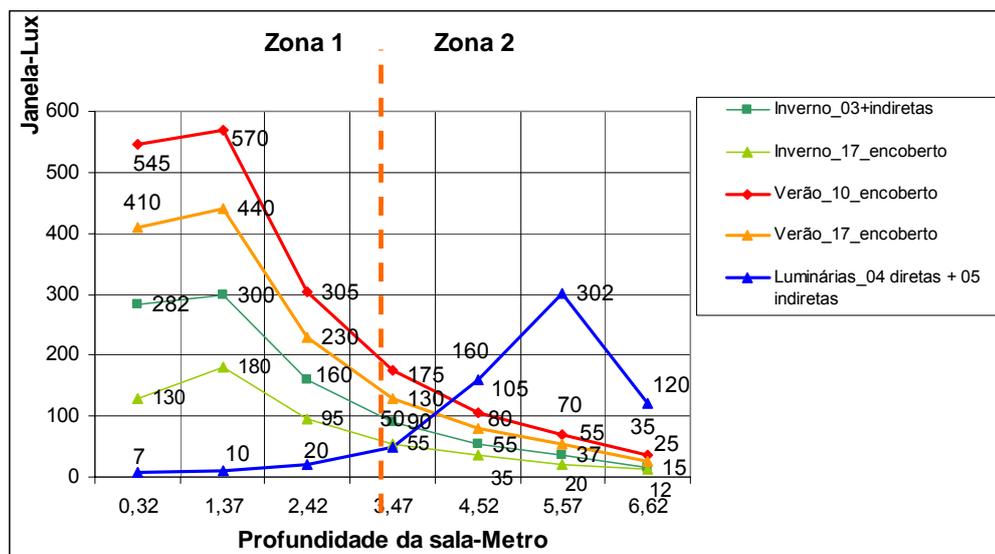
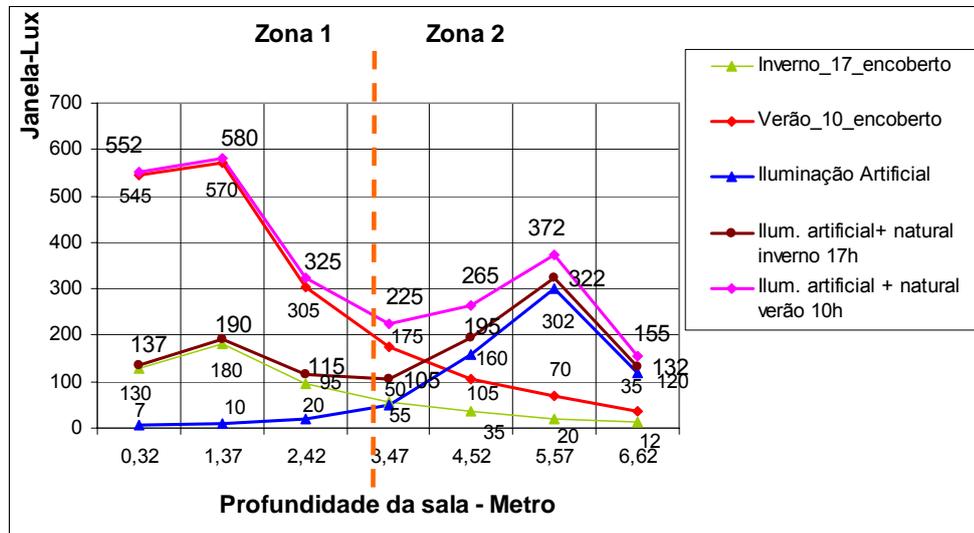


Gráfico 4.9– Iluminação natural (verão_10h e inverno 17h) + artificial (luminárias 04+ 05).



No período de verão, os valores da iluminação artificial + natural, fazem parte da faixa de transição inferior (de 251 a 300lux) e suficiente (de 351 a 650 lux) nos intervalos de 0,32 a 3,00 metros e de 4,85 a 6,0 metros (gráfico 4.9) . Nos demais intervalos, os valores de iluminâncias se encontram na faixa não recomendada abaixo de 250 lux.

Com o acionamento das luminárias 04 (diretas) e 05 (indiretas), a iluminação artificial é insuficiente para o período do inverno, pois não atingem aos índices considerados recomendados, principalmente para a região próxima às aberturas, assim sendo, é necessário acionar mais uma linha de luminárias para elevarem-se os níveis de iluminâncias para este período.

4.3.2.3 Luminárias 04 (luz direta) e todas as luminárias indiretas acesas

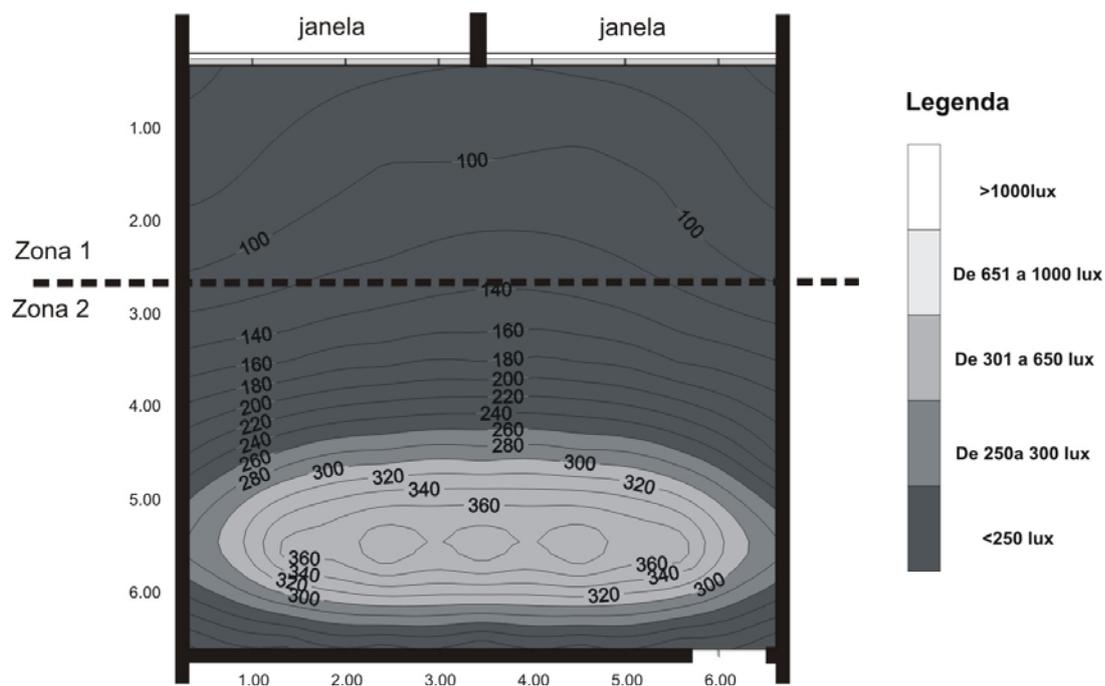


Figura 4.14 – curvas isolux - Luminárias 04 (luz direta)+ luminárias indiretas.

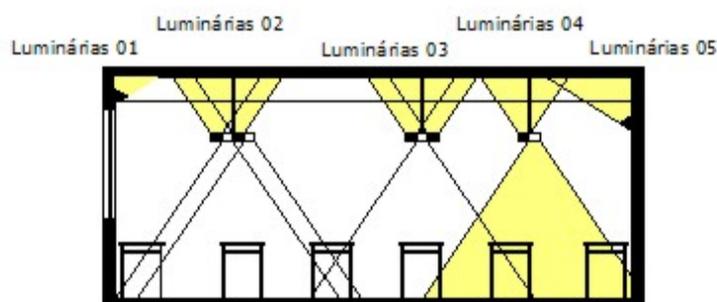


Figura 4.15–Corte - Luminárias 04 diretas+ luminárias indiretas.

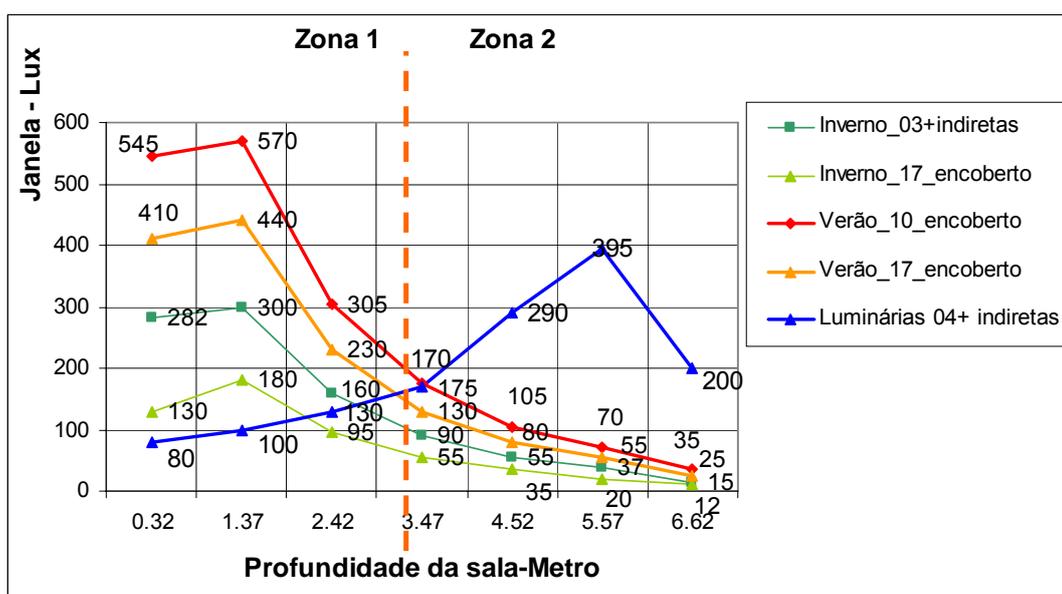
Quando as luminárias 04 diretas estão acesas conjuntamente com todas as luminárias indiretas, observa-se a ocorrência de três faixas de classificação. A maior parte da área da sala (78%) está no intervalo não recomendado, e 15% no intervalo suficiente. O restante (7%) encontra-se dentro do intervalo de transição inferior.

A área mais iluminada artificialmente está concentrada na região extrema da zona 2 de iluminação, isto é, junto à parede, que se refere à área menos iluminada da sala pela luz natural.

4.3.2.4 Luminárias 04 (luz direta) e luminárias indiretas acesas e Sistema de Iluminação Natural

Os valores de iluminâncias aumentam em relação à situação anterior (gráfico 4.18), apresentando o mesmo tipo de distribuição de acordo com a linha da iluminação artificial. Porém, ainda insuficientes para o período de inverno nas extremidades da sala. Os usuários deverão acionar mais um circuito de luminárias, elevando a iluminação nas áreas menos iluminadas nos períodos de inverno.

Gráfico 4.10 – Iluminação Natural + Luminárias 04 diretas+todas indiretas.

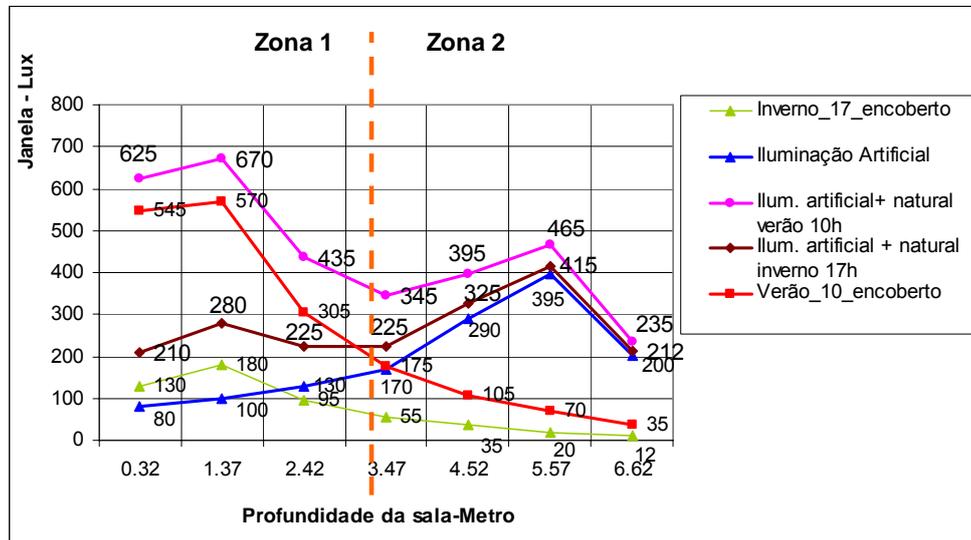


Para o período de verão, no horário das 10:00hs, considerando a luz natural + artificial (gráfico 4.11), as condições de iluminação são consideradas suficientes ou regulares em grande parte das distâncias. Apenas à distância 6,62 metros, que apresenta 235 lux é o ponto considerado insuficiente.

Observa-se que os valores máximos da iluminação artificial (de 395 lux) não alcançam aos valores máximos da iluminação natural (de 570 lux), no período de

verão. Os índices se aproximam, inversamente proporcional, ao da luz natural no período de verão, durante o horário das 17:00hs de acordo com o gráfico 4.10.

Gráfico 4.11– Iluminação natural (verão_10h e inverno 17h) + artificial (luminárias 04+ superiores).



4.3.2.5 Luminárias 04 (luz direta) + 03 (luz direta)+ luminárias 05 (luz indireta)acesas

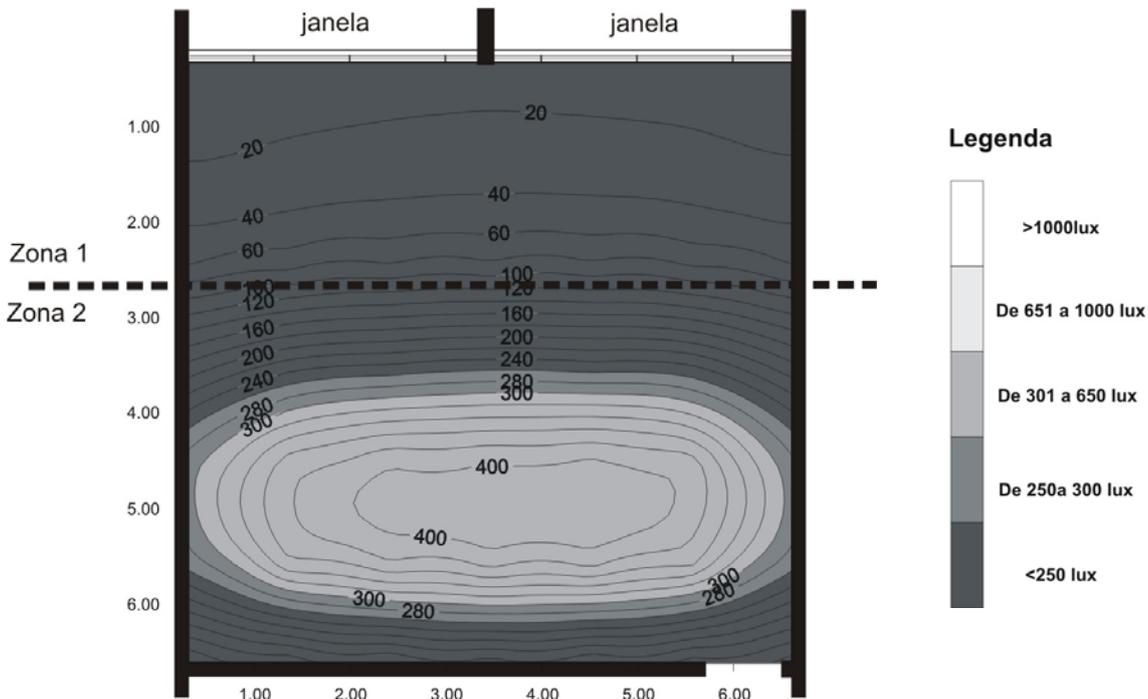


Figura 4.16 – curvas isolux - Luminárias 04 + 03 diretas+ 05

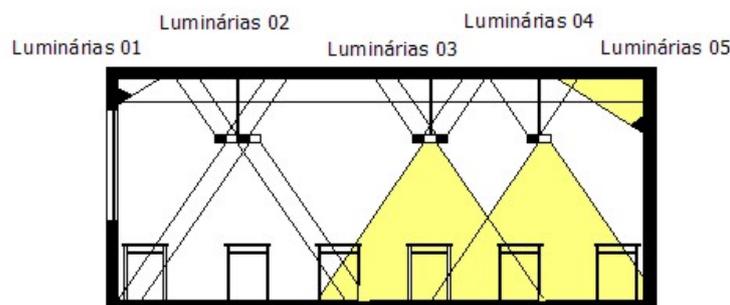


Figura 4.17 – Corte - Luminárias 04 + 03 (luz direta) + 05 (luz indireta).

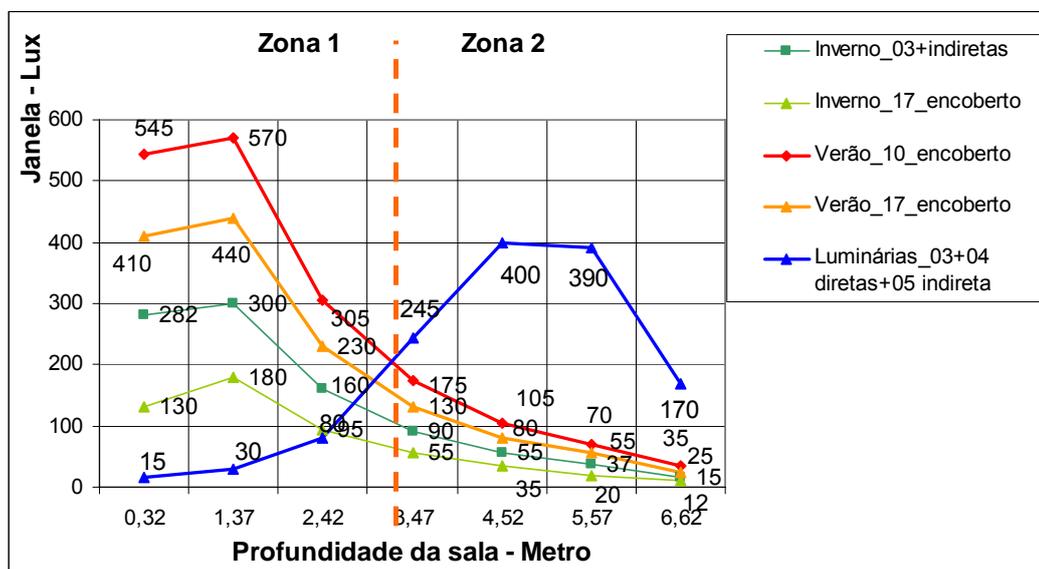
De acordo com a figura 4.16, há a presença de três intervalos de classificação, para esta situação. Os valores de iluminância chegam a 400lux, onde a área considerada regular passa a ter 30% da sala e a área dentro do intervalo de transição inferior 8%, o restante, 62% estão classificados com insuficientes.

As curvas isolux da iluminação artificial demonstram a concentração dos valores maiores de iluminâncias na zona 2 de iluminação, ocupando a região menos iluminada pela iluminação natural. Esta distribuição permanece igual às anteriores (figuras 4.12 e 4.14), porém com índices mais elevados produzidos pelo sistema de iluminação artificial para a região referente à zona 2 de iluminação.

4.3.2.6 Luminárias 04 + 03 (luz direta) e luminárias 05 (luz indireta) acesas e Sistema de Iluminação Natural.

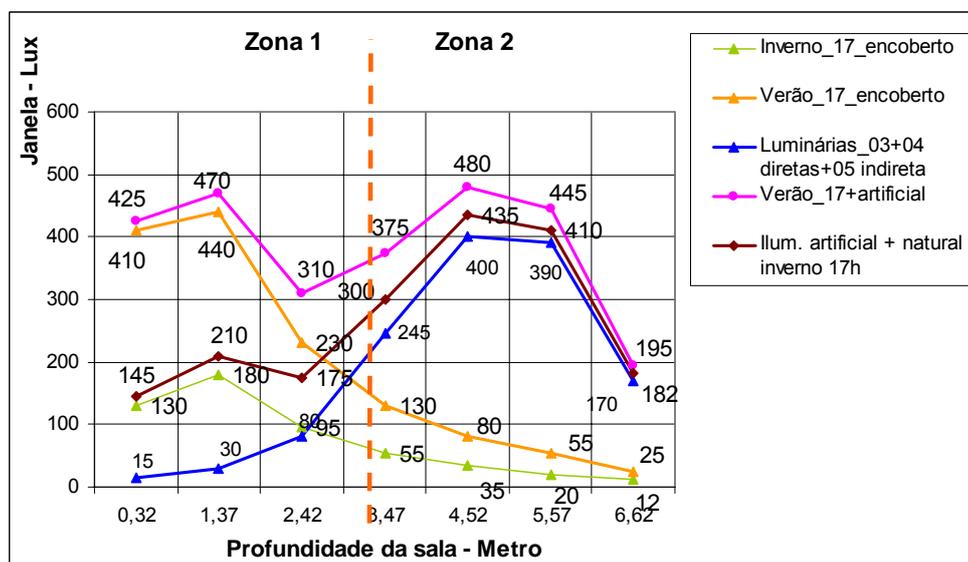
Quando as luminárias 04 e 03 (diretas) + 05 (indiretas) estão acionadas, a distribuição de iluminâncias nos pontos medidos permanece inversamente proporcional aos valores medidos da iluminação natural. Os índices de iluminâncias alcançados pela iluminação artificial chegam a 400lux no ponto 4,52 e 390 no ponto 5,57(gráfico 4.12). Os menores valores obtidos são de 17 e 30 lux nos pontos 0,32 e 1,37, próximos às aberturas.

Gráfico 4.12– Iluminação Natural + Luminárias 04 + 03 diretas+05 indiretas.



O acionamento destes circuitos de luminárias pode ser empregado no horário das 17:00hs do período de verão, quando os índices de iluminâncias são suficientes nos pontos 0,32; 1,37; 2,42; 3,47; 5,54 ; 5,57 com exceção do ponto 6,62 , conforme o gráfico 4.13. Percebe-se também que nas extremidades, os valores de iluminâncias ainda estão abaixo do recomendado principalmente para o período de inverno, no horário das 17:00hs.

Gráfico 4.13 – Iluminação Natural (verão_17h e inverno 17h) + artificial (Luminárias 04 + 03 diretas+05 indiretas).



4.3.2.7 Luminárias 04 + 03 + 02 (luz direta) e luminárias 05 e 01 (luz indireta) acesas.

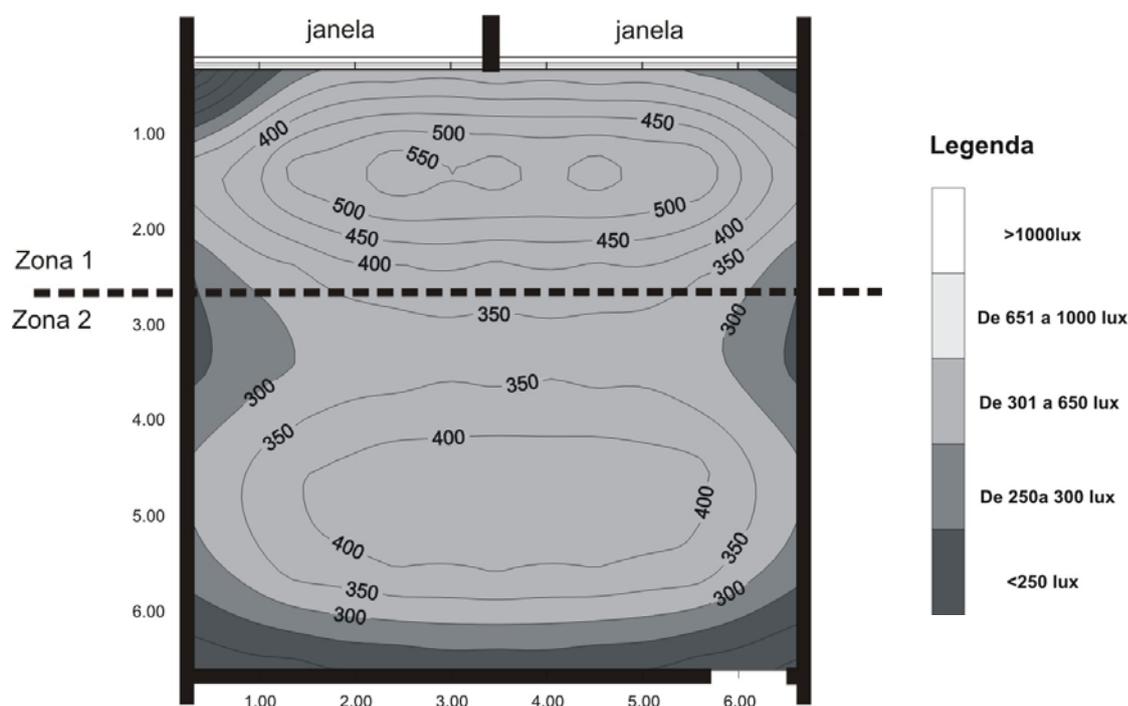


Figura 4.18 – curvas isolux - Luminárias 04 + 03 + 02 diretas+ 05 e 01 acesas.

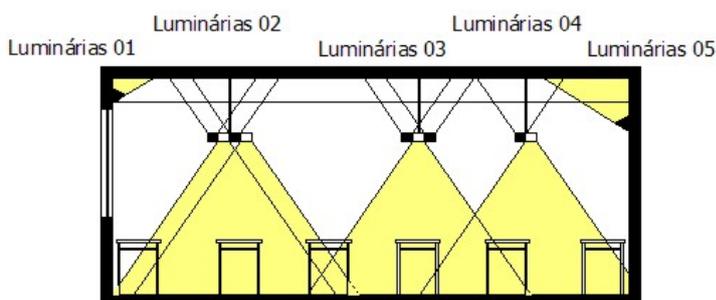


Figura 4.19 – Corte - Luminárias 04 + 03 + 02 (luz direta)+ 05 e 01(luz indireta) acesas.

Para esta situação, onde as luminárias 04+03+02 diretas estão acesas, ao mesmo tempo das luminárias indiretas 05 + 01, a área da sala dentro do intervalo suficiente de iluminação passa a ser de 80%. A distribuição de iluminâncias se apresenta de maneira mais homogênea do que nas situações anteriores (figuras 4.8,

4.8; 4.10 e 4.14), sem elevados contrastes de valores entre as zona 1 e zona 2 de iluminação.

A área que abrange o intervalo insuficiente de iluminação está distribuída nas regiões próximas às paredes extremas da sala, ocupando 6% da área total. Os outros 14%, encontram-se no intervalo de transição inferior.

4.3.2.8 Luminárias 04 + 03 + 02 (luz direta) e luminárias 05 e 01 (luz indireta) acesas e Sistema de Iluminação Natural.

De acordo com o gráfico 4.14, a distribuição de iluminâncias se modifica das situações anteriores (gráficos 08,10 e 12), com o acionamento das luminárias 02 diretas+ 01 indiretas. Verifica-se um pico de iluminância (de 560 lux) no ponto à distância de 1,37 metro, na região adjacente às janelas.

Observa-se também que apenas no ponto 6,62 metros, os valores não são superiores a 250 lux, considerado não recomendado de acordo com a classificação estabelecida. Nos demais pontos, a iluminação é suficiente, mesmo não considerando a luz natural.

Gráfico 4.14 – Iluminação Natural + Luminárias 04 + 03 + 02 diretas+05+ 01 indiretas.

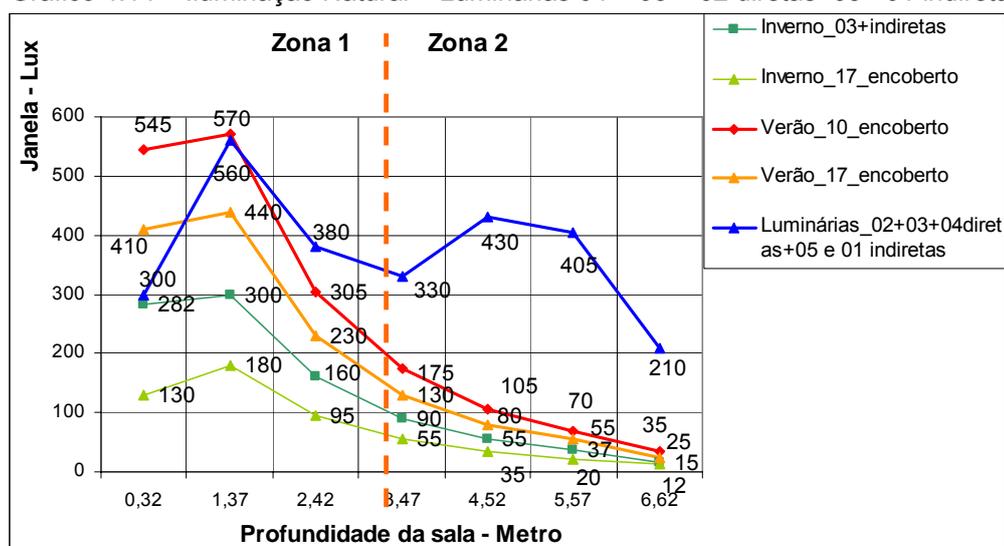
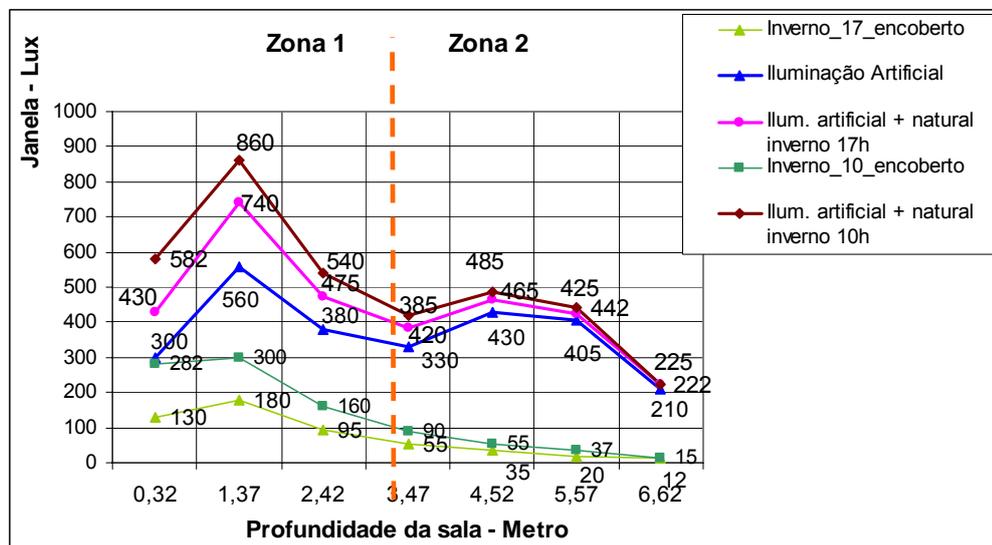


Gráfico 4.15 – Iluminação Natural (inverno 17h)+ artificial (Luminárias 04 + 03 + 02 diretas+05+ 01 indiretas).



Neste caso, o acionamento destas luminárias pode ser evitado no verão durante o horário das 10:00hs, com objetivo de evitar elevadas diferenças de níveis de iluminâncias entre a região próxima a parede oposta às janelas e a região adjacente a elas, que recebe os maiores índices de iluminâncias neste período. Somando-se a iluminação natural + artificial os valores alcançariam mais de 1000 lux.

Esta situação atende a situação mais deficiente de luz natural que é no período de inverno às 17:00hs, produzindo no ponto 1,37 metros, 860 lux.

4.3.2.9 Todas as luminárias acesas

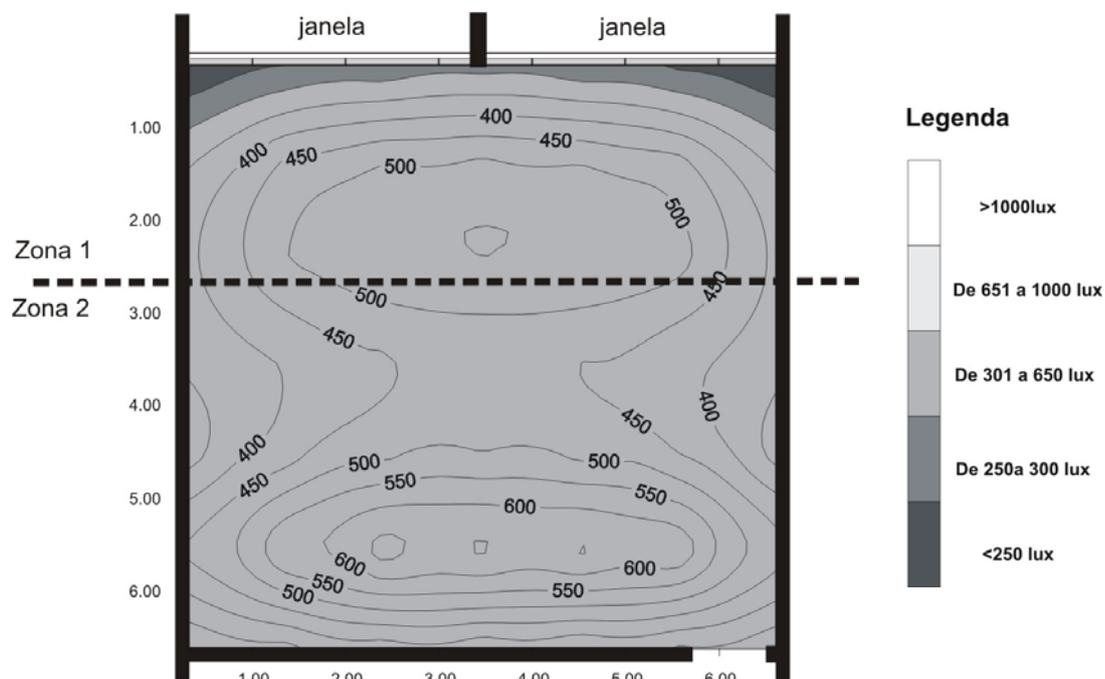


Figura 4.20 – curvas isolux – Todas as luminárias acesas.

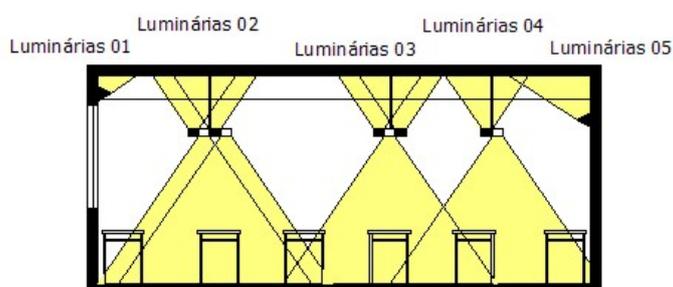


Figura 4.21 – Corte - Todas as luminárias acesas

Quando todas as luminárias estão ligadas, a faixa suficiente de iluminação abrange 94% da área da sala e a faixa de transição inferior 5%. Menos de 1% encontra-se na faixa insuficiente.

Para este caso, a iluminação artificial poderia ser empregada quando os índices de iluminâncias fornecidos pelo sistema de iluminação natural estivessem mais baixos, como no período de inverno.

Observa-se também pela figura 4.20, que a distribuição de iluminâncias se torna mais uniforme, e os níveis de iluminação são considerados bons e regulares em quase 99% da sala. O que indica que a iluminação pode atender aos períodos em que a iluminação natural não estivesse disponível e principalmente no período, no horário das 17:00hs, quando os índices de iluminâncias fornecidos pelo sistema de iluminação natural são menores.

4.3.2.10 Todas as luminárias acesas e Sistema de Iluminação Natural

Quando todas as luminárias se encontram acesas, de acordo com o gráfico 4.16, em todas as distâncias, os níveis de iluminâncias estão na faixa suficiente ou de transição superior. Considerando-se a luz natural, os níveis aumentam e chegam a 1230lux à distância 1,37metro, enquadrando-se na faixa não recomendada, com iluminação excessiva.

Gráfico 4.16 – Iluminação Natural + Todas as luminárias (diretas + indiretas) acesas.

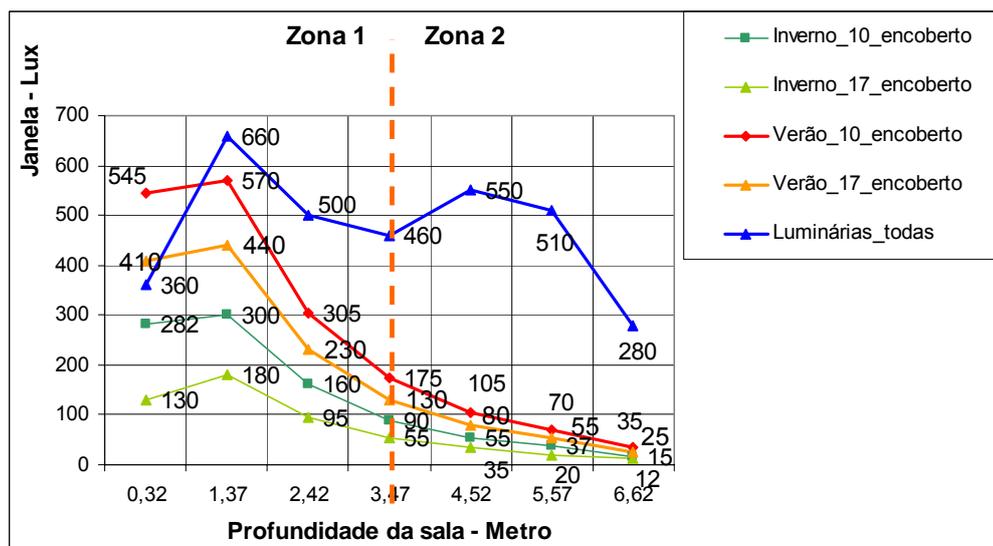
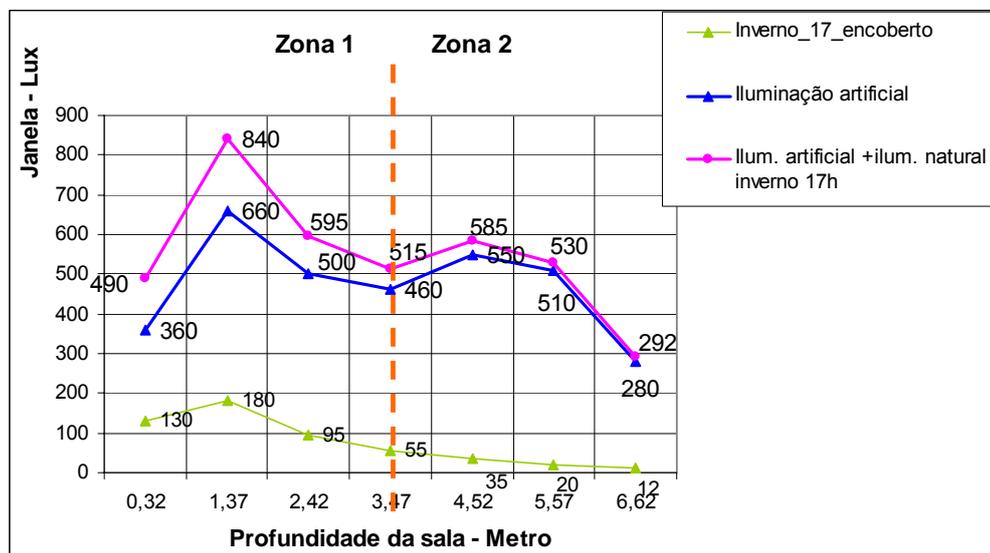


Gráfico 4.17 – Iluminação Natural(inverno 17h) + artificial (todas as luminárias acesas).



A região com menor iluminação é a da distância 6,62 metros, onde os índices no período de inverno às 17:00hs da luz natural + artificial alcançam 292lux, enquanto que a área mais iluminada é a próxima às janelas, envolvendo a zona 1 de iluminação, no ponto 1,37 que atinge 840lux(gráfico 4.19). Observa-se que esta distribuição de luz artificial simula a curva da luz natural com uma curva adicional na zona 2, equilibrando as duas zonas.

4.3.2.11 Todas as luminárias indiretas acesas

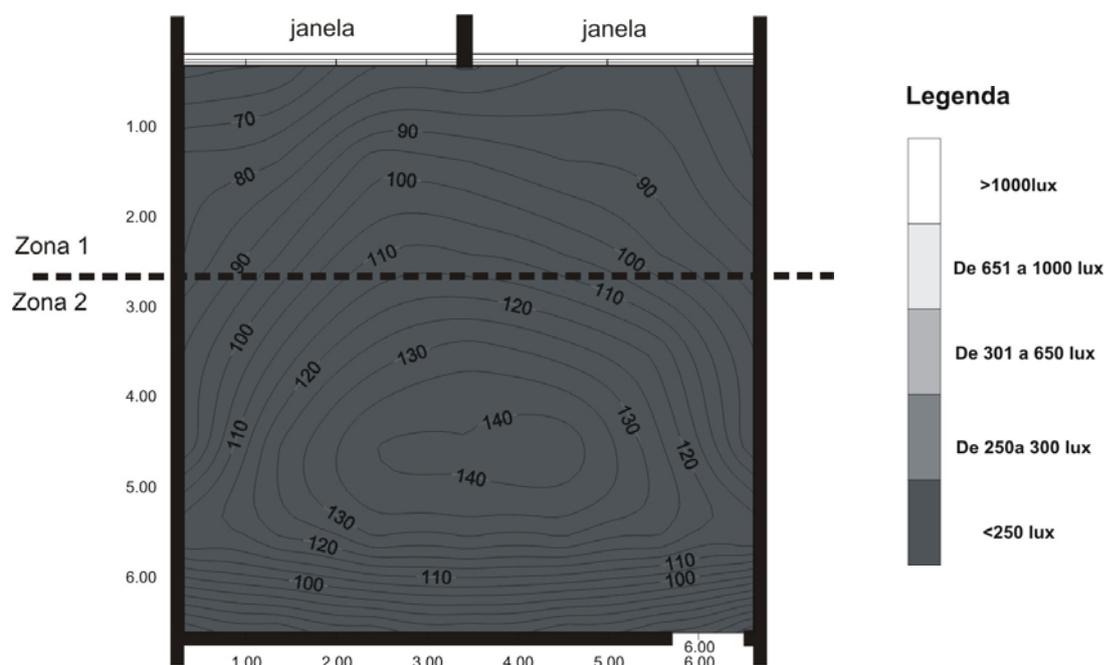


Figura 4.22 – curvas isolux – Todas as luminárias indiretas acesas.

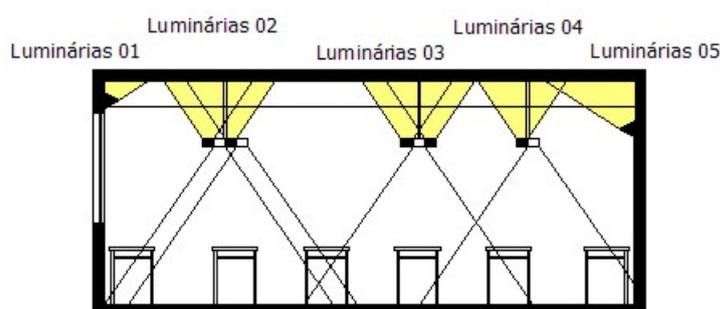


Figura 4.23– Corte - Todas as luminárias indiretas acesas.

De acordo com a figura 5.14, toda a área da sala se encontra no intervalo não recomendado para as atividades escolares. Alcançando valores máximos de 140 lux. Para este caso, onde somente as luminárias indiretas estão acionadas, o teto é iluminado, tornando-se uma fonte de luz para o restante da sala.

Este tipo de iluminação evita o ofuscamento direto e pode ser utilizado para o desenvolvimento de atividades que requeiram a observação de ponto ou região de

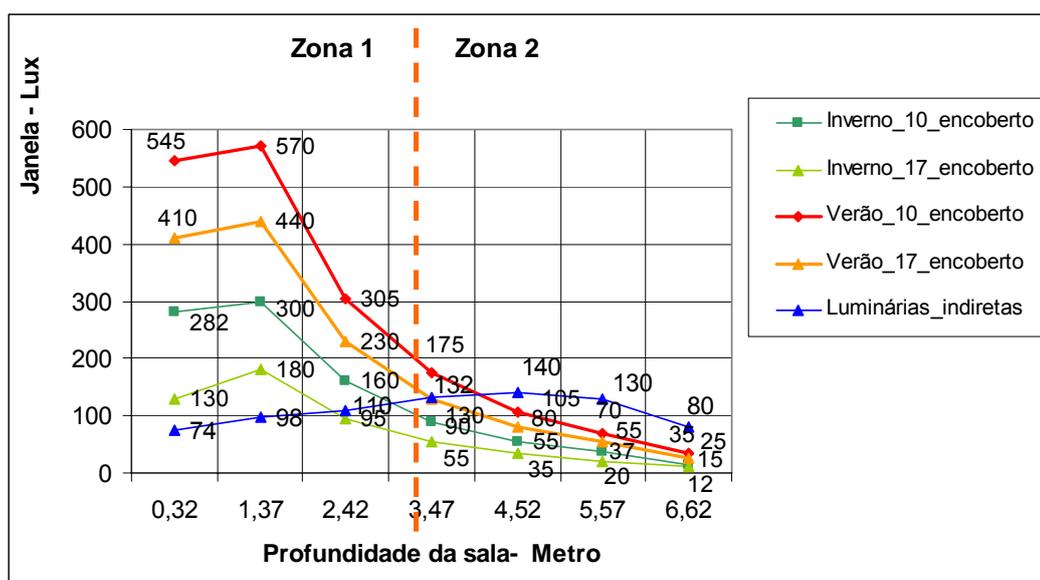
destaque, que esteja mais iluminada, com a tela de uma TV ou de um projetor, ou mesmo para observação do professor durante uma palestra.

4.3.2.12 Todas as luminárias indiretas acesas e Sistema de Iluminação Natural

Quando somente as luminárias indiretas estão acionadas, em nenhuma distância a faixa de iluminância é considerada regular ou boa para as atividades de leitura e escrita, podendo ser utilizada no verão, nos horários em que a luz natural fornecesse maiores índices de iluminação. Já que seus valores máximos atingidos são de 140 e 130 lux nas distâncias 4,52 e 5,57 metros.

Este tipo de iluminação (indireta), pode ser também empregada, para estabelecer uma ambientação mais adequada durante as aulas em que se exercesse atividades com equipamentos áudio visuais (vídeos, retro projetores, displays iluminados) ou para destacar a atenção ao professor que estaria em frente ao quadro, na região munida de uma iluminação localizada (ver figura 4.23). Neste caso, é bom lembrar a necessidade de cortinas ou outro elemento que barre a incidência de luz natural e permita o efeito desejado para o desenvolvimentos destas atividades.

Gráfico 4.1 8 – Iluminação Natural + Todas as luminárias indiretas acesas.



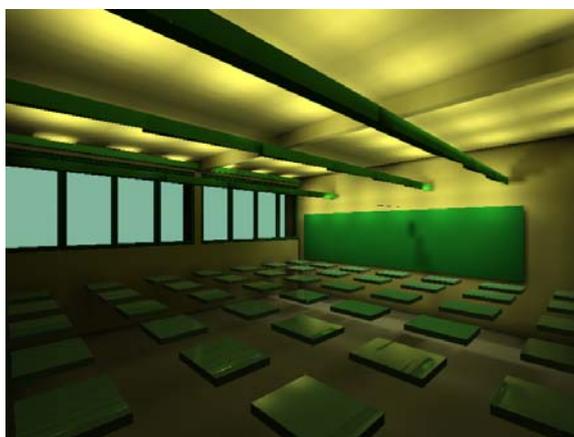


Figura 4.24 – Imagem do Lightscape_ simulação com todas as luminárias indiretas acionadas e luminária localizadas sob o quadro.

De acordo com os gráficos 4.7,4.8,4.9, a iluminação artificial fornecida pode auxiliar na complementação à luz natural com maior eficiência no período de verão (ver linha vermelha e comparar com a linha azul), já que apresentam valores maiores de iluminâncias na região mais afastada das aberturas.

Enquanto que a iluminação artificial observada nos gráficos 4.8 e 4.9, a distribuição de iluminâncias apresenta valores um pouco maiores na região próxima às janelas, com um pico de iluminação nesta região, devido concentração de duas luminárias diretas e duas indiretas que atendem à zona 1 de iluminação. Netas situações, a iluminação natural forneceria valores mais baixos de iluminâncias, nos horários do período de inverno.

4.3.3 Considerações comparativas entre as duas propostas de sistema de iluminação artificial suplementar

As duas propostas de sistema de iluminação artificial têm como objetivo principal suplementar a iluminação natural disponível no ambiente de sala de aula padrão, fornecida através das aberturas laterais. A disposição dos sistemas propostos é efetuada de acordo com a divisão das zonas de iluminação estabelecidas para a iluminação unilateral e o tipo de luminária a ser empregada. Apesar disso, observa-se diferentes configurações entre os dois sistemas propostos,

os quais envolvem desde o tipo de luminárias adotadas, seus posicionamentos em relação às zonas de iluminação e suas quantidades.

A proposta 1 é composta por luminárias diretas, pois têm 100% de seu fluxo voltado para baixo (eixo inferior), e assimétricas, pelo fato do fluxo estar dirigido para o lado direito ou esquerdo, de acordo com seu posicionamento. Isto permitiu direcionar a iluminação artificial para a região menos iluminada pelo sistema de iluminação natural, e oferecer uma iluminação oblíqua à superfície de trabalho, ou seja, semelhante à fornecida pela iluminação natural.

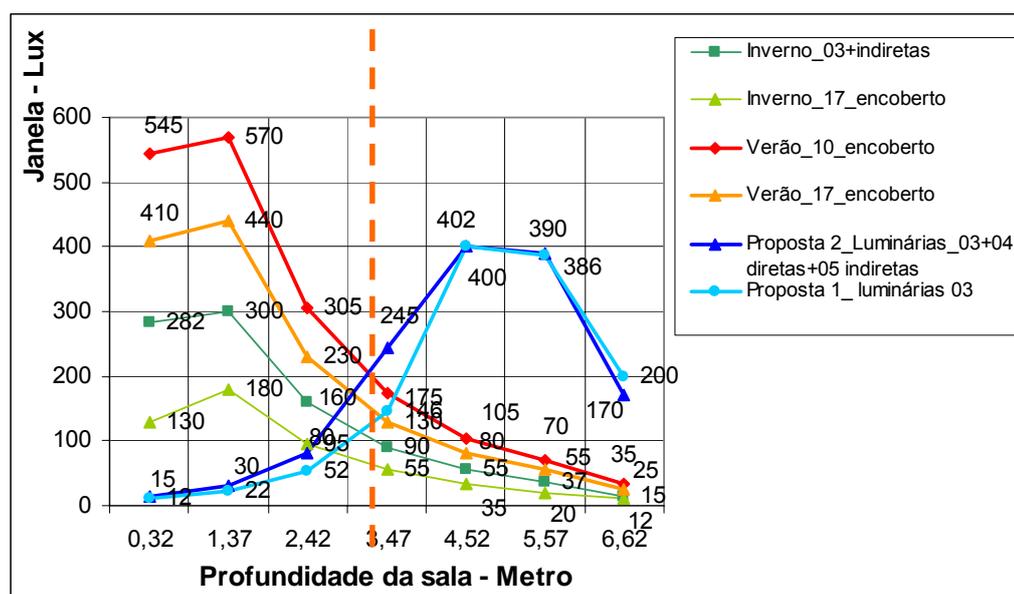
Enquanto isso, a proposta 2 é composta de luminárias diretas e indiretas que têm seu fluxo luminoso direcionado parte para baixo e parte para cima respectivamente. Neste caso, o posicionamento da linha de luminárias torna-se diferente da primeira proposta, devido à fotometria e ao tipo de iluminação fornecida por cada uma. O acionamento segue paralelo às aberturas, assim como na proposta 1, mas gera uma iluminação artificial com maior flexibilidade, através dos acionamentos independentes das luminárias diretas e indiretas. Essa flexibilidade tornou o sistema de iluminação mais complexo do que o primeiro, utilizando maior número de luminárias e conseqüentemente maior potência instalada.

Na primeira proposta, por exemplo, foram empregadas 30 lâmpadas de 32W distribuídas em três circuitos de teto, que totalizaram 960 W, a mesma potência instalada nas luminárias de teto do sistema artificial existente na sala de aula. Entretanto, com disposição e tipos de luminárias distintas existentes na proposta 2, a potência total instalada chega a 768W somente para as luminárias diretas e mais 1728W para todas as luminárias indiretas, totalizando 78 lâmpadas de 32W em todo o sistema. O que indica que a potência instalada da proposta 2 é 2,6 vezes maior que a da proposta 1 para quando todos os circuitos de luminárias estiverem acionados.

Apesar do maior número de lâmpadas empregadas na proposta 2, ela possibilita a iluminação de outros planos da sala como o teto, fornecendo uma iluminação indireta que diminui a ocorrência do ofuscamento direto e indireto. Além de permitir uma maior variabilidade do sistema de iluminação durante o desenvolvimento das atividades visuais diferenciadas como o emprego das luzes indiretas durante conferências, apresentações, ou utilização de equipamentos áudio visuais, ou dos dois tipos de luminárias para iluminar o plano de trabalho.

A distribuição da iluminação fornecida pelas duas propostas apresenta uma curva inversamente proporcional ao da iluminação artificial com valores bastantes próximos na situação em que na proposta 1, as luminárias 03 estão acionadas e na proposta 2 as luminárias 04+03 diretas e 05 indiretas estão ligadas, como pode ser observado nos gráficos 4.11.

Gráfico 4.19 – Luminárias 03 da proposta 1 e luminárias 05+04+03 da proposta 2.



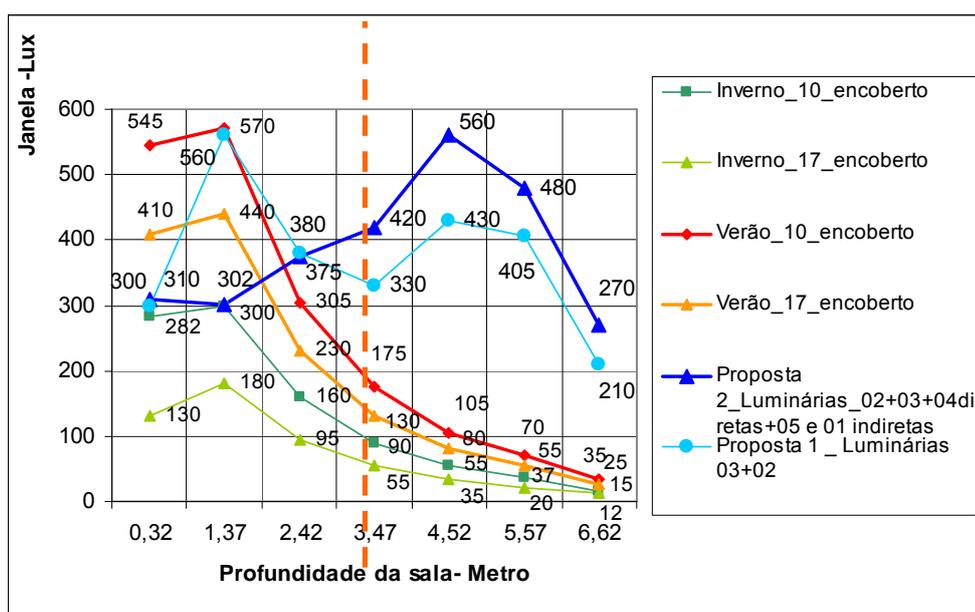
Nesta situação a proposta 2 apresenta valores de iluminâncias um pouco mais elevados que a da proposta 1 no intervalo de 2,20 a 4,0 metros. Observa-se que a distribuição dos níveis de iluminâncias das duas propostas são bastante similares. A diferença está na presença de luminárias indiretas (luminárias 05) que têm seu fluxo direcionado para o teto, fornecendo uma iluminação indireta.

Em ambas as situações, a iluminação artificial suplementar é recomendada para o período de verão, já que no inverno os valores de iluminâncias encontram-se abaixo de 250 lux nas extremidades da sala, mesmo somando os índices da iluminação natural e artificial.

No gráfico 4.10, onde todas as luminárias da proposta 1 estão acionadas e as luminárias 02+03+04(luz direta) e 05+01 (luz indireta) estão ligadas, observa-se que a curva de distribuição da proposta 2 modifica-se em relação a apresentada no 4.11 . A distribuição de iluminância passa a ter valor maior na zona 1 de iluminação

(570lux) decrescendo no intervalo de 2,42 a 4,00 metros e elevando-se novamente no intervalo de 4,52 a 5,57 metros. Esta distribuição é dada em função do acionamento de mais uma linha de luminárias indiretas e diretas, posicionadas próximas às janelas (ver figura 4.17).

Gráfico 4.20 –Todas as luminárias da proposta 1 e luminárias 04+03 + 02 diretas +01 e 05 indiretas da proposta 2.



Nas duas proposta de acordos com os resultados observados, a iluminação fornecida é menos uniforme que a empregada no sistema de iluminação artificial existente, na primeira, há os valores maiores de iluminâncias concentram-se na zona 2 de iluminação, e na segunda, os “ picos” alcançados pelos índices de iluminâncias dividem-se entre as duas zonas.

4.3.4 Contrastes de luminâncias

Os valores de luminâncias fornecidos pelas simulações foram comparados e analisados com as relações recomendadas de acordo com nas seguintes situações:

Proposta 1 de sistema de iluminação artificial suplementar.

4.3.4.1 Iluminação Natural _ verão _ 10:00 hs e as luminárias 03 acionadas;

Tabela 4.1- Relação de luminâncias _ proposta 1 _ luminárias 03 + luz natural.

Relação entre o plano de trabalho e o quadro		
Relação entre Luminâncias	Proporção recomendada	Proporção medida
P4	3:1	2:1
P25	3:1	2,2:1
P46	3:1	2:1
Relação entre o plano de trabalho e as aberturas		
P4	20:1	88:1
P25	20:1	80:1
P46	20:1	104:1
Relação entre o quadro e as aberturas		
	20:1	200:1

4.3.4.2 Iluminação Natural _ inverno _ 17:00hs e todas as luminárias acionadas.

Tabela 4.2- Relação de luminâncias _ proposta 1 _ todas as luminárias + luz natural.

Relação entre o plano de trabalho e o quadro		
Relação entre Luminâncias	Proporção recomendada	Proporção medida
P4	3:1	2,7:1
P25	3:1	2,8:1
P46	3:1	1,9:1
Relação entre o plano de trabalho e as aberturas		
P4	20:1	26:1
P25	20:1	17:1
P46	20:1	28:1
Relação entre o quadro e as aberturas		
	20:1	49:1

De acordo com a tabela 4.1, , os contrastes entre o plano de trabalho e a abertura e o quadro estão bastante elevados, chegando a 104:1 no ponto 46. O mesmo acontece entre o quadro e as aberturas, onde a relação aumenta para 200:1. Isso se deve ao fato do período de verão ,às 10:00hs, apresentar valores de luminâncias de céu bastante elevados, podendo causar desconforto visual ao usuário locado em um dos pontos medidos, por exemplo, que tiver como alvo visual a janela lateral.

Como alternativa para reduzir os contrastes nestes pontos, sugere-se o emprego de elementos de controle na iluminação natural junto às aberturas para atenuar as grandes diferenças de luminâncias entre as superfícies.

Para o período de inverno, de acordo com a tabela 4.2, os contrastes de luminâncias são menores, estando mais próximos dos valores mínimos recomendados, devido a diminuição da luminância na fonte de iluminação natural.

4.3.4.3 Iluminação Natural _ verão _ 10:00hs e as luminárias 04 diretas + 05 indiretas acionadas;

Tabela 4.3- Relação de luminâncias __proposta 2_ luminárias 04 diretas + 05 indiretas e luz natural.

Relação entre o plano de trabalho e o quadro		
Relação entre Luminâncias	Proporção recomendada	Proporção medida
P4	3:1	1,7:1
P25	3:1	1,5:1
P46	3:1	1,4:1
Relação entre o plano de trabalho e as aberturas		
P4	20:1	61:1
P25	20:1	80:1
P46	20:1	72:1
Relação entre o quadro e as aberturas		
	20:1	89:1

Para a situação apresentada na tabela 4.3, a relação de luminância está bastante acima dos índices recomendados em relação ao plano de trabalho e as abertura e, o quadro e as aberturas chegando a 89:1. Estes valores são explicados pelo fato de não haver elemento de controle do sistema de iluminação natural.

Na tabela 4.4, os índices diminuem tornando mais próximos dos recomendados, devido à mudança de horário das 10:00 hs para às 17:00 hs, e do período de verão para o período de inverno.

4.3.4.4 Iluminação Natural _ verão _ 17:00hs e as luminárias 04, 03 diretas +05 indiretas acionadas;

Tabela 4.4- Relação de luminâncias _proposta 2_ luminárias 04,03 diretas + 05 indiretas e luz natural.

Relação entre o plano de trabalho e o quadro		
Relação entre Luminâncias	Proporção recomendada	Proporção medida
P4	3:1	1,5:1
P25	3:1	2,7:1
P46	3:1	2:1
Relação entre o plano de trabalho e as aberturas		
P4	20:1	50:1
P25	20:1	29:1
P46	20:1	40:1
Relação entre o quadro e as aberturas		
	20:1	75:1

4.3.4.5 Iluminação Natural _ inverno _ 10:00hs e as luminárias 04, 03,02 diretas + 05 e 01 indiretas acionadas.

Tabela 4.5- Relação de luminâncias _proposta 2_ luminárias 04,03 diretas + 05 indiretas e luz natural.

Relação entre o plano de trabalho e o quadro		
Relação entre Luminâncias	Proporção recomendada	Proporção medida
P4	3:1	2,8:1
P25	3:1	2,9:1
P46	3:1	2:1
Relação entre o plano de trabalho e o piso		
P4	3:1	2,2:1
P25	3:1	2,3:1
P46	3:1	2,5:1
Relação entre o plano de trabalho e as aberturas		
P4	20:1	35:1
P25	20:1	30:1
P46	20:1	33:1

Relação entre o quadro e as aberturas		
	20:1	47:1

4.3.4.6 Iluminação Natural _ inverno _ 17:00hs e todas as luminárias acionadas.

Tabela 4.6- Relação de luminâncias _ proposta 2 _ todas as luminárias e luz natural.

Relação entre o plano de trabalho e o quadro		
Relação entre Luminâncias	Proporção recomendada	Proporção medida
P4	3:1	3:1
P25	3:1	3,1:1
P46	3:1	2,1:1
Relação entre o plano de trabalho e as aberturas		
P4	20:1	15:1
P25	20:1	18:1
P46	20:1	28:1
Relação entre o quadro e as aberturas		
	20:1	38:1

A tabela 4.6 que representa a iluminação natural no período de inverno no horário das 17:00hs e todas as luminárias da proposta 2 acionadas, apresenta os valores mais próximos dos contrastes desejados. Não ocorrendo em nenhum dos pontos relação de luminância superior a 40:1, maior contraste admissível.

Em todas as tabelas de relações de contrastes, os índices mais elevados estão entre o plano de trabalho e as aberturas, e o quadro e as aberturas, no período de verão, devido ao elevado brilho fornecido pela fonte de luz natural na superfície das janelas. À medida que os horários se alteram, das 10:00hs para as 17:00hs, e modificam-se do período de verão para o período de inverno, quando os valores de luminâncias diminuem, os contrastes diminuem ficando mais próximos dos índices recomendados. Isso demonstra a importância de elementos controladores que reduzam o ofuscamento causado pelo elevado índices de luminâncias provenientes das aberturas.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as simulações realizadas da sala de aula padrão com o sistema de iluminação natural, foi observado que mesmo para o período de verão, situação na qual luz natural fornece maiores valores de iluminâncias, encontram-se partes da sala de aula com valores abaixo de 250lux considerado insuficiente pela classificação determinada (tabela 3.5) .

A parte mais carente de iluminação é a região extrema oposta às aberturas que mesmo para o horário de 10:00hs, durante o verão, apresenta índices reduzidos de iluminâncias. Durante o inverno, nos horários das 10:00 hs e 17:00hs, os valores de iluminâncias diminuem, aumentando a área da sala que necessita de uma iluminação suplementar para elevar os níveis de iluminação nos planos de trabalho.

A área de atuação da iluminação artificial fica mais concentrada durante o dia, para os horários das 10:00hs, na zona 2 de iluminação, área mais afastada das aberturas.

Apesar de regiões da sala de aula apresentar valores abaixo da classificação (250 lux), não significa que nestas áreas há impossibilidade da realização das tarefas com leitura, escrita e observação. A norma brasileira recomenda valores médios entre 200 a 500lux, mas algumas atividades como anotações ou a observação ao professor podem ser realizadas com valores próximos de 200 lux, dependendo da precisão, velocidade ou preferência do usuário.

Assim sendo, as partes da sala que apresentam valores mais baixos de iluminância, devem ser complementadas pelo sistema de iluminação artificial que eleve os níveis de iluminação e ofereça uma flexibilidade no acionamento dos circuitos, sendo requerida a medida que os níveis oferecidos pela luz natural decrescem.

Em relação ao sistema de iluminação artificial suplementar, as duas propostas permitiram a variação da localização das luminárias, bem como o tipo de iluminação fornecida por ela (diretas, indiretas, diretas, assimétricas), Estes tipos de luminárias, empregadas nos dois sistema de iluminação propostas, são bastante diferentes do sistema artificial que comumente é utilizado nas salas de aula padrão. Outras superfícies da sala de aula foram iluminadas, como o teto e as paredes. Esta

estratégia diminui além do risco com o ofuscamento direto, a saturação de iluminâncias na superfície de trabalho.

A iluminação gerada pelas luminárias assimétricas, da proposta 1, proporcionou a complementação da iluminação nas áreas próximas à parede oposta às janelas, através da distribuição inversamente proporcional de iluminâncias, demonstrada nas curvas dos gráficos 4.4,4.5 e 4.6. Esta distribuição dispõe de valores mais altos de iluminâncias concentrados na zona 2 de iluminação, onde se encontram os índices mais baixos produzidos pelo sistema de iluminação natural. A distribuição da iluminação artificial é resultante do posicionamento e da fotometria das luminárias empregadas.

Na proposta 1, a divisão dos circuitos em três (01 + 02 + 03) acionamentos independentes, paralelos à janelas possibilitou o acionamento gradativo da iluminação artificial que acompanhar a distribuição dos níveis de iluminação fornecidos pela luz natural, ou seja, os circuitos podem ser acionados a medida que os níveis de iluminâncias diminuem nas áreas mais distantes das aberturas.

De acordo com as simulações, somente com o circuito 03 acionado, ocorre a elevação das valores de iluminâncias na área oposta às aberturas suplementando à iluminação natural de maneira mais adequada principalmente no período de verão.

Quando as luminárias 03 e 02 estão ligadas, alcançam, conjuntamente com a luz natural, os níveis desejados de iluminâncias nos dois horários do período de verão e no horário das 10:00hs para o inverno. Já para o horário das 17:00hs , no inverno, é necessário que todas as luminárias estejam acesas para atender os níveis de iluminâncias prescritos na norma brasileira. Apesar desta situação apresentar um “pico” de iluminância no ponto referente à distância 4.52 metro (ver gráfico 4.6), este aumento não caracteriza mais de uma zona de iluminação, mesmo, quando a iluminação natural não está disponível.

Na proposta 2, as seis situações das simulações realizadas proporcionaram diferentes soluções para os períodos e horários medidos. De acordo com os gráficos 4.7,4.8 e 4.9, nas três primeiras situações simuladas, a curva de iluminâncias nos pontos medidos é inversamente proporcional à iluminação natural, satisfazendo a suplementação do sistema de iluminação natural nos dois horários do período de verão e no horário das 10:00hs para o período de inverno. A observação dos três gráficos percebe-se que quando as luminárias indiretas são acionadas conjuntamente com as luminárias 04, os valores de iluminâncias

próximos às aberturas são mais elevados que nos gráficos 4.7 e 4.9, tornando a curva de iluminância mais suave nesta região e satisfazendo melhor o período das 10 horas no inverno.

O desenho da curva de iluminância se altera à medida que os outros circuitos são acionados, de acordo com os gráficos 4.10 e 4.11. Os níveis de iluminâncias, para estas duas situações, estão na faixa suficiente ou de transição superior considerando a iluminação natural no período de inverno.

A região menos iluminada é a da distância 6,62 metros, onde os índices no período de inverno da luz natural + artificial alcançam 295lux, enquanto que a área mais iluminada é a próxima às janelas, envolvendo a zona 1 de iluminação, chegando a 960lux quando todas as luminárias estão acesas. Estes dois casos podem ser empregados preferencialmente no período de inverno, sendo poupado o acionamento destas luminárias no período de verão, principalmente no horário das 10:00hs, evitando elevadas diferenças de iluminâncias entre a região próxima a parede oposta às janelas e a região adjacente a elas, que recebe os maiores índices de iluminâncias no verão.

Quando somente as luminárias indiretas estão acionadas, de acordo com o gráfico 4.12, os níveis de iluminância são inferiores às situações anteriores, isso porque o intuito desta variação do sistema de iluminação artificial, não é a suplementação ao sistema de iluminação natural, mas sim, oferecer uma alternativa de iluminação indireta com níveis reduzidos para o desenvolvimento de atividades variadas, que não envolvem a leitura ou escrita direta sobre o plano de trabalho a 75 cm.

Na proposta 1, as lâmpadas são empregadas lâmpadas comuns, sendo facilmente encontradas no mercado através de diferentes marcas. A luminária escolhida é de fabricação nacional, sua composição é bastante simples, (prisma retangular, com uma das faces em vidro translúcido), o que permitiria sua utilização em série nas salas de aula.

Na proposta 2, apesar de apresentar um sistema mais complexo, e com maior variabilidade de iluminação, são empregadas luminárias diretas e indiretas, também bastante comuns, posicionadas diferentemente da proposta 1, mas com o mesmo tipo de lâmpada. Cada luminária é composta por aletas que auxiliam na reflexão do fluxo luminoso e diminuem o risco de ofuscamento direto.

4.5 Limitações

As propostas de iluminação artificial complementar sugeridas nesta pesquisa limitam-se à sala de aula padrão com iluminação unilateral adotada no município de Florianópolis até o ano de 2005. Outros modelos de sala, com iluminação bilateral, por exemplo, acarretariam na execução de propostas diferenciadas, dependendo maior tempo para a elaboração de simulações e quantificação dos dados obtidos. O modelo com iluminação unilateral foi escolhido para delimitar o objeto de estudo e possibilitar o desempenho da pesquisa dentro do prazo estimado.

As simulações do sistema de iluminação natural e artificial no interior da sala, foram limitadas às opções fornecidas pelo software Lightscape, que não permitia a simulações dos dois sistemas conjuntamente como já mencionado anteriormente.

É importante destacar que os sistemas de iluminação propostos têm a função de suplementar a iluminação natural existente, proporcionada através de aberturas unilaterais, e que eventualmente poderiam ser utilizadas para substituir a iluminação natural totalmente, no período noturno, nas situações em que todas as luminárias estão acionadas, como visto nos resultados das simulações. Entretanto, para desempenhar este papel, de tornar-se a única fonte de iluminação, seria necessário o emprego de um sistema artificial mais complexo, com a implantação de fontes artificiais que substituísse integralmente a iluminação natural, durante a noite, fornecendo os níveis adequados de iluminação para toda a sala de aula.

4.6 Recomendações

As simulações foram realizadas de acordo com o modelo que representa a sala de aula padrão empregada até o ano de 2005. Assim sendo, buscou-se a fidelidade às características físicas dos materiais, componentes e dimensões da sala de aula nas simulações executadas. Se observou que não há presença de elementos de controle da iluminação natural, apenas as cortinas em tecido, os quais poderiam diminuir ou evitar desconfortos gerados pela irradiação direta dos raios solares, do excesso de iluminação e de contrastes, principalmente nos períodos

de verão. Para isso, recomenda-se o estudo de elementos de controle que possam atender às salas da rede municipais em diferentes orientações para diminuir os níveis de contrastes principalmente entre as superfícies de trabalho e as aberturas como foram demonstrados nas relações de luminâncias medidas.

Como sistema de acionamento dos sistemas de iluminação artificial, suplementar, para cada uma das duas propostas apresentadas, sugere-se o emprego de fotossensores que controlem o acionamento da iluminação artificial de acordo com a intensidade da luz natural na sala de aula. Seria recomendada também, a possibilidade de acionamento manual por parte do usuário, à medida que houvesse necessidade de maior ou menor nível de iluminação, de acordo com sua preferência, ou para fornecer uma iluminação diferenciada, como no caso acionamento somente das luminárias indiretas. Simulações com os dois componentes de acionamento podem ser elaboradas em trabalhos futuros com o intuito de estabelecer a forma mais adequada do tipo de acionamento e seu desempenho como elemento de controle da iluminação artificial.

O estudo de novos sistemas de iluminação suplementar para salas de aula que apresentem diferentes tipos e de iluminação natural como: aberturas zenitais, bilaterais e outros, podem ser realizados, empregando novas disposições de pontos de luz artificiais, além da utilização de diferenciada fotometria de luminárias. Novas pesquisas podem contribuir para a implementação de um sistema de iluminação artificial diversificado e flexível para as edificações escolares.

Para o trabalhos futuros recomenda-se também a utilização de outros parâmetros de avaliação além dos empregados nesta pesquisa, como a investigação dos níveis de iluminação de outros planos (paredes e tetos) e até mobiliário. Além, da elaboração de propostas que empreguem diferentes texturas, cores e materiais de revestimentos com o intuito de fornecer um melhor equilíbrio na distribuição de luminâncias no ambiente de sala de aula.

5 BIBLIOGRAFIA:

ABNT: **Iluminância de interiores**, NBR 5413. Associação Brasileira de Normas técnicas: Rio de Janeiro, 1991

AYALA, J. M.; GONZALES, R. G.; GARCIA, R. P.. **Curso de iluminacion integrada em la arquitectura**. Colégio Oficial de arquitectos de madrid, Madrid,1991.

ARNHEIM, Rudolf, 1904. **Arte & Percepção Visual. Uma psicologia da Visão Criadora : nova versão**. Traduzido em 1980, Editora da Universidade de São Paulo.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE L'ÉCLAIRAGE (AFE). **Reconmmations relatives à l'éclairage intérieur**. LUX- Paris, 1977, 10^a ed

ATANASIO, Veridiana.; FONSECA, Raphaela W.; LOPES, Aline C. de S. **Estruturação do estágio de docência: Uma abordagem visual do fenômeno da Iluminação Natural**.. Trabalho apresentado na Disciplina Tópicos especiais em ensino de Conforto Ambiental, Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. editors: **Daylighting in Architecture: A European Reference Book**. Commission of the European Communities,1993 James & James Ltda.

BAKER, N.; PARPAIRI, K.; STEEMERS, K. editors: **Daylighting quality through user preferences**. Architecture, City, Enviroment, Proceedings of PLEA, Cambrige, UK., 2000.

BARACHO, A. S.; SILVA, F. C. **Desempenhos de Dispositivos de Controle de Iluminação Natural Através de Simuladores Computacionais**. Laboratório de Conforto Ambiental e Consumo de Energia. Universidade Federal de Uberlândia-FAURB, Jun/2004.

BENYA, JAMES R. **Lighting for Schools**. Nacional Clearinghouse for Education Facilities.Washington, Dez, 2001.

BROWN, W.C & RUBERG, K. (2003). **Window performance factors**. Disponível em: www.irc.nrc.cnrc.gc.ca/bsi/88_E.html. Acesso em: 15/04/2006.

BRYAN, H. **Lighting/daylighting analysis: a comparison**. Proceedings of the 27th National Passive Solar Conference, American Solar Energy Society, FAIA and Sayyed Mohammed Autif, R. Campbell-Howe, editor,2002.

CABÚS, R. C. **Análise do desempenho luminoso de sistema de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

CARVALHO, Licínio Cantarino. **Gestão de energia nos edifícios escolares na satisfação das exigências de conforto visual**. Relato apresentado no Encontro da Direção-Geral das Construções sobre Gestão de Energia nos Edifícios Escolares , Lisboa,1983, 1^a ed.

CIBSE. Code for interior lighting. The chartered Institution of Building Services Engineers. London, Great Britain: Multiplex Techniques Ltd.

COHEN, M. F.; GREENBERG, D. P. (1985). **The hemi-cube: a radiosity solution for complex environments**. ACM – Computer Graphics, v.19, n° 3, 1985, pp 31-40.

CLARO, A. (1998). **Modelo vetorial esférico para radiação aplicada à iluminação natural**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis/SC, 1998.

CLARO A.; MACEDO, C.C.; KREMER, A.; SOUZA, R. V. G..(2001). **Simulação de iluminação Natural utilizando o Lightscape: Uma análise do desempenho frente a diferentes características de superfícies**. Labcon, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, SC.

CLARO A., PEREIRA F. O. R , AGUIAR G. P.. **Desenvolvimento do Protótipo do Software LuzSolar para Análise e Projeto de Iluminação Natural em Arquitetura e Urbanismo**. Disponível em: <www.arq.ufsc.br/~labcon/apolux/apolux.htm> 28 de junho de 2004.

CORREA, Sílvia R. M.. **Luz Natural y Luz Artificial.Integración de sistemas y su aplicación en proyectos de escuelas**. Tese de Doutorado, Universidade Politécnica da Catalunya.Espanha ,1998.

DAYLIGHTING COLLABORATIVE,(2003). **Case study : appleton school district**. Disponível em:< http://www.daylighting.org/pubs/appleton_case_study.pdf > Acesso em: 02/05/2006.

DEPARTMENT FOR EDUCATION. **Passive Solar Schools - A Design Guide**. Building Bulletin 79, Architects and Building Division.HMSO Publications, London.

ERENKRANTZ GROUP. **The cost/benefit of daylight in commercial buildings**. Washington, 1979.

GEOFFREY, G. R.. **A comparative study of lighting simulation packages suitable for use in architectural design**. School of Engineering. Murdock University.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina,1997, Florianópolis/SC.

GRUPO DE ALUMBRAMENTO DE ADAE. **Calidad Del ambiente visual em las escuelas**. Revista Montañanes e Instalaciones.,Nº 184.

GLANCEY, Jonathan. **História da Arquitetura**. GRB, Verona Itália, 2001.

HOPKINSON,R.G.;PETHERBRIGE,P. & LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Fundação Calouse Gulbernkin, Lisboa, 1975.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 4a reimpressão. São Paulo: Editora E. Blücher,1997. Cap. 13, p.250-272: Ambiente: Iluminação e cores.

IES. Illuminating Engineering Society of North America. **IES Lighting Handbook-References and Applications**, 8th edition, IESNA, New York, 1995.

IESNA **Linghting Education, Intermediate Level**. Illuminating Engineering Society of America, New York, 1993.

KALFF, I. C.. **Creative Light**. Teh Macmillan Press, Londres, 1971.

KITTLER, R.. **The relation of sky types to relative sunshine duration**. Building Research Journal(45, n^o 1). Spon Press, London, UK, 1997.

KREMER, Adriano. **A influência de elementos de obstrução solar no nível ena distribuição interna de iluminação natural: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as Formgiver for Architecture**. Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1986.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F.; DUTRA, L. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Ed. PW, 1997LAKATOS, Eva Maria, MARCONI, Marina. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 1991, 3^a ed.

LAS CASAS AYALA, J. M., GONZALEZ R. G.,GARCIA, R. P.. **Curso de Iluminación Integrada em La Arquitectura**. Colégio Oficial de Arquitectos de Madri (COAM), Madrid, 1991.

LE CORBUSIER. **Por uma arquitetura**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1977, 2^a ed

LOPES, Aline C. de S.. **Projeto de escola para ensino médio e profissionalizante**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, junho, 2002.

LUMINI, **Soluções em Iluminação**. Catálogo de produtos. Lumini Equipamentos de Iluminação Ltda, 2002.

HESCHONG MAHONE GROUP. **Daylighting in Schools:An Investigation Into the Relationship Between Daylighting and Human Performance**. San Francisco, Calif.: Pacific Gas and Electric Company,1999.

DESIGHLIGHTS, **Lighting for Classrooms: combining quality design and energy efficiency**. Lighting Knowhow *series*. Copyright 2002, Northeast Energy Efficiency Partnerships, Inc., 2002.

LYNCH, Kevin. **A imagem da Cidade**. São Paulo: Editora Martins Fontes, 1997, 1^a ed.

MOECK, M. (1998): **On daylight quality and quantity and its application to advanced daylight systems**. Journal of the Illuminating Engineering Society (IES), Vol. 27, n.1.

MOORE, Fuller. **Concepts and Praticce of Architecture Dayighting**. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1991

MOREIRA, Vinicius de Araújo. **Iluminação e fotometria**. Teoria e Aplicação. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1982, 2ª ed.

N.V.. PHILIPS. **Manual de Iluminação**. Holanda, 1981, 3ª ed

OLIVEIRA, Nildo Carlos. **O que os Estados estão projetando e construindo**. Revista Projeto nº 87, p.42-47, edição de maio 1986.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Osram, São Paulo. Disponível em: <<http://www.osram.com.br>>. Acesso em: 10 fevereiro de 2005.

PEDROSO, Israel. **Da cor à cor inexistente**. Rio de Janeiro, Léo Christiano Editorial Ltda, 1989, 5ª ed.

PEREIRA, R. C. **Estudo da iluminação espacial e do brilho das superfícies**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2001

PEREIRA, Fernando O. R.. **Iluminação Natural no Ambiente Construído** Apostila do curso oferecido durante o II encontro Nacional e I Latino, Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado- SC, 1995.

PEREIRA, Roberto Carlos. **A qualidade da iluminação no ambiente construído - estudo da iluminação especial e do brilho das superfícies**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2001.

PMF. Lei Municipal n. 1246/74. **Código de Obras e Edificações**. Secretaria Municipal de Urbanismo e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Florianópolis /SC , 1996.

REA, Mark S., RUTLEDGE, Burr, MANICCIA, Dorene. **Beyond daylight dogma**. In: International Daylighting Conference 98. 10-13 May 1998, Ottawa, Ontario, Canada, 1998.

RAMALHO, Maria L. P. e WOLFF, Sílvia F. S.. **As escolas públicas paulistas na Primeira República**. Revista Projeto nº 87, p.64-71, edição de maio 1986.

RE, Vittorio. **Iluminação interna : civil e industrial**. Hemus livaria e editora, São Paulo, 1978

ROBBINS, Claude L.. **Daylighting: Design and Analysis**. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1986.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 30.436, de 30 de setembro de 1986**. Regulamenta o artigo 28 da Lei nº 6328 de 20 de dezembro de 1983, que dispõe sobre estabelecimento de ensino.set,1986.

SEGAWA, Hugo. **Arquiteturas escolares**. Revista Projeto nº 87, p.64-71, edição de maio 1986.

SERRA, Rafael. **Clima Lugar y Arquitectura**. Centro de Investigaciones Energeticas, Metdioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

SOUZA, Marcos Barros de. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2003.

SOUZA, M. B.; LEITE, M. T.; LINO, L.; PEREIRA, F. O. R. **Metodologia de avaliação de sistemas de iluminação natural e artificial integrados.** Labcon, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, SC.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. **Desenvolvimento de modelos matemáticos empíricos para a descrição dos fenômenos de iluminação natural externa e interna.** Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis-SC, 2004

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. **Iluminação Natural em Edificações: Cálculo de Iluminâncias Internas - desenvolvimento de ferramenta simplificada.** Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 1997.

STEFFY, G. R.. **Architectural lighting design.** New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1990, 202p.

UBBELOHDE, S. y Humann, C. **Comparative evaluation of four daylighting software programs.** ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings. American Council for an Energy-Efficient Economy, 1998.

VIANNA, Nelson Solano & GONÇALVES, Joana Carla Soares. **Iluminação e Arquitetura.** Geros s/c LTDA, São Paulo, SP, 2001, 2ª ed.

YENER, Alpin Koknel. **Daylight Analysis in Classrooms with Solar Control.** Architectural Science Review, v. 45 p.311-316, dez. 2002.

_____. *A escola e a cidade. Período 3 - Tempos Modernos.* São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.aprenda450anos.com.br/450anos/escola_cidade/3_programa_necessidad.es.asp>. Acesso em: 10 agosto de 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabelas de iluminâncias da simulação de iluminação natural
APÊNDICE B – Tabelas da iluminâncias da simulação de iluminação artificial

APÊNDICE A

Tabelas de iluminâncias da simulação de iluminação natural

Tabela A.1 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

	Período: Verão_10:00hs_ céu encoberto			
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	415	Lux
P2	1,37	0,32	498	Lux
P3	2,42	0,32	501	Lux
P4	3,47	0,32	545	Lux
P5	4,52	0,32	507	Lux
P6	5,57	0,32	522	Lux
P7	6,62	0,32	430	Lux
P8	0,32	1,37	393	Lux
P9	1,37	1,37	479	Lux
P10	2,42	1,37	525	Lux
P11	3,47	1,37	570	Lux
P12	4,52	1,37	536	Lux
P13	5,57	1,37	497	Lux
P14	6,62	1,37	412	Lux
P15	0,32	2,42	205	Lux
P16	1,37	2,42	256	Lux
P17	2,42	2,42	288	Lux
P18	3,47	2,42	305	Lux
P19	4,52	2,42	293	Lux
P20	5,57	2,42	268	Lux
P21	6,62	2,42	220	Lux
P22	0,32	3,47	120	Lux
P23	1,37	3,47	146	Lux
P24	2,42	3,47	164	Lux
P25	3,47	3,47	175	Lux
P26	4,52	3,47	169	Lux
P27	5,57	3,47	154	Lux
P28	6,62	3,47	132	Lux
P29	0,32	4,52	74	Lux
P30	1,37	4,52	88	Lux
P31	2,42	4,52	100	Lux
P32	3,47	4,52	105	Lux
P33	4,52	4,52	103	Lux
P34	5,57	4,52	94	Lux
P35	6,62	4,52	83	Lux
P36	0,32	5,57	52	Lux
P37	1,37	5,57	63	Lux
P38	2,42	5,57	71	Lux
P39	3,47	5,57	70	Lux
P40	4,52	5,57	73	Lux
P41	5,57	5,57	67	Lux

P42	6,62	5,57	59	Lux
P43	0,32	6,62	38	Lux
P44	1,37	6,62	29	Lux
P45	2,42	6,62	30	Lux
P46	3,47	6,62	35	Lux
P47	4,52	6,62	32	Lux
P48	5,57	6,62	28	Lux
P49	6,62	6,62	24	Lux

Tabela A.2 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

	Período: Verão_17:00hs_ céu encoberto			
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	315	Lux
P2	1,37	0,32	382	Lux
P3	2,42	0,32	382	Lux
P4	3,47	0,32	410	Lux
P5	4,52	0,32	385	Lux
P6	5,57	0,32	400	Lux
P7	6,62	0,32	327	Lux
P8	0,32	1,37	300	Lux
P9	1,37	1,37	365	Lux
P10	2,42	1,37	401	Lux
P11	3,47	1,37	440	Lux
P12	4,52	1,37	408	Lux
P13	5,57	1,37	378	Lux
P14	6,62	1,37	313	Lux
P15	0,32	2,42	156	Lux
P16	1,37	2,42	195	Lux
P17	2,42	2,42	219	Lux
P18	3,47	2,42	230	Lux
P19	4,52	2,42	223	Lux
P20	5,57	2,42	204	Lux
P21	6,62	2,42	167	Lux
P22	0,32	3,47	92	Lux
P23	1,37	3,47	110	Lux
P24	2,42	3,47	124	Lux
P25	3,47	3,47	130	Lux
P26	4,52	3,47	128	Lux
P27	5,57	3,47	117	Lux
P28	6,62	3,47	100	Lux
P29	0,32	4,52	56	Lux
P30	1,37	4,52	67	Lux
P31	2,42	4,52	76	Lux
P32	3,47	4,52	80	Lux
P33	4,52	4,52	80	Lux
P34	5,57	4,52	72	Lux

P35	6,62	4,52	63	Lux
P36	0,32	5,57	38	Lux
P37	1,37	5,57	47	Lux
P38	2,42	5,57	53	Lux
P39	3,47	5,57	55	Lux
P40	4,52	5,57	54	Lux
P41	5,57	5,57	50	Lux
P42	6,62	5,57	43	Lux
P43	0,32	6,62	27	Lux
P44	1,37	6,62	20	Lux
P45	2,42	6,62	20	Lux
P46	3,47	6,62	25	Lux
P47	4,52	6,62	23	Lux
P48	5,57	6,62	22	Lux
P49	6,62	6,62	18	Lux

Tabela A.3 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

Período: Inverno_10:00hs_ céu encoberto				
Distância da janela- metro				
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	216	Lux
P2	1,37	0,32	261	Lux
P3	2,42	0,32	260	Lux
P4	3,47	0,32	282	Lux
P5	4,52	0,32	263	Lux
P6	5,57	0,32	273	Lux
P7	6,62	0,32	223	Lux
P8	0,32	1,37	206	Lux
P9	1,37	1,37	251	Lux
P10	2,42	1,37	275	Lux
P11	3,47	1,37	300	Lux
P12	4,52	1,37	279	Lux
P13	5,57	1,37	258	Lux
P14	6,62	1,37	214	Lux
P15	0,32	2,42	107	Lux
P16	1,37	2,42	133	Lux
P17	2,42	2,42	150	Lux
P18	3,47	2,42	160	Lux
P19	4,52	2,42	153	Lux
P20	5,57	2,42	140	Lux
P21	6,62	2,42	114	Lux
P22	0,32	3,47	63	Lux
P23	1,37	3,47	75	Lux
P24	2,42	3,47	85	Lux
P25	3,47	3,47	90	Lux
P26	4,52	3,47	88	Lux
P27	5,57	3,47	80	Lux

P28	6,62	3,47	69	Lux
P29	0,32	4,52	39	Lux
P30	1,37	4,52	46	Lux
P31	2,42	4,52	52	Lux
P32	3,47	4,52	55	Lux
P33	4,52	4,52	54	Lux
P34	5,57	4,52	50	Lux
P35	6,62	4,52	43	Lux
P36	0,32	5,57	27	Lux
P37	1,37	5,57	33	Lux
P38	2,42	5,57	37	Lux
P39	3,47	5,57	37	Lux
P40	4,52	5,57	37	Lux
P41	5,57	5,57	36	Lux
P42	6,62	5,57	29	Lux
P43	0,32	6,62	18	Lux
P44	1,37	6,62	14	Lux
P45	2,42	6,62	16	Lux
P46	3,47	6,62	15	Lux
P47	4,52	6,62	16	Lux
P48	5,57	6,62	15	Lux
P49	6,62	6,62	12	Lux

Tabela A.4 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

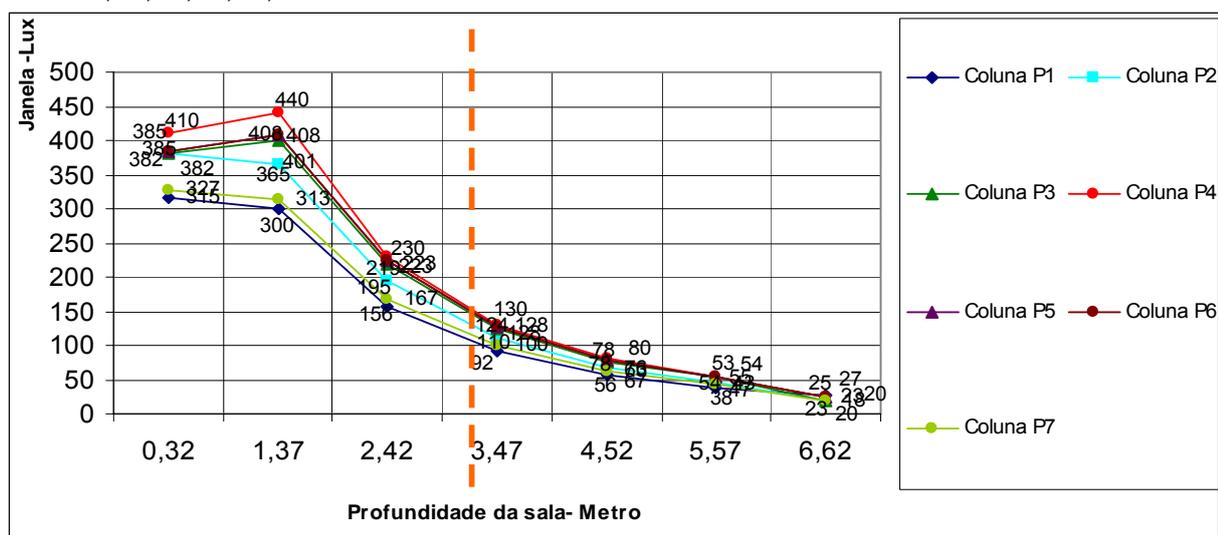
Período: Inverno_17:00hs_ céu encoberto				
Distância da janela- metro				
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	100	Lux
P2	1,37	0,32	120	Lux
P3	2,42	0,32	125	Lux
P4	3,47	0,32	130	Lux
P5	4,52	0,32	128	Lux
P6	5,57	0,32	126	Lux
P7	6,62	0,32	103	Lux
P8	0,32	1,37	123	Lux
P9	1,37	1,37	149	Lux
P10	2,42	1,37	165	Lux
P11	3,47	1,37	180	Lux
P12	4,52	1,37	166	Lux
P13	5,57	1,37	155	Lux
P14	6,62	1,37	128	Lux
P15	0,32	2,42	64	Lux
P16	1,37	2,42	78	Lux
P17	2,42	2,42	93	Lux
P18	3,47	2,42	95	Lux
P19	4,52	2,42	92	Lux
P20	5,57	2,42	83	Lux
P21	6,62	2,42	68	Lux
P22	0,32	3,47	37	Lux

P23	1,37	3,47	45	Lux
P24	2,42	3,47	51	Lux
P25	3,47	3,47	55	Lux
P26	4,52	3,47	52	Lux
P27	5,57	3,47	48	Lux
P28	6,62	3,47	41	Lux
P29	0,32	4,52	24	Lux
P30	1,37	4,52	28	Lux
P31	2,42	4,52	31	Lux
P32	3,47	4,52	35	Lux
P33	4,52	4,52	32	Lux
P34	5,57	4,52	30	Lux
P35	6,62	4,52	26	Lux
P36	0,32	5,57	16	Lux
P37	1,37	5,57	20	Lux
P38	2,42	5,57	22	Lux
P39	3,47	5,57	20	Lux
P40	4,52	5,57	22	Lux
P41	5,57	5,57	22	Lux
P42	6,62	5,57	18	Lux
P43	0,32	6,62	11	Lux
P44	1,37	6,62	9	Lux
P45	2,42	6,62	10	Lux
P46	3,47	6,62	12	Lux
P47	4,52	6,62	10	Lux
P48	5,57	6,62	8	Lux
P49	6,62	6,62	7	Lux

Tabela A.5 Valores de iluminâncias médias nos pontos : P1 a P7

Período: Verão_17:00hs_ céu encoberto						
P1	0,32	315		P5		
	1,37	300			0,32	385
	2,42	156			1,37	408
	3,47	92			2,42	223
	4,52	56			3,47	128
	5,57	38			4,52	78
	6,62	27			5,57	54
			6,62	23		
P2	0,32	382		P6	0,32	400
	1,37	365			1,37	378
	2,42	195			2,42	204
	3,47	110			3,47	117
	4,52	67			4,52	72
	5,57	47			5,57	50
	6,62	20			6,62	22
P3	0,32	382		P7	0,32	327
	0,32	401			1,37	313
	2,42	219			2,42	167
	3,47	124			3,47	100
	4,52	76			4,52	63
	5,57	53			5,57	43
	6,62	20			6,62	18
P4	0,32	410				
	1,37	440				
	2,42	230				
	3,47	130				
	4,52	80				
	5,57	55				
	6,62	25				

Gráfico A.1 Representação das curva de iluminâncias nas colunas dos pontos P1, P2,P3,P4,P5,P6,P7.



APÊNDICE B**Tabelas da iluminâncias da simulação de iluminação artificial**Tabela B.1 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha.
Luminárias Existentes

Luminárias existentes				
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	200	Lux
P2	1,37	0,32	250	Lux
P3	2,42	0,32	370	Lux
P4	3,47	0,32	380	Lux
P5	4,52	0,32	360	Lux
P6	5,57	0,32	280	Lux
P7	6,62	0,32	200	Lux
P8	0,32	1,37	250	Lux
P9	1,37	1,37	460	Lux
P10	2,42	1,37	610	Lux
P11	3,47	1,37	670	Lux
P12	4,52	1,37	630	Lux
P13	5,57	1,37	490	Lux
P14	6,62	1,37	300	Lux
P15	0,32	2,42	300	Lux
P16	1,37	2,42	500	Lux
P17	2,42	2,42	660	Lux
P18	3,47	2,42	740	Lux
P19	4,52	2,42	665	Lux
P20	5,57	2,42	530	Lux
P21	6,62	2,42	330	Lux
P22	0,32	3,47	280	Lux
P23	1,37	3,47	460	Lux
P24	2,42	3,47	590	Lux
P25	3,47	3,47	650	Lux
P26	4,52	3,47	600	Lux
P27	5,57	3,47	500	Lux
P28	6,62	3,47	300	Lux
P29	0,32	4,52	300	Lux
P30	1,37	4,52	500	Lux
P31	2,42	4,52	660	Lux
P32	3,47	4,52	710	Lux
P33	4,52	4,52	670	Lux
P34	5,57	4,52	520	Lux
P35	6,62	4,52	320	Lux
P36	0,32	5,57	250	Lux
P37	1,37	5,57	450	Lux
P38	2,42	5,57	595	Lux
P39	3,47	5,57	640	Lux
P40	4,52	5,57	590	Lux

P41	5,57	5,57	440	Lux
P42	6,62	5,57	260	Lux
P43	0,32	6,62	200	Lux
P44	1,37	6,62	350	Lux
P45	2,42	6,62	370	Lux
P46	3,47	6,62	400	Lux
P47	4,52	6,62	380	Lux
P48	5,57	6,62	320	Lux
P49	6,62	6,62	190	Lux

Tabela B.2 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

Proposta 1 Luminárias 03 acesas				
Distância da janela- metro				
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	7	Lux
P2	1,37	0,32	5	Lux
P3	2,42	0,32	6	Lux
P4	3,47	0,32	12	Lux
P5	4,52	0,32	15	Lux
P6	5,57	0,32	18	Lux
P7	6,62	0,32	20	Lux
P8	0,32	1,37	8	Lux
P9	1,37	1,37	10	Lux
P10	2,42	1,37	21	Lux
P11	3,47	1,37	22	Lux
P12	4,52	1,37	24	Lux
P13	5,57	1,37	32	Lux
P14	6,62	1,37	30	Lux
P15	0,32	2,42	8	Lux
P16	1,37	2,42	15	Lux
P17	2,42	2,42	40	Lux
P18	3,47	2,42	52	Lux
P19	4,52	2,42	55	Lux
P20	5,57	2,42	58	Lux
P21	6,62	2,42	70	Lux
P22	0,32	3,47	16	Lux
P23	1,37	3,47	55	Lux
P24	2,42	3,47	125	Lux
P25	3,47	3,47	146	Lux
P26	4,52	3,47	145	Lux
P27	5,57	3,47	150	Lux
P28	6,62	3,47	165	Lux
P29	0,32	4,52	170	Lux
P30	1,37	4,52	340	Lux
P31	2,42	4,52	390	Lux
P32	3,47	4,52	402	Lux
P33	4,52	4,52	390	Lux
P34	5,57	4,52	375	Lux

P35	6,62	4,52	275	Lux
P36	0,32	5,57	110	Lux
P37	1,37	5,57	300	Lux
P38	2,42	5,57	383	Lux
P39	3,47	5,57	386	Lux
P40	4,52	5,57	400	Lux
P41	5,57	5,57	387	Lux
P42	6,62	5,57	305	Lux
P43	0,32	6,62	90	Lux
P44	1,37	6,62	140	Lux
P45	2,42	6,62	170	Lux
P46	3,47	6,62	200	Lux
P47	4,52	6,62	180	Lux
P48	5,57	6,62	180	Lux
P49	6,62	6,62	135	Lux

Tabela B.3 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

Proposta 1_Luminárias 03+02 acesas				
Distância da janela- metro				
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	20	Lux
P2	1,37	0,32	20	Lux
P3	2,42	0,32	30	Lux
P4	3,47	0,32	40	Lux
P5	4,52	0,32	45	Lux
P6	5,57	0,32	35	Lux
P7	6,62	0,32	30	Lux
P8	0,32	1,37	75	Lux
P9	1,37	1,37	85	Lux
P10	2,42	1,37	85	Lux
P11	3,47	1,37	90	Lux
P12	4,52	1,37	80	Lux
P13	5,57	1,37	95	Lux
P14	6,62	1,37	80	Lux
P15	0,32	2,42	105	Lux
P16	1,37	2,42	195	Lux
P17	2,42	2,42	230	Lux
P18	3,47	2,42	245	Lux
P19	4,52	2,42	240	Lux
P20	5,57	2,42	235	Lux
P21	6,62	2,42	190	Lux
P22	0,32	3,47	280	Lux
P23	1,37	3,47	300	Lux
P24	2,42	3,47	325	Lux
P25	3,47	3,47	335	Lux
P26	4,52	3,47	340	Lux

P27	5,57	3,47	330	Lux
P28	6,62	3,47	300	Lux
P29	0,32	4,52	260	Lux
P30	1,37	4,52	440	Lux
P31	2,42	4,52	525	Lux
P32	3,47	4,52	520	Lux
P33	4,52	4,52	550	Lux
P34	5,57	4,52	520	Lux
P35	6,62	4,52	380	Lux
P36	0,32	5,57	200	Lux
P37	1,37	5,57	360	Lux
P38	2,42	5,57	425	Lux
P39	3,47	5,57	445	Lux
P40	4,52	5,57	460	Lux
P41	5,57	5,57	450	Lux
P42	6,62	5,57	340	Lux
P43	0,32	6,62	180	Lux
P44	1,37	6,62	240	Lux
P45	2,42	6,62	240	Lux
P46	3,47	6,62	220	Lux
P47	4,52	6,62	218	Lux
P48	5,57	6,62	235	Lux
P49	6,62	6,62	200	Lux

Tabela B.4 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

Proposta 1_Luminárias 03+02+01 acesas				
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	250	Lux
P2	1,37	0,32	270	Lux
P3	2,42	0,32	290	Lux
P4	3,47	0,32	310	Lux
P5	4,52	0,32	330	Lux
P6	5,57	0,32	300	Lux
P7	6,62	0,32	290	Lux
P8	0,32	1,37	180	Lux
P9	1,37	1,37	240	Lux
P10	2,42	1,37	290	Lux
P11	3,47	1,37	302	Lux
P12	4,52	1,37	330	Lux
P13	5,57	1,37	330	Lux
P14	6,62	1,37	320	Lux
P15	0,32	2,42	250	Lux
P16	1,37	2,42	300	Lux
P17	2,42	2,42	360	Lux
P18	3,47	2,42	375	Lux
P19	4,52	2,42	370	Lux

P20	5,57	2,42	380	Lux
P21	6,62	2,42	380	Lux
P22	0,32	3,47	260	Lux
P23	1,37	3,47	300	Lux
P24	2,42	3,47	400	Lux
P25	3,47	3,47	420	Lux
P26	4,52	3,47	430	Lux
P27	5,57	3,47	400	Lux
P28	6,62	3,47	360	Lux
P29	0,32	4,52	390	Lux
P30	1,37	4,52	470	Lux
P31	2,42	4,52	550	Lux
P32	3,47	4,52	560	Lux
P33	4,52	4,52	565	Lux
P34	5,57	4,52	500	Lux
P35	6,62	4,52	410	Lux
P36	0,32	5,57	305	Lux
P37	1,37	5,57	420	Lux
P38	2,42	5,57	470	Lux
P39	3,47	5,57	480	Lux
P40	4,52	5,57	490	Lux
P41	5,57	5,57	470	Lux
P42	6,62	5,57	350	Lux
P43	0,32	6,62	130	Lux
P44	1,37	6,62	210	Lux
P45	2,42	6,62	250	Lux
P46	3,47	6,62	270	Lux
P47	4,52	6,62	280	Lux
P48	5,57	6,62	260	Lux
P49	6,62	6,62	170	Lux

Tabela B.5 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

Proposta 2 Luminárias 04(direta)+05(indireta)				
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	4	Lux
P2	1,37	0,32	5	Lux
P3	2,42	0,32	6	Lux
P4	3,47	0,32	7	Lux
P5	4,52	0,32	6	Lux
P6	5,57	0,32	5	Lux
P7	6,62	0,32	5	Lux
P8	0,32	1,37	8	Lux
P9	1,37	1,37	8	Lux
P10	2,42	1,37	10	Lux
P11	3,47	1,37	10	Lux
P12	4,52	1,37	10	Lux
P13	5,57	1,37	10	Lux
P14	6,62	1,37	8	Lux

P15	0,32	2,42	13	Lux
P16	1,37	2,42	16	Lux
P17	2,42	2,42	20	Lux
P18	3,47	2,42	20	Lux
P19	4,52	2,42	20	Lux
P20	5,57	2,42	19	Lux
P21	6,62	2,42	14	Lux
P22	0,32	3,47	33	Lux
P23	1,37	3,47	43	Lux
P24	2,42	3,47	49	Lux
P25	3,47	3,47	50	Lux
P26	4,52	3,47	50	Lux
P27	5,57	3,47	46	Lux
P28	6,62	3,47	35	Lux
P29	0,32	4,52	103	Lux
P30	1,37	4,52	147	Lux
P31	2,42	4,52	165	Lux
P32	3,47	4,52	160	Lux
P33	4,52	4,52	160	Lux
P34	5,57	4,52	150	Lux
P35	6,62	4,52	105	Lux
P36	0,32	5,57	200	Lux
P37	1,37	5,57	270	Lux
P38	2,42	5,57	300	Lux
P39	3,47	5,57	302	Lux
P40	4,52	5,57	302	Lux
P41	5,57	5,57	280	Lux
P42	6,62	5,57	200	Lux
P43	0,32	6,62	108	Lux
P44	1,37	6,62	107	Lux
P45	2,42	6,62	100	Lux
P46	3,47	6,62	120	Lux
P47	4,52	6,62	100	Lux
P48	5,57	6,62	110	Lux
P49	6,62	6,62	95	Lux

Tabela B.6 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha.

Proposta 2_Luminárias 04(direta)+todas as luminárias indiretas acesas				
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	55	Lux
P2	1,37	0,32	70	Lux
P3	2,42	0,32	77	Lux
P4	3,47	0,32	80	Lux
P5	4,52	0,32	77	Lux
P6	5,57	0,32	70	Lux
P7	6,62	0,32	55	Lux

P8	0,32	1,37	68	Lux
P9	1,37	1,37	87	Lux
P10	2,42	1,37	100	Lux
P11	3,47	1,37	100	Lux
P12	4,52	1,37	105	Lux
P13	5,57	1,37	95	Lux
P14	6,62	1,37	70	Lux
P15	0,32	2,42	95	Lux
P16	1,37	2,42	110	Lux
P17	2,42	2,42	120	Lux
P18	3,47	2,42	130	Lux
P19	4,52	2,42	125	Lux
P20	5,57	2,42	110	Lux
P21	6,62	2,42	90	Lux
P22	0,32	3,47	145	Lux
P23	1,37	3,47	155	Lux
P24	2,42	3,47	170	Lux
P25	3,47	3,47	170	Lux
P26	4,52	3,47	175	Lux
P27	5,57	3,47	155	Lux
P28	6,62	3,47	138	Lux
P29	0,32	4,52	220	Lux
P30	1,37	4,52	265	Lux
P31	2,42	4,52	285	Lux
P32	3,47	4,52	290	Lux
P33	4,52	4,52	285	Lux
P34	5,57	4,52	265	Lux
P35	6,62	4,52	200	Lux
P36	0,32	5,57	285	Lux
P37	1,37	5,57	370	Lux
P38	2,42	5,57	400	Lux
P39	3,47	5,57	395	Lux
P40	4,52	5,57	400	Lux
P41	5,57	5,57	378	Lux
P42	6,62	5,57	288	Lux
P43	0,32	6,62	175	Lux
P44	1,37	6,62	195	Lux
P45	2,42	6,62	210	Lux
P46	3,47	6,62	200	Lux
P47	4,52	6,62	210	Lux
P48	5,57	6,62	200	Lux
P49	6,62	6,62	180	Lux

Tabela B.7 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha

Proposta 2_Luminárias 04(direta)+03 (direta) + 05 (indireta) acesas				
Distância da janela- metro				
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	10	Lux

P2	1,37	0,32	12	Lux
P3	2,42	0,32	14	Lux
P4	3,47	0,32	15	Lux
P5	4,52	0,32	14	Lux
P6	5,57	0,32	13	Lux
P7	6,62	0,32	11	Lux
P8	0,32	1,37	20	Lux
P9	1,37	1,37	25	Lux
P10	2,42	1,37	28	Lux
P11	3,47	1,37	30	Lux
P12	4,52	1,37	29	Lux
P13	5,57	1,37	27	Lux
P14	6,62	1,37	21	Lux
P15	0,32	2,42	56	Lux
P16	1,37	2,42	70	Lux
P17	2,42	2,42	77	Lux
P18	3,47	2,42	80	Lux
P19	4,52	2,42	80	Lux
P20	5,57	2,42	74	Lux
P21	6,62	2,42	57	Lux
P22	0,32	3,47	180	Lux
P23	1,37	3,47	224	Lux
P24	2,42	3,47	235	Lux
P25	3,47	3,47	245	Lux
P26	4,52	3,47	240	Lux
P27	5,57	3,47	235	Lux
P28	6,62	3,47	180	Lux
P29	0,32	4,52	290	Lux
P30	1,37	4,52	370	Lux
P31	2,42	4,52	397	Lux
P32	3,47	4,52	400	Lux
P33	4,52	4,52	405	Lux
P34	5,57	4,52	390	Lux
P35	6,62	4,52	285	Lux
P36	0,32	5,57	270	Lux
P37	1,37	5,57	358	Lux
P38	2,42	5,57	380	Lux
P39	3,47	5,57	390	Lux
P40	4,52	5,57	389	Lux
P41	5,57	5,57	367	Lux
P42	6,62	5,57	270	Lux
P43	0,32	6,62	120	Lux
P44	1,37	6,62	145	Lux
P45	2,42	6,62	158	Lux
P46	3,47	6,62	170	Lux
P47	4,52	6,62	160	Lux
P48	5,57	6,62	150	Lux
P49	6,62	6,62	130	Lux

Tabela B.8 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha.

Proposta 2_Luminárias 04+03+02(direta) + 05+ 01(indireta) acesas

	Distância da janela- metro		
	Eixo X	Eixo Y	
P1	0,32	0,32	20 Lux
P2	1,37	0,32	270 Lux
P3	2,42	0,32	310 Lux
P4	3,47	0,32	300 Lux
P5	4,52	0,32	302 Lux
P6	5,57	0,32	286 Lux
P7	6,62	0,32	197 Lux
P8	0,32	1,37	385 Lux
P9	1,37	1,37	522 Lux
P10	2,42	1,37	594 Lux
P11	3,47	1,37	570 Lux
P12	4,52	1,37	579 Lux
P13	5,57	1,37	556 Lux
P14	6,62	1,37	375 Lux
P15	0,32	2,42	252 Lux
P16	1,37	2,42	341 Lux
P17	2,42	2,42	385 Lux
P18	3,47	2,42	380 Lux
P19	4,52	2,42	384 Lux
P20	5,57	2,42	360 Lux
P21	6,62	2,42	255 Lux
P22	0,32	3,47	237 Lux
P23	1,37	3,47	300 Lux
P24	2,42	3,47	328 Lux
P25	3,47	3,47	330 Lux
P26	4,52	3,47	333 Lux
P27	5,57	3,47	316 Lux
P28	6,62	3,47	238 Lux
P29	0,32	4,52	310 Lux
P30	1,37	4,52	395 Lux
P31	2,42	4,52	428 Lux
P32	3,47	4,52	430 Lux
P33	4,52	4,52	430 Lux
P34	5,57	4,52	414 Lux
P35	6,62	4,52	307 Lux
P36	0,32	5,57	275 Lux
P37	1,37	5,57	370 Lux
P38	2,42	5,57	400 Lux
P39	3,47	5,57	405 Lux
P40	4,52	5,57	400 Lux
P41	5,57	5,57	380 Lux
P42	6,62	5,57	270 Lux
P43	0,32	6,62	160 Lux
P44	1,37	6,62	180 Lux
P45	2,42	6,62	200 Lux
P46	3,47	6,62	210 Lux
P47	4,52	6,62	200 Lux
P48	5,57	6,62	175 Lux
P49	6,62	6,62	135 Lux

Tabela B.9 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha.

Todas as luminárias acesas				
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	300	Lux
P2	1,37	0,32	330	Lux
P3	2,42	0,32	370	Lux
P4	3,47	0,32	360	Lux
P5	4,52	0,32	350	Lux
P6	5,57	0,32	340	Lux
P7	6,62	0,32	305	Lux
P8	0,32	1,37	460	Lux
P9	1,37	1,37	600	Lux
P10	2,42	1,37	675	Lux
P11	3,47	1,37	660	Lux
P12	4,52	1,37	660	Lux
P13	5,57	1,37	645	Lux
P14	6,62	1,37	475	Lux
P15	0,32	2,42	325	Lux
P16	1,37	2,42	425	Lux
P17	2,42	2,42	485	Lux
P18	3,47	2,42	500	Lux
P19	4,52	2,42	485	Lux
P20	5,57	2,42	450	Lux
P21	6,62	2,42	330	Lux
P22	0,32	3,47	360	Lux
P23	1,37	3,47	405	Lux
P24	2,42	3,47	445	Lux
P25	3,47	3,47	460	Lux
P26	4,52	3,47	450	Lux
P27	5,57	3,47	415	Lux
P28	6,62	3,47	365	Lux
P29	0,32	4,52	390	Lux
P30	1,37	4,52	500	Lux
P31	2,42	4,52	540	Lux
P32	3,47	4,52	550	Lux
P33	4,52	4,52	546	Lux
P34	5,57	4,52	520	Lux
P35	6,62	4,52	390	Lux
P36	0,32	5,57	345	Lux
P37	1,37	5,57	460	Lux
P38	2,42	5,57	500	Lux
P39	3,47	5,57	510	Lux
P40	4,52	5,57	500	Lux
P41	5,57	5,57	470	Lux
P42	6,62	5,57	340	Lux
P43	0,32	6,62	200	Lux
P44	1,37	6,62	250	Lux
P45	2,42	6,62	260	Lux

P46	3,47	6,62	280	Lux
P47	4,52	6,62	260	Lux
P48	5,57	6,62	240	Lux
P49	6,62	6,62	200	Lux

Tabela B.10 Valores de iluminâncias médias dos pontos da malha.

Proposta 2_Todas as luminárias indiretas acesas				
	Distância da janela- metro			
	Eixo X	Eixo Y		
P1	0,32	0,32	58	Lux
P2	1,37	0,32	60	Lux
P3	2,42	0,32	75	Lux
P4	3,47	0,32	74	Lux
P5	4,52	0,32	80	Lux
P6	5,57	0,32	82	Lux
P7	6,62	0,32	70	Lux
P8	0,32	1,37	77	Lux
P9	1,37	1,37	80	Lux
P10	2,42	1,37	98	Lux
P11	3,47	1,37	98	Lux
P12	4,52	1,37	90	Lux
P13	5,57	1,37	88	Lux
P14	6,62	1,37	75	Lux
P15	0,32	2,42	80	Lux
P16	1,37	2,42	95	Lux
P17	2,42	2,42	110	Lux
P18	3,47	2,42	110	Lux
P19	4,52	2,42	105	Lux
P20	5,57	2,42	95	Lux
P21	6,62	2,42	85	Lux
P22	0,32	3,47	90	Lux
P23	1,37	3,47	110	Lux
P24	2,42	3,47	126	Lux
P25	3,47	3,47	132	Lux
P26	4,52	3,47	130	Lux
P27	5,57	3,47	118	Lux
P28	6,62	3,47	95	Lux
P29	0,32	4,52	90	Lux
P30	1,37	4,52	125	Lux
P31	2,42	4,52	140	Lux
P32	3,47	4,52	140	Lux
P33	4,52	4,52	143	Lux
P34	5,57	4,52	126	Lux
P35	6,62	4,52	95	Lux
P36	0,32	5,57	115	Lux
P37	1,37	5,57	120	Lux
P38	2,42	5,57	130	Lux
P39	3,47	5,57	130	Lux
P40	4,52	5,57	130	Lux
P41	5,57	5,57	125	Lux

P42	6,62	5,57	120	Lux
P43	0,32	6,62	65	Lux
P44	1,37	6,62	70	Lux
P45	2,42	6,62	76	Lux
P46	3,47	6,62	80	Lux
P47	4,52	6,62	75	Lux
P48	5,57	6,62	69	Lux
P49	6,62	6,62	55	Lux

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivo geral	5
1.2.1	Específicos:	5
1.3	Estrutura do Trabalho	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	PERSPECTIVA HISTÓRICA DAS ESCOLAS NO BRASIL	7
2.2	LUZ NATURAL	12
2.2.1	Fontes de Luz Natural	15
2.2.2	Luz do sol	15
2.2.3	Luz da abóbada celeste	15
2.2.4	Tipos de céus	16
2.2.5	Disponibilidade e Variabilidade da Iluminação Natural	16
2.3	VISÃO E CAMPO VISUAL	17
2.3.1	Contraste	18
2.3.2	Distribuição de Luminâncias	19
2.3.3	Equilíbrio de luminâncias x contraste	20
2.3.4	Ofuscamento	22
2.4	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL	23
2.4.1	Aberturas Laterais	24
2.5	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SUPLEMENTAR	27
2.5.1	Componentes da iluminação Artificial	29
2.5.2	Tipos de disposições do sistema artificial	35
2.5.3	Sistemas de controle de iluminação artificial	38
2.5.4	Integração Luz Natural+Artificial	39
2.5.5	Zonas de Iluminação	40
2.5.6	Recomendações para elaboração de projeto de iluminação	43
2.6	ATIVIDADES VISUAIS EM SALAS DE AULA	46
2.6.1	Tipos de atividades visuais	46
2.7	MÉTODOS COMPUTACIONAIS	50
3	METODOLOGIA	52
3.1.1	Delimitação do Objeto de Estudo	53
3.1.2	Escola Padrão	53
3.1.3	Sala de Aula Padrão	55
3.2	ESCOLHA DO SOFTWARE	57
3.2.1	Preparação do Modelo	59
3.2.2	Malha de pontos	60
3.3	ZONAS DE ILUMINAÇÃO	61
3.4	SIMULAÇÕES DA ILUMINAÇÃO NATURAL	62
3.4.1	Orientação	63
3.4.2	Condição de céu	63
3.4.3	Parâmetros para luz natural	65
3.5	SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	65
3.5.1	Sistema de Iluminação Artificial Existente em Sala de Aula Padrão	66
3.6	Sistema de Iluminação Artificial Proposto	68
3.6.1	Proposta 1 de Iluminação Artificial Suplementar	69
3.6.2	Proposta 2 de Iluminação Artificial Suplementar	70
3.7	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	72
3.7.1	Simulações	72
3.7.2	Níveis de iluminâncias	72

3.7.3	Sistema de Iluminação Artificial Suplementar e Iluminação Natural ...	73
3.7.4	Contraste entre luminâncias	75
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
4.1	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL	78
4.1.1	Verão _ Horário: 10:00hs - Fachada Norte_ Céu encoberto.....	78
4.1.2	Verão_ Horário: 17:00hs - Horário: 17:00hs_ Céu encoberto.....	79
4.1.3	Inverno_ Horário: 10:00hs - Fachada Norte_ Céu encoberto	80
4.1.4	Inverno_ Horário: 17:00hs - Fachada Norte_ Céu encoberto	81
4.2	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	84
4.2.1	Sistema de Iluminação Artificial Existente na sala de aula padrão	84
4.3	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL SUPLEMENTAR PROPOSTO	87
4.3.1	Proposta 1 de Sistema de Iluminação Artificial Suplementar.....	87
4.3.2	Proposta 2 de Sistema de Iluminação Suplementar à Iluminação Natural	97
4.3.3	Considerações comparativas entre as duas propostas de sistema de iluminação artificial suplementar	113
4.3.4	Contrastes de luminâncias.....	117
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
4.5	Limitações	124
4.6	Recomendações.....	124
5	BIBLIOGRAFIA:	126
	APÊNDICES.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Temperatura de cor correlata e aparência de cor.	29
Tabela 2.2 - Classificação das luminárias pela CIE.	33
Tabela 2.3- Níveis de iluminamentos recomendados para iluminação de interiores.	45
Tabela 2.4 – Refletâncias Recomendadas.....	46
Tabela 3. 1 : Características das superfícies do modelo simulacional.	59
Tabela 3.2 - Classificação de céu de Florianópolis segundo Amaral (1999) e Souza (2004).	64
Tabela 3. 3 : Daylight Setup.....	65
Tabela 3.4 – Classificação das zonas por intervalo de iluminância.	73
Tabela 3.5 – Zonas de classificação por intervalos de iluminâncias.....	73
Tabela 4.1- Relação de luminâncias _proposta 1_ luminárias 03 + luz natural.	117
Tabela 4.2- Relação de luminâncias _proposta 1_ todas as luminárias + luz natural.	117
Tabela 4.3- Relação de luminâncias _proposta 2_ luminárias 04 diretas + 05 indiretas e luz natural.	118
Tabela 4.4- Relação de luminâncias _proposta 2_ luminárias 04,03 diretas + 05 indiretas e luz natural.	119
Tabela 4.5- Relação de luminâncias _proposta 2_ luminárias 04,03 diretas + 05 indiretas e luz natural.	119
Tabela 4.6- Relação de luminâncias _proposta 2_ todas as luminárias e luz natural.	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Projeto Tipo de Escola (1895).....	8
Figura 2.2 – Projeto Tipo de Escola (1905).....	9
Figura 2. 3 - Grupo Escolar Pedro Voss.	11
Figura 2. 4- exemplo de escola com iluminação lateral – Colégio Imaculada Conceição- Florianópolis/SC.....	12
Figura 2.10 – Exemplo de relação de luminâncias em sala de aula.....	21
Figura 2.11 – Tipos de ofuscamento.	22
Figura 2.12 – Tipos de janelas.....	26
Figura 2.13– Curva Fotométrica para uma fonte real.....	31
Figura 2.19- Tipos de iluminação artificial.	37
Figura 20 – Zonas de iluminação para modelo com abertura lateral (dados de SOUZA 2003).....	42
Figura: 2.21 : Exemplo de um ambiente hipotético simulado com o mecanismo de renderização:.....	51
Figura 3.1 : Escola Padrão-projeto de 2001 - Planta Baixa Pavimento Térreo....	54
Figura 3.2 :Sala de Aula Padrão - Planta Baixa	55
Figura 3.3 :Sala de Aula Padrão - Corte.	56
Figura 3.4: Imagem do arquivo de preparação (.lp) com janelas abertas de materiais, luminárias e Daylight Setup.....	58
Figura 3. 5: Malha de pontos de medição.	60
Figura 3.6 – Zonas de Iluminação para modelo padrão com abertura lateral baseado no modelo de SOUZA (2003).....	61
Figura 3.7 - Divisão de zonas da sala de aula padrão.....	62
Figura 3.10 – Imagem Lightscape-Fotometria de luminária direta assimétrica. 66	
Figura 3.11 –luminária existente em sala de aula padrão.....	67
Figura 3.12 – Planta baixa com localização das luminárias de teto existentes. 67	
Figura 3.13 – Luminárias existentes localizadas para quadro negro.	68
Figura 3.14 – Planta baixa (a) e Corte (b) com localização de luminárias.....	69
Figura 3.15 – Curva de distribuição das luminárias assimétricas.	69
Figura 3.16 – Planta baixa (a) e Vista (b) com localização de luminárias.....	70
Figura 3.19 – Pontos de medição escolhidos para representação em gráfico.. 74	
Figura 3.20 – Planta baixa dos pontos de luminâncias medidos e vista das superfícies medidas.....	76
Figura 4.2 – Iluminação Natural - Norte_verão_17:00hs_céu encoberto.....	80
Figura 4.3 – Iluminação Natural -Norte_inverno_10:00hs_céu encoberto	81
Figura 4.4 – Iluminação Natural -Norte_inverno_17:00hs_céu encoberto.	82
Figura 4.5 – Iluminação Artificial existente.	84
Figura 4.6 – curvas isolux - Luminárias Assimétricas_03	87
Figura 4.7 –Corte -Luminárias Assimétricas_03.....	87
Figura 4.8 – curvas isolux - Luminárias Assimétricas_03+02	90
Figura 4.9 –Corte -Luminárias Assimétricas_03+02.....	90
Figura 4.10 – curvas isolux - Luminárias Assimétricas_03+02+01.....	93
Figura 4.11 –Corte -Luminárias Assimétricas_03+02+01.	93
Figura 4.12 – curvas isolux - Luminárias 04 diretas+05 acesas.....	97
Figura 4.13 –Corte - Luminárias 04 (luz direta) +05 (luz indireta)acesas.....	97
Figura 4.14 – curvas isolux - Luminárias 04 (luz direta)+ luminárias indiretas.100	
Figura 4.15–Corte - Luminárias 04 diretas+ luminárias indiretas.	100
Figura 4.16 – curvas isolux - Luminárias 04 + 03 diretas+ 05.....	102

Figura 4.17 – Corte - Luminárias 04 + 03 (luz direta) + 05 (luz indireta).....	103
Figura 4.18 – curvas isolux - Luminárias 04 + 03 + 02 diretas+ 05 e 01 acesas.....	105
Figura 4.19 – Corte - Luminárias 04 + 03 + 02 (luz direta)+ 05 e 01(luz indireta) acesas.	105
Figura 4.20 – curvas isolux – Todas as luminárias acesas.	108
Figura 4.21 – Corte - Todas as luminárias acesas.....	108
Figura 4.22 – curvas isolux – Todas as luminárias indiretas acesas.	111
Figura 4.23– Corte - Todas as luminárias indiretas acesas.....	111
Figura 4.24 – Imagem do Lightscape_ simulação com todas as luminárias indiretas acionadas e luminária localizadas sob o quadro.	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4. 1 – Iluminação Natural + Luminárias Existentes 01+02+03.....	85
Gráfico 4.2 – Iluminação Natural e Luminárias 03.....	88
Gráfico 4.3 – Iluminação natural (verão_10h e inverno 17h) + artificial (luminárias 03).....	89
Gráfico 4.4 – Iluminação Natural + Luminárias 02+03.....	91
Gráfico 4.5 – Iluminação natural (verão_17h e inverno 17h) + artificial (luminárias 03+ 02).....	92
Gráfico 4.6 – Iluminação Natural + Luminárias 01+02+03.....	94
Gráfico 4.7– Iluminação natural (verão_17h e inverno 17h) + artificial (luminárias 03+ 02 + 01).....	95
Gráfico 4.8– Iluminação Natural + Luminárias 04 diretas+05 indiretas.	98
Gráfico 4.9– Iluminação natural (verão_10h e inverno 17h) + artificial (luminárias 04+ 05).....	99
Gráfico 4.10 – Iluminação Natural + Luminárias 04 diretas+todas indiretas.....	101
Gráfico 4.11– Iluminação natural (verão_10h e inverno 17h) + artificial (luminárias 04+ superiores).....	102
Gráfico 4.12– Iluminação Natural + Luminárias 04 + 03 diretas+05 indiretas. ..	104
Gráfico 4.13 – Iluminação Natural (verão_17h e inverno 17h) + artificial (Luminárias 04 + 03 diretas+05 indiretas).	104
Gráfico 4.14 – Iluminação Natural + Luminárias 04 + 03 + 02 diretas+05+ 01 indiretas.	106
Gráfico 4.15 – Iluminação Natural (inverno 17h)+ artificial (Luminárias 04 + 03 + 02 diretas+05+ 01 indiretas).	107
Gráfico 4.16 – Iluminação Natural + Todas as luminárias (diretas + indiretas) acesas.	109
Gráfico 4.17 – Iluminação Natural(inverno 17h) + artificial (todas as luminárias acesas).	110
Gráfico 4.1 8 – Iluminação Natural + Todas as luminárias indiretas acesas.....	112
Gráfico 4.19 – Luminárias 03 da proposta 1 e luminárias 05+04+03 da proposta 2.	115
Gráfico 4.20 –Todas as luminárias da proposta 1 e luminárias 04+03 + 02 diretas +01 e 05 indiretas da proposta 2.	116

RESUMO

O emprego da iluminação natural em salas de aula pode oferecer um ambiente visual mais agradável e de maior estímulo aos seus usuários, além de fornecer níveis adequados de iluminâncias para o desenvolvimento das atividades visuais, o que conseqüentemente pode gerar economia de energia elétrica. Apesar disso, os projetos de iluminação artificiais implantados na maioria das salas de aulas das escolas não consideram a presença da luz natural, atuando independente do sistema de iluminação natural existente. Esta pesquisa visa avaliar duas propostas de integração dos dois sistemas de iluminação (artificial + natural) permitindo a suplementação do sistema de iluminação natural nos períodos em os valores de iluminâncias sejam insuficientes para a execução das atividades visuais. O processo metodológico envolveu o levantamento de um modelo de sala de aula padrão com abertura unilateral; a determinação de divisão de zonas de iluminação e a elaboração de simulações computacionais do sistema de iluminação natural existente e do sistema de iluminação artificial suplementar proposto através do programa Lightscape v. 3.2. Os resultados permitiram a avaliação dos níveis de iluminação e das relações de contrastes entre luminâncias em pontos determinados. A pesquisa pretende contribuir para o emprego de um sistema de iluminação artificial diferenciado em salas de aula fornecendo um ambiente de maior qualidade para seus usuários.

Palavras-chaves: salas de aula, sistema de iluminação natural, sistema de iluminação artificial suplementar.

ABSTRACT

The use of daylight in classrooms can offer a visual environment more pleasant and with a bigger stimulation to its users, besides supplying adequate levels of illuminance for the development of the visual activities, what as a result it can generate economy of electric energy. Despite this, the electric lights in the most part of the classrooms of the schools do not consider the presence of the daylight, acting independent of the existing daylighting system. This research intends to evaluate two proposals of integration of the two lighting systems (artificial + natural) being allowed the supplement of the daylighting system in the periods that the values of illuminances are insufficient for the execution of the visual activities. The method involved the survey of a model of a standard classroom with unilateral opening; the determination of division of illumination zones and the elaboration of computational simulations of the existing daylighting system and of the considered supplementary electric lighting system of the Lightscape v. 3.2 computer program. The results had allowed the evaluation of the illumination levels and the relations of contrasts between luminances in certain points. The research intends to contribute for the use of a daylighting system differentiated in classrooms supplying an environment of bigger quality to its users.

Keywords: classrooms, daylighting, supplementary artificial lighting

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
PÓSARQ

Autora: Aline Cesa de Sousa Lopes

**Avaliação de Duas Propostas de Sistema de Iluminação
Artificial Suplementar ao Sistema de Iluminação Natural
Existente em Sala de Aula Padrão**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de pós-graduação em Arquitetura e
Urbanismo – PósArq – da Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito para obtenção
de título de Mestre.

Orientadora: Dr^a Sílvia Regina Morel Corrêa

Florianópolis-SC
2006

LOPES, Aline Cesa de Sousa . **Avaliação de Duas Propostas de Sistema de Iluminação Artificial Suplementar ao Sistema de Iluminação Natural Existente em Sala de Aula Padrão**,2006.149 p.Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Curso de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - PósArq, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC.
Orientadora: Sílvia Regina Morel Corrêa, Dra.
Defesa 18/08/2006

Aline Cesa de Sousa Lopes

Avaliação de Duas Propostas de Sistema de Iluminação Artificial Suplementar ao Sistema de Iluminação Natural Existente em Sala de Aula Padrão

Esta dissertação foi julgada e aprovada para obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura e Urbanismo no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo** da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 18 de agosto de 2006.

Prof. Alina Gonçalves Santiago, Dra.
Coordenadora do Programa

BANCA EXAMINADORA

Prof. Silvia Regina Morel Corrêa, Dra.
Orientadora

Prof. Alice Theresinha Cybis Pereira, PhD.

Prof. Ana Lígia Papst de Abreu, Dra.

Prof. Anderson Claro, Dr.

Prof. Fernando O. Ruttkay Pereira, PhD.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que me apoiaram ao longo do processo de desenvolvimento desta pesquisa: professores, colegas, amigos e familiares.

Ao curso de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, professores e coordenação e em especial à secretária Ivonete, sempre disposta a ajudar na resolução dos trâmites burocráticos, necessários para chegar até o final do programa.

Ao Laboratório de Conforto Ambiental (Labcon), pela disposição do espaço físico e equipamentos, especialmente ao professor Fernando Oscar Ruttkay Pereira, pela orientação nos trabalhos desenvolvidos durante as disciplinas cursadas.

Aos amigos do Labcon que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração da pesquisa.

À professora Alice T. Cybis Pereira e à professora Ana Lígia Papst de Abreu pela participação na banca examinadora.

Ao professor Anderson Claro, pelo auxílio na manipulação dos softwares e pela participação na banca examinadora.

À Sílvia Regina Morel Corrêa pelo incentivo, paciência e atenção despendida durante esses dois anos de orientação, sendo fundamental para o êxito do trabalho.

Ao Natal, que esteve ao meu lado durante todo o tempo.

Aos meus pais, pelo incentivo irrestrito e compreensão demonstrada durante todo o período do desenvolvimento da pesquisa.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)