

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Mariano Fernandes Bocchese

**PROJETO LUMINOTÉCNICO EM ESCOLA
NO MUNICÍPIO DE FELIZ: OTIMIZAÇÃO DO
APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL**

Porto Alegre
dezembro 2011

MARIANO FERNANDES BOCCHESI

**PROJETO LUMINOTÉCNICO EM ESCOLA
NO MUNICÍPIO DE FELIZ: OTIMIZAÇÃO DO
APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Miguel Aloysio Sattler

Porto Alegre
dezembro 2011

MARIANO FERNANDES BOCCHESI

**PROJETO LUMINOTÉCNICO EM ESCOLA
NO MUNICÍPIO DE FELIZ: OTIMIZAÇÃO DO
APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL**

Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2011

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela University of Sheffield
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
PhD. pela University of Sheffield

Lisandra Fachinello Krebs
Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Carolina Silveira Barlem Gemelli
Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Christiane Cunha Krum
Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Cassiano e Ereocilda,
sem eles, jamais teria chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Miguel Aloysio Sattler, orientador deste trabalho, pelos conhecimentos transmitidos e ideias sugeridas ao longo da elaboração deste trabalho. Agradeço também pelo incentivo de trazer para a prática de Engenharia princípios importantes de sustentabilidade.

Agradeço à Prof. Carin Maria Schmitt, pelo empenho, dedicação e paciência ao guiar o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Christiane Cunha Krum, pelos dados fornecidos, peças importantes para a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao colega Johny Berti, pelos conhecimentos passados em relação ao *software* e pela ajuda com a modelagem da edificação.

Agradeço aos meus pais, Cassiano e Coca, por estarem incondicionalmente ao meu lado.

Agradeço aos meus amigos, pelos momentos vividos juntos durante esta fase da vida, em especial à querida Roseane Shimomukay, pelo apoio, carinho e compreensão nos momentos difíceis passados durante a elaboração deste trabalho.

Esforço sobre humano não vale nada,
a menos que se obtenham resultados.

Ernest Shackleton

RESUMO

Este trabalho refere-se à elaboração de um projeto luminotécnico com melhor aproveitamento da luz natural em uma sala de aula do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, no Campus Avançado de Feliz, situado no município de Feliz/RS. O projeto desta Escola foi desenvolvido sob os princípios de sustentabilidade em uma parceria do NORIE (Núcleo de Orientação e Inovação da Construção) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com uma empresa de Arquitetura. Para a elaboração do projeto luminotécnico, foi usado o *software* Ecotect, além de informações sobre a incidência de luz na edificação, adquiridas através de medições *in loco*. Foram objetivos desta pesquisa analisar o sistema de iluminação atual, bem como quantificar a energia elétrica despendida na sua utilização, e elaborar um novo sistema de iluminação artificial que apenas complemente a incidência da luz natural, nas regiões da sala onde houver necessidade de maior iluminação. Após o desenvolvimento do projeto realizou-se uma análise comparativa entre o atual sistema lumínico e o proposto, averiguando qual a economia energética que é alcançada com a implantação do projeto desenvolvido neste trabalho. Os resultados obtidos apontam algumas deficiências do sistema de iluminação atual, como a assimetria entre as luminárias que gera grande variação nos níveis de iluminação no recinto. O novo projeto mostra que o simples reposicionamento das luminárias para uma configuração longitudinal aumenta consideravelmente a uniformidade da iluminação do recinto. A análise comparativa entre os sistemas permitiu averiguar uma grande economia no consumo energético com a implantação do sistema proposto, variando de 19,62% a 25,35% em função dos horários de utilização da sala de aula. Verificou-se, entretanto, a necessidade de sistemas de ativação automatizados das luminárias, devido à dificuldade de percepção visual do usuário quanto aos níveis de iluminação necessários a cada momento do dia.

Palavras-chave: Projeto Luminotécnico. Iluminação Natural. Sustentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa.....	16
Figura 2 – Temperatura de cor.....	31
Figura 3 – Lei da reflexão.....	32
Figura 4 – refração da luz entre dois meios diferentes.....	32
Figura 5 – Depreciação por acúmulo de sujeira nas luminárias.....	36
Figura 6 – Depreciação por acúmulo de sujeira nas superfícies.....	37
Figura 7 – Incidência do raio de luz na superfície.....	38
Figura 8 – Paredes externas	41
Figura 9 – Paredes internas.....	41
Figura 10 – Janelas superiores da fachada norte.....	42
Figura 11 – Janelas superiores e prateleira de luz.....	42
Figura 12 – Janelas inferiores.....	42
Figura 13 – Chapas de alumínio entre o forro e o telhado.....	43
Figura 14 –Piso externo.....	44
Figura 15 – Piso interno.....	44
Figura 16 – Localização da sala de aula estudada.....	45
Figura 17 – Disposição das luminárias no sistema atual.....	47
Figura 18 – Cavidades zonais.....	48
Figura 19 – Parâmetros fotométricos fornecidos pela IES.....	55
Figura 20 – Configurações para simulação lumínica.....	56
Figura 21 – Resultado da iluminação artificial atual.....	57
Figura 22 – Iluminação atual com lâmpadas dispostas simetricamente.....	58
Figura 23 – Malha de pontos de verificação sobre a superfície de trabalho.....	89
Figura 24 – Vista solar da edificação no dia 21 de junho às 13:00 horas.....	61
Figura 25 – FLD obtido através de simulação computacional e com medições <i>in loco</i> ...	62
Figura 26 – Simulação computacional do modelo real com os nós posicionados nos pontos de medição <i>in loco</i>	63
Figura 27 – Zonas com diferentes FLD	64
Figura 28 – Área de influência dos circuitos.....	65
Figura 29 – Disposição das luminárias.....	66
Figura 30 – Iluminação artificial do sistema proposto.....	66
Figura 31 – Iluminância adquirida com o circuito C1 acionado.....	67
Figura 32 – Iluminância adquirida com os circuitos C1 e C2 acionados.....	68

Figura 33 – Valores de iluminância externa obtidos nas medições <i>in loco</i>	69
Figura 34 – Necessidade de iluminação artificial no solstício de verão.....	72
Figura 35 – Necessidade de iluminação artificial no equinócio de outono.....	73
Figura 36 – Necessidade de iluminação artificial no solstício de inverno.....	74
Figura 37 – Consumo de energia elétrica no solstício de verão.....	75
Figura 38 – Consumo de energia elétrica no equinócio de outono.....	76
Figura 39 - Consumo de energia elétrica no solstício de inverno.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais	21
Quadro 2 – Proporção de iluminâncias	22
Quadro 3 – Tipos de lâmpadas, IRC e aplicação	28
Quadro 4 – Índice de reprodução de cores	30
Quadro 5 – Fatores determinantes da iluminação adequada	33
Quadro 6 – Iluminâncias em escolas	34
Quadro 7 – Fatores de iluminação adequada para a sala de aula estudada.....	46
Quadro 8 – Refletância por tipo de material.....	49
Quadro 9 – Fator de refletância do chão.....	50
Quadro 10 – Fator de refletância por cavidade.....	51
Quadro 11 – Fator de utilização para calha simples.....	51
Quadro 12 – Índices físicos do modelo.....	53
Quadro 13 – Comparação entre a situação real e o modelo.....	54
Quadro 14 – FLD obtido por medição <i>in loco</i>	60
Quadro 15 – Iluminância no interior da sala de aula com diferentes combinações de luz natural e artificial.....	71
Quadro 16 – Acionamento dos circuitos em função da iluminância externa.....	72
Quadro 17 – Comparação entre o sistema atual e o proposto.....	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivos Secundários	14
2.3 PRESSUPOSTO.....	15
2.4 DELIMITAÇÕES.....	15
2.5 LIMITAÇÕES.....	15
2.6 DELINEAMENTO.....	15
3 A ILUMINAÇÃO E O SER HUMANO	18
3.1 UM BREVE HISTÓRICO DO ESTUDO LUMINOTÉCNICO.....	18
3.2 CONFORTO VISUAL.....	19
3.2.1 Iluminância	20
3.2.2 Luminância	21
3.2.3 Contraste	22
3.2.4 Ofuscamento	23
3.3 LUZ NATURAL.....	23
3.3.1 Luz do sol	25
3.3.2 Luz do céu	25
3.3.3 Fator luz do dia (FLD)	26
3.3.4 Sistemas de iluminação natural	27
3.4 LUZ ARTIFICIAL.....	27
3.5 CONSIDERAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	29
3.5.1 Conceitos e grandezas referente à luminotécnica	29
3.5.2 NBR 5413 – Iluminação de interiores	32
3.5.3 Métodos de Cálculo	34
3.5.3.1 Método dos lúmens.....	34
3.5.3.2 Método ponto a ponto.....	37
3.5.4 Software Ecotect	38
4 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ESCOLA ESTUDADA	40
4.1 MATERIAIS E TÉCNICAS EMPREGADAS.....	40

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA SALA DE AULA ESTUDADA.....	44
5 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NO CASO ESTUDADO.....	46
5.1 VERIFICAÇÃO DA ILUMINAÇÃO REQUERIDA.....	46
5.2 SISTEMA LUMÍNICO ATUAL.....	47
5.2.1 Verificação pelo método dos lúmens.....	47
5.2.2 Verificação através de modelagem pelo <i>software</i> Ecotect.....	52
5.2.2.1 A modelagem.....	52
5.2.2.2 Resultados.....	55
5.2.3 Comparação entre modelagem e medições in loco do FLD.....	59
5.3 SISTEMA LUMÍNICO PROPOSTO.....	63
5.3.1 Determinação do novo sistema.....	64
5.3.2 Verificação da economia energética.....	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
6.1.SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL.....	78
6.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO.....	79
6.3 ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	79
REFERÊNCIAS.....	80
ANEXO A.....	82
ANEXO B.....	87

1 INTRODUÇÃO

Atualmente muito se tem discutido sobre o fim dos recursos de produção de formas não renováveis de energia, tendo em vista o fim do petróleo, que é a principal fonte de energia do Planeta. Até pouco tempo atrás não existia uma conscientização quanto ao fato de tais recursos serem finitos. Porém, após a crise do petróleo na década de 70, houve uma intensificação na procura por fontes alternativas que possam substituir os derivados do petróleo, área em que o Brasil se destaca.

No Brasil quase toda a energia elétrica disponível é produzida através de fontes renováveis, mais precisamente por hidrelétricas, representando mais de 95% da produção. Sabe-se que, em breve, o consumo de energia proveniente destas fontes aumentará gradativamente, devido ao crescimento da população e à conscientização do setor industrial quanto ao término dos recursos de produção de energias não renováveis. Isso acarretará na inserção de novas tecnologias que substituam o consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis pela utilização de energia elétrica. Tendo em vista esse aumento na demanda e a iminente escassez de energia que acontecerá nas próximas décadas, torna-se indispensável um melhor aproveitamento e racionalização do seu uso, sendo necessária, também, a otimização do consumo.

O presente trabalho visa aprimorar a proposta de um projeto luminotécnico em escolas, de modo a explorar ao máximo a iluminação natural. O estudo foi desenvolvido com base em modelagem computacional, fazendo uso também, de dados coletados através de medição *in loco* nas edificações, seguindo as recomendações das normas técnicas, NBR 5413/1992 e NBR 15215-3/2004.

Ao desenvolver este trabalho buscou-se um embasamento teórico para entender o funcionamento da iluminação e a sua relação com o ser humano, estudando itens como o conforto visual, índices físicos dos materiais, a definição para diferentes tipos de céu. Também foram abordados assuntos como os parâmetros de projeto, o funcionamento e manuseio do *software*, e as recomendações propostas pelas normas técnicas para o desenvolvimento de um sistema de iluminação.

Uma detalhada descrição da Escola foi desenvolvida no capítulo 4, explicando os princípios de sustentabilidade propostos na concepção da edificação, acerca dos materiais empregados e métodos de execução. No capítulo 5, é feita uma análise das condições de iluminação da sala estudada. Com as informações coletadas, parte-se para as tomadas de decisão projetuais, que maximizem o aproveitamento da iluminação natural dentro das edificações, de tal forma que o sistema de iluminação artificial apenas complemente a iluminação natural. Desta forma deverão ser alcançados os valores de luminosidade mínimos requeridos, não afetando o conforto lumínico dos usuários. E, no capítulo 6, são apresentadas as considerações finais.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo são apresentadas as diretrizes que orientam o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual a economia de energia elétrica que poderá ser obtida por meio da implementação de um projeto de iluminação que otimize a complementaridade entre a utilização de luz natural e artificial em uma sala de aula?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é fazer uma comparação entre o consumo de energia elétrica atual e aquele de um sistema que otimize a interação entre luz natural e artificial em uma sala de aula.

2.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários do trabalho são os seguintes:

- a) elaboração de um projeto luminotécnico, seguindo as recomendações das normas vigentes;
- b) cálculo da energia elétrica consumida pelo sistema lumínico a ser desenvolvido;
- c) cálculo da energia elétrica consumida pelo sistema lumínico original.

2.3 PRESSUPOSTO

É pressuposto do trabalho que todas as informações apresentadas na NBR 5413/1992 – Iluminação de Interiores – e os resultados apresentados pelo *software* Ecotect são válidos para o estudo proposto.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, no Campus Avançado de Feliz, localizado no município de Feliz/RS.

2.5 LIMITAÇÕES

As limitações deste trabalho são:

- a) será estudada uma única sala de aula;
- b) a utilização apenas do *software* Ecotect na modelagem;
- c) o levantamento *in loco* da iluminância na sala de aula, e que teve a duração de um ano, o qual não foi realizado especificamente para este estudo.

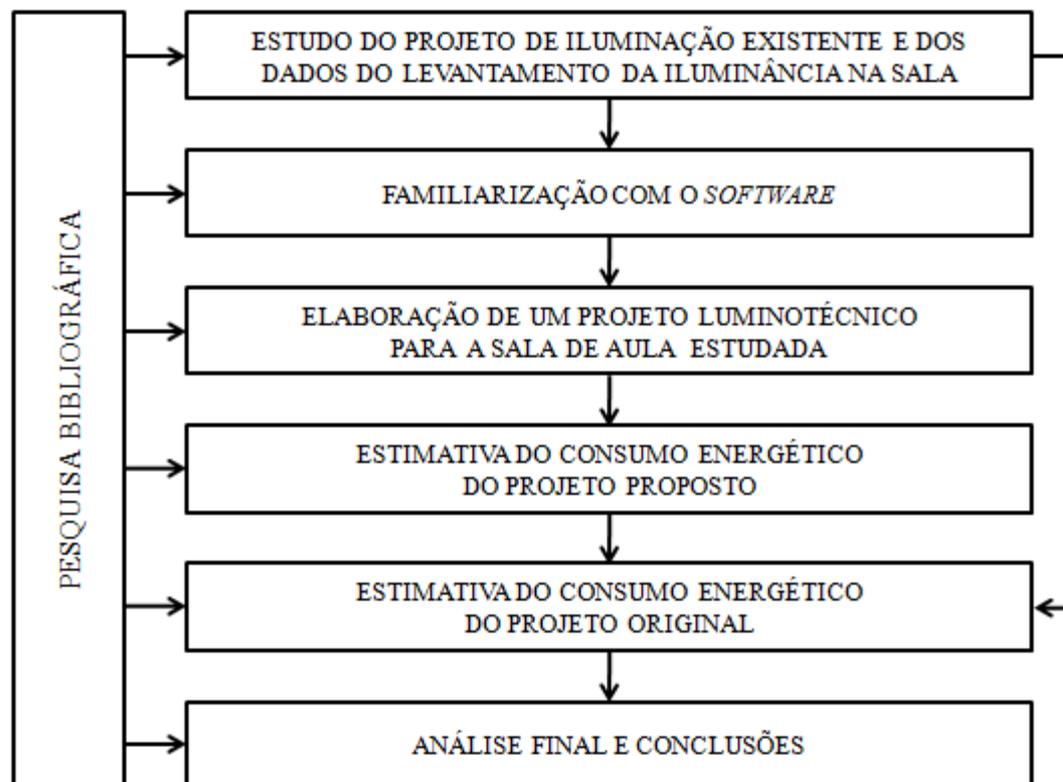
2.6 DELINEAMENTO

As etapas de desenvolvimento deste trabalho são as seguintes:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) estudo do projeto de iluminação existente e dos dados do levantamento da iluminância na sala;
- c) familiarização com o *software*;
- d) elaboração do projeto luminotécnico para a sala de aula;
- e) cálculo da estimativa de consumo energético do projeto proposto;
- f) cálculo da estimativa de consumo energético do projeto original;
- g) análise final e conclusão.

Na figura 1 está representada a sequência de etapas de como o trabalho será desenvolvido. Cada etapa será detalhada nos itens a seguir.

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

Na pesquisa bibliográfica foi realizado um aprofundamento no assunto, tendo por objetivo um maior embasamento em estudos de projetos luminotécnicos, buscando informações sobre métodos que definem um projeto com maior economia energética. Também foram abordados os métodos existentes para o cálculo de iluminação de interiores e variáveis consideradas para o cálculo analítico e modelagem computacional.

Em seguida, realizou-se uma avaliação das condições de iluminação proporcionadas pelo sistema de iluminação atual, elaborando uma estimativa do consumo de energia elétrica a partir da consideração do tempo em que este sistema fica em funcionamento durante o dia, quantas lâmpadas ele possui, qual a energia elétrica despendida por cada uma dessas lâmpadas e quantos dias da semana é usada essa sala de aula. Entre outras variáveis, também foi feita uma análise do levantamento dos níveis de iluminância conforme medidos *in loco*, para se conhecer os níveis de iluminância proporcionados pela luz natural, na sala de aula estudada.

Então foi realizado um estudo para aprofundar conhecimentos sobre o *software* que será usado para modelar a sala de aula e para obter os níveis de iluminância natural. O programa escolhido é o Ecotect e informações ao seu respeito foram adquiridas através de leitura de trabalhos publicados.

Para fazer a comparação entre os dois sistemas de iluminação, objetivo deste trabalho, será necessária a elaboração de um projeto luminotécnico, consistindo de um novo sistema que aproveite melhor a incidência da luz natural na sala de aula, seguindo as recomendações de iluminância da NBR 5413/1992, e utilizando como ferramenta o *software* Ecotect e os dados obtidos com o levantamento *in loco* da incidência de luz natural.

Após o projeto concluído, partiu-se para a estimativa de consumo de energia elétrica do sistema de iluminação proposto, levando em consideração o tempo que cada lâmpada ficará acesa durante o dia, o número de lâmpadas necessárias em cada horário do dia, qual o consumo energético de cada lâmpada, entre outras variáveis.

Com o objetivo de comparar a eficiência energética dos dois sistemas, foi calculada uma estimativa do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação original, levando em consideração os mesmos critérios abordados para o cálculo da estimativa do sistema de iluminação proposto. Então foi feita uma comparação entre o consumo mensal de eletricidade, para fins de iluminação, do atual sistema e daquele desenvolvido no trabalho. Levando em consideração as estimativas calculadas nos itens anteriores foi realizada uma análise da economia energética alcançada com a implementação, deste novo sistema de iluminação.

3 A ILUMINAÇÃO E O SER HUMANO

De acordo com Vianna e Gonçalves (2001, p. 27), aproximadamente 70% da percepção humana é visual, o que torna o homem um ser totalmente dependente da luz. Embora muitas vezes passe despercebida aos olhos das pessoas, a iluminação, seja ela natural ou artificial, está presente em todos os momentos do cotidiano do ser humano. Destaca-se, então, a importância de sistemas lumínicos eficientes para o suprimento das necessidades visuais, seja na execução de tarefas ou para o simples bem estar dos usuários nos ambientes.

Os itens a seguir apresentam um breve histórico do estudo luminotécnico, uma discussão acerca dos parâmetros intervenientes no conforto visual e uma conceituação de luz natural e artificial.

3.1 UM BREVE HISTÓRICO DO ESTUDO LUMINOTÉCNICO

Segundo Reinhart e Selkowitz (2006, p. 715), a utilização e o estudo da luz natural são tão antigos quanto as edificações. A importância de seu uso em projetos de edificações teve seu uso desconsiderado na época Pós-Guerra, quando se criou a idéia de energia elétrica barata, junto com o advento da lâmpada fluorescente e do ar condicionado, quando estas passaram a ditar o modo de se projetar edificações.

No início do século XX, as edificações passaram por um intenso processo de modificação, na necessidade de atender as mudanças na estrutura da sociedade, que passava neste momento a exigir um enorme desenvolvimento em todos os campos de conhecimento. Para atender as novas exigências de produção, a iluminação artificial passou a ser indispensável nas indústrias, nos escritórios, nas ruas e em todas as cidades, passando a se tornar um importante elemento para a viabilidade do progresso (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 32).

Reinhart e Selkowitz (2006, p. 715) comentam que com a Crise do Petróleo da década de 1970, a iluminação natural passa a ter seu interesse renovado na tentativa de economizar energia elétrica. Porém, após passar a Crise, o emprego da luz natural foi novamente esquecido, passando despercebido pelas décadas de 1980 e 1990.

Nas edificações contemporâneas a iluminação é vista apenas como requisito funcional, tendo se tornado apenas um aspecto de eficiência. Na atualidade, as justificativas apresentadas nas referências à iluminação estão voltadas apenas para o ponto de vista da produção da atividade, ou seja, os requisitos lumínicos a serem cumpridos para que o homem produza mais, com mais rapidez, e com menor fadiga visual (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 32).

Atualmente, a utilização da iluminação natural é uma questão de crescente interesse e o valor de seu uso não se refere apenas à economia energética proporcionada por esse sistema, mas também pelo fato de que, uma nova corrente de projetistas surge com o intuito de proporcionar edificações mais preocupadas com o conforto, a saúde e a produtividade de seus usuários.

3.2 CONFORTO VISUAL

O conforto visual é o principal parâmetro que expressa a satisfação do usuário com o sistema lumínico do ambiente, podendo este sofrer interferência de diversos fatores no que se diz respeito à luz. Para Lamberts et al. (1997, p. 44), “A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento.”.

Segundo Sick¹ (1995 apud TAVARES, 2007, p. 31), “Existem aspectos referentes ao conforto que estão relacionados à economia de energia, são eles: os índices de conforto visual, o uso de luz natural e os conceitos avançados de iluminação artificial.”. Para garantir uma iluminação de qualidade e sem desperdícios do ponto de vista energético, é necessário explorar o potencial econômico da iluminação natural, junto com a aplicação dos índices de conforto.

Para determinar uma iluminação eficiente, Hopkinson et al. (1966, p. 20) afirmam que é necessário a definição das características da tarefa visual a ser desenvolvida, em cada ambiente, para que essa informação possa ser relacionada ao dados experimentais básicos sobre acuidade visual, brilho e sensibilidade ao contraste. As recomendações sobre os níveis de iluminamento provêm do conceito de eficiência visual, que é expressa em uma

¹ SICK, F. A simulation approach to determine a visual comfort index including daylight for adequate building performance evaluation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 4th, 1995, Madison. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 1995, p. 295-300.

porcentagem do trabalho visual realizável para determinada tarefa, por pessoa com boa visão, sob uma iluminação adequada, sem dispersões visuais.

Para Frandoloso (2001, p. 156):

O conforto visual nas edificações escolares revela-se de grande importância, visto que as tarefas visuais a serem desenvolvidas são frequentes no processo de aprendizagem: a leitura e a escrita, por exemplo. O conjunto de métodos de socialização e construção do conhecimento da criança exigem que o desempenho visual em escolas seja eficiente; para atingir esse objetivo, vários aspectos contribuem, tanto em termos quantitativos, como qualitativos, interferindo no ambiente visual da sala de aula e demais compartimentos nos quais a acuidade e a precisão visual se fazem necessários.

O conforto visual depende de algumas variáveis relacionadas à iluminação. Essas variáveis são abordadas nos itens a seguir.

3.2.1 Iluminância

Conforme determina a NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1), a iluminância é o “Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero.”. Vianna e Gonçalves (2001, p. 74) explicam que como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Então, determina-se a média de iluminância de vários pontos de uma determinada área, para que se possa afirmar que aquela superfície está dentro dos limites de iluminância requeridos.

A NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2), referindo-se à iluminância, divide os tipos de tarefa visual em três classes, cada uma delas com suas restrições quanto ao nível de luminosidade por tipo de atividade, como mostra o quadro 1.

Quadro 1 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2)

3.2.2 Luminância

De acordo com a NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004b, p. 4), luminância é definida como a parte da luz que é refletida quando esta incide em uma superfície. Quando isto acontece, o olho humano percebe a área incidente como fonte de luz. O brilho observado neste caso é chamado de luminância, a qual depende da direção e da posição em que o usuário está olhando.

Moreira (1982, p. 19) afirma que “A unidade legal brasileira é a candela por metro quadrado (cd/m^2) também conhecida por *nit*: ‘luminância, em uma direção determinada de uma fonte com área emissiva igual a um metro quadrado, e cuja intensidade luminosa na mesma direção, é igual a uma candela’.”.

3.2.3 Contraste

Segundo Goulding et al.² (1992 apud TAVARES, 2007, p. 34), contraste é a diferença da luminância entre um objeto e o seu entorno imediato. O valor de contraste pode ser afetado pela iluminância ou refletividade das superfícies.

Em plena luz do dia as diferenças de luminâncias percebidas pelo ser humano chegam a 1%, mas sob condições precárias de iluminação pode se notar diferenças de até 90%. Isso confirma o fato de que o contraste melhora com o aumento da luminância, que por sua vez, é uma função da iluminância (LAMBERTS et al., 1997, p. 46). Os autores também citam uma importante aplicação da sensibilidade ao contraste que é a iluminação de sinalização de emergência tipo **saída**. No caso de incêndio, em meio à fumaça deve haver um alto contraste para que a sinalização seja visível. O quadro 2 mostra as taxas de proporção de luminâncias recomendadas para que exista conforto visual em um ambiente.

Quadro 2 – Proporção de luminâncias

Proporção	Relação
Entre a tarefa e entorno imediato	3:1
Entre a tarefa e superfícies escuras mais afastadas	10:1
Entre a tarefa e superfícies claras mais afastadas	0,1:1
Entre a fonte de luz (natural ou artificial) e superfícies adjacentes	20:1
Máximo contraste em qualquer parte do campo de visão	40:1

(fonte: LAMBERTS et al., 1997, p. 46)

² GOULDING, J. R.; LEWIS, J. O.; STEEMERS, T. C. **Energy conscious design**: a primer for architects. London: B.T. Batsford Limited, 1992.

3.2.4 Ofuscamento

De acordo com Pereira e Souza (2000, p. 50), “Quando o processo de adaptação não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande da iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, experimenta-se uma perturbação, um desconforto ou até mesmo uma perda na visibilidade que é chamada de ofuscamento.”. Os autores também explicam que o ofuscamento pode ocorrer devido a dois efeitos distintos:

- a) **contraste**: quando a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual seja maior do que 10:1;
- b) **saturação**: a visão fica saturada quando existe luz em excesso; esta saturação ocorre quando a luminância média, no plano de visão, excede 25.000 cd/m².

Os ofuscamentos são classificados em duas categorias: desconfortáveis ou perturbadores e inabilitadores. O primeiro ocorre devido à tendência do olho de fixar-se em pontos brilhantes dentro do campo visual, mas não impedindo a execução de tarefas. O ofuscamento inabilitador impede que a tarefa seja executada e, em certas circunstâncias, pode ser perigoso para a visão do homem (TAVARES, 2007, p. 35).

De acordo com Frandoloso (2001, p. 159):

Na iluminação natural, o efeito de ofuscamento ocorre quando se tem a visão direta do sol ou a refletida pela abóboda celeste, com alta luminância, com alto contraste com o entorno, o que está relacionado à localização da janela no ambiente e sua orientação. A presença da radiação solar direta, sem dúvida, produz efeitos inconvenientes, exigindo medidas de proteção e controle, de acordo com os princípios já mencionados, quanto à concepção global das aberturas, objeto específico da fenestração.

3.3 LUZ NATURAL

O sol é a principal fonte de luz natural. A luz solar determina as principais características da luz natural disponível, como o período do dia em que ela existe e as mudanças de iluminância ao longo do ano, que dependem do movimento de translação da Terra e do ângulo de seu eixo (TAVARES, 2007, p. 17-18).

A luz solar incidindo diretamente sobre um plano de trabalho implica em uma alta luminância, o que gera desconforto visual, ou, até mesmo, ofuscamento (FRANDOLOSO, 2001, p. 159). Para evitar esse tipo de inconveniente, Tavares (2007, p. 17) sugere que as

obstruções naturais e artificiais atuam sobre a incidência direta de luz solar de forma similar a uma luminária atua sobre a luz artificial, desempenhando assim o papel de **luminária** da luz natural.

Majoros³ (1998 apud AMORIM, 2002a, p. 2) explica que “A luz natural oferece enormes vantagens, e pode ser utilizada como estratégia para obter maior qualidade ambiental e eficiência energética em edifícios.”. O autor cita também alguns dos pontos positivos da iluminação artificial, são eles:

- a) a visão humana se desenvolveu com a luz natural; portanto este tipo de iluminação proporciona maior conforto ao usuário;
- b) a constante mudança da luminância em ambientes iluminados por luz natural é favorável, pois proporciona efeitos estimulantes nos ambientes;
- c) o conforto térmico proporcionado pela luz natural é maior, pois a iluminação artificial gera maior aquecimento no ambiente interno, o que é desfavorável em locais de clima tropical. Além disso, a luz natural permite valores mais altos de iluminação, se comparada à luz elétrica;
- d) um projeto de iluminação natural eficiente pode fornecer durante de 80 a 90% das horas de luz diária, representando uma enorme economia de energia elétrica;
- e) a luz natural é fornecida por fonte de energia renovável: é o uso mais evidente da energia solar.

Lamberts et al. (1997, p. 30) afirmam que “A incidência de radiação solar pode ser dividida em direta ou difusa. Isto ocorre porque, após a sua penetração na atmosfera, a radiação começa a sofrer interferência no seu trajeto em direção à superfície terrestre.”. De acordo com a NBR 15215-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a, p. 3), a luz natural que chega ao interior das edificações consiste em luz proveniente diretamente do sol e luz difundida na atmosfera (luz do céu). Os itens a seguir apresentam os tipos de luz natural que incidem em um ambiente e uma breve explicação acerca do cálculo do fator luz do dia.

³ MAJOROS, A. **Daylighting**. Brisbane: [s.n.], 1998. PLEA Note 4.

3.3.1 Luz do sol

A luz direta do sol só é percebida nos ambientes em dias com céu claro, quando não há dispersão dos raios solares devido à existência de nuvens na abóboda celeste (TAVARES, 2007, p. 21). Este tipo de iluminação não é recomendado devido à alta iluminação alcançada por sua incidência, podendo chegar a 100.000 lux, em dias com o céu totalmente limpo (LAMBERTS et al., 1997, p. 31).

Garrocho (2005, p. 30) comenta que:

Devido à sua importância como aquecimento solar passivo, a radiação solar direta é muitas vezes considerada indesejável para iluminação pela sua componente térmica, mas esta concepção é errônea. De fato, a luz do sol não contém calor, pois esta consiste em radiação eletromagnética, na região visível e na região invisível (a maior parte infravermelho, com um pouco de ultravioleta) em proporções quase iguais.

Segundo Lamberts et al. (1997, p. 56), apenas metade da energia dos raios de luz estão na região visível, o restante no infravermelho e no ultravioleta. A radiação é convertida em calor somente quando absorvida pelas superfícies. Comumente refere-se à parte invisível da radiação como **radiação térmica**, significando que somente esta parte é a causa do aquecimento. Certamente, interessa somente a parte visível do espectro, mas esta é responsável por metade da energia que potencialmente pode se transformar em calor.

3.3.2 Luz do céu

De acordo com Lamberts et al. (1997, p. 32):

[...] luz difusa é consideravelmente mais baixa que a resultante da luz solar direta, variando entre 5.000 e 20.000 lux, para céu encoberto. Com céu limpo, o pequeno tamanho das partículas existentes na atmosfera permite apenas a refração do comprimento de onda da luz azul do espectro, dando ao céu esta cor. Com céu nublado, o vapor de água em suspensão refrata e reflete todos os comprimentos de onda, em todas as direções, resultando em luz difusa, de cor branca, na abóboda celeste.

A intensidade luminosa existente na atmosfera pode variar ao longo do dia e por variações climáticas. Para simplificar a quantificação dessa luz foram estabelecidas pela *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) três tipos de céu (TAVARES, 2007, p. 21):

- a) céu claro: é caracterizado por não ter mais que 35% de nuvens cobrindo a abóboda celeste. A radiação direta é preponderante e sua variação é constante

ao longo do dia; a radiação difusa é mais intensa ao redor do sol e no horizonte, e a luminância do céu depende da posição solar;

- b) céu parcialmente nublado: tem entre 35 e 75% da abóboda celeste coberto por nuvens, e grande variação de luminâncias, de uma área para a outra;
- c) céu nublado: a distribuição de radiação tende a ser uniforme, tem mais de 75% do céu encoberto, e a luminância independe da orientação solar.

3.3.3 Fator luz do dia (FLD)

De acordo com Hopkinson et al. (1966, p. 28), “O fator luz do dia é a razão entre a iluminação interior e a iluminação simultaneamente disponível no exterior.”. Representa a eficácia do compartimento, como instalação de iluminação, definido como se comporta o meio de penetração de luz no ambiente. Embora a intensidade da luz do dia possa se alterar, o FLD permanece constante, para cada edificação, pois a iluminação do interior se altera proporcionalmente à iluminação exterior, sendo, portanto, a constância uma vantagem do FLD.

Outra vantagem apresentada pelo cálculo do iluminamento em FLD é o conceito de adaptação visual, pois a avaliação do brilho é função, não apenas da luminância real da área observada, mas do brilho de todos os elementos presentes no ambiente. À medida que o céu se torna mais brilhante, o olho se adapta a ele, desde que a modificação seja feita lentamente. No interior de uma edificação, mesmo que a luminância se torne maior, a apreciação visual tende a não se modificar radicalmente. Portanto, o FLD permanecerá constante, proporcionando apenas um valor aritmético conveniente para a iluminação interior (HOPKINSON et al., 1966, p. 28).

O cálculo do FLD é feito através da seguinte equação (HOPKINSON et al., 1966, p. 29):

$$E_i = (\text{FLD}/100) * E_e \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

E_i é a quantidade de iluminamento interno (lux);

FLD é o fator de luz do dia;

E_e é quantidade de iluminamento externo (lux).

3.3.4 Sistemas de iluminação natural

Para Amorim (2002b, p. 2), “Um sistema para a luz natural é uma adaptação da janela/abertura zenital, que tem como objetivo melhorar/otimizar a quantidade e melhorar a distribuição de luz natural no espaço.”. Estes sistemas melhoram a utilização da luz zenital e do céu, aumentando a uniformidade e a profundidade de incidência dentro do ambiente. O mesmo autor ainda comenta que estes sistemas “Podem ter o mesmo efeito de proteção solar que se tem com dispositivos de sombreamento externos, reduzindo as temperaturas internas e/ou os custos de ar condicionado, devido à diminuição da carga térmica.”.

Para o cálculo de um sistema de iluminação natural, Hopkinson et al. (1966, p. 348-349) explicam que é necessário levar em conta a redução da incidência de luz no ambiente devido à sujeira no vidro. Se o fator de redução for maior que 0,8 deve se projetar sistemas de modo que o nível inicial de luz natural seja maior que o nível especificado no projeto.

3.4 LUZ ARTIFICIAL

Segundo Frandoloso (2001, p. 173), uma maior economia energética pode ser obtida através de soluções bastante simples e eficazes, sem gerar maiores custos de projeto ou execução, como a melhor distribuição dos circuitos elétricos e luminárias, de acordo com a necessidade, em função da luz natural disponível, diferenciando as zonas mais próximas e mais afastadas da incidência de luz natural.

Frandoloso (2001, p. 173) também comenta que, atualmente, o mercado oferece uma grande diversidade de tecnologias, com dispositivos de iluminação de diversos aspectos, como lâmpadas apresentando uma maior eficiência luminosa, ou seja, com maior relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida (lm/W), junto com luminárias reflexivas e reatores com alto fator de potência.

De acordo com Silva (2009, p. 20), os tipos de lâmpadas disponíveis no mercado são divididos em quatro grupos principais:

- a) lâmpadas de filamento;
- b) lâmpadas halógenas;
- c) lâmpadas de descarga;

- baixa pressão;
 - alta pressão;
- d) *light emitting diod* (LED).

O quadro 3 mostra o índice de reprodução de cores (IRC) de cada tipo de lâmpada e qual o local de aplicação ideal para cada uma delas.

Quadro 3 – Tipos de lâmpadas, IRC e aplicação

	Tipo de lâmpada	IRC	Soquete	Aplicação	
Incandescentes	Comum	100	E27	lustres, arandelas, plafonniers, abajures, etc.	
	Dicróicas Standard	100	GU4/GU5,3	iluminação comercial e residencial	
	Dicróica Titan	100	GU5,3	iluminação comercial e residencial ligadas por muito tempo	
	Halospot (AR)	100	BA15d/ GY4/G53	iluminação de efeito a médias e longas distâncias	
	Lapiseira	100	R7s	luz difusa para lojas, vitrines, auditórios, pequenas quadras esportivas, fachadas	
	Halopar	100	GZ10/GU10/ E27	luz de destaque, é branca e brilhante	
	Halopin	100	G9	luminárias compactas e decorativas	
Lâmpadas de descarga a baixa pressão	Fluorescentes tubulares	Fluorescentes T8	70-79/ 80-89	G13	iluminação comercial e residencial
		Fluorescentes T5	80-89	G5	ideal para espaços com pé-direito elevado, iluminação indireta
	Fluorescentes Compactas	Compactas simples	80-89	G23 (bi-pino)	restaurantes, shoppings, lojas, escritórios
		Compactas triplas	80-89	bi-pino	restaurantes, residências, halls, escritórios
		Compactas D/E e T/E	80-89	quatro pinos	restaurantes, shoppings, lojas, escritórios
		Compacta "L" e "F"	80-89	quatro pinos	locais com limitações na instalação (altura do embutimento, forros modulares)
	Fluorescente circular T-5	80-89	2GX13	pode ser incorporada a sistemas de ar condicionado e sonorização	
Endura	80-89	específico	locais de difícil acesso: túneis, indústrias, postos de gasolina		
Descarga	Vapor de sódio a alta pressão	20-39	E27/E40	iluminação pública	
	Vapor de mercúrio (HQL)	40-59	E27/E40	iluminação pública	
	Vapor metálico (HQI)	60-69 70-100	RX7s RX7s-24 Fc2	instalações comerciais e industriais, iluminação de fachadas	
	LED	corresponde à cor	não possuem	comunicação visual, sinais de tráfego, marcação de caminhos, sancas	

(fonte: TAVARES, 2007, p. 26)

3.5 CONSIDERAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO LUMINOTÉCNICO

As dificuldades em atingir uma iluminância diurna satisfatória apenas com a incidência de luz natural implicam na necessidade de adoção de um sistema de iluminação artificial complementar, permanente ou temporário, isso gera a necessidade do desenvolvimento de um projeto que integre a iluminação natural com a artificial. Porém o projetista, ao desenvolver um sistema lumínico com base nestes critérios, precisa levar em consideração a necessidade de iluminação noturna, quando não existe a incidência de luz natural considerável, havendo neste caso a necessidade de um sistema lumínico que forneça toda a iluminância necessária para atingir o conforto visual (FRANDOLOSO, 2001, p. 170-171).

De acordo com Silva (2009, p. 37):

Um projeto de iluminação é [...] a conjugação de todos os fatores que influenciarão a iluminação do ambiente. É a forma de compilação de dados de todos os aspectos determinantes para que a iluminação de um ambiente fique conforme foi idealizada pelo profissional da luz e conforme tenha sido encomendada pelo usuário local, seja em prédios residenciais, comerciais, industriais, vias públicas, praças, viadutos, túneis, e tantos outros locais.

3.5.1 Conceitos e grandezas referentes à luminotécnica

Em um estudo luminotécnico existem vários aspectos que qualificam a luz e o meio no qual ela incide e, através dos quais, é possível quantificá-la, definindo a sua eficiência quanto à área de trabalho e seus usuários. Segundo Tavares (2007, p. 13), para que as características de cada um destes aspectos sejam melhor exploradas em um projeto, é necessário o conhecimento de conceitos relacionados às superfícies de incidência, luz natural e artificial, a fim de incorporar os requisitos necessários para que os usuários desfrutem de conforto visual, com um projeto energeticamente mais eficiente.

Conforme Vianna e Gonçalves (2001, p. 67), existem nove principais grandezas relacionadas à iluminação natural e artificial:

- a) **fluxo energético (P)**: é a potência carregada por todas as formas de radiação contidas no feixe energético, entre elas a luz visível, a infravermelha e a ultravioleta. Sua unidade é o watt (W);
- b) **fluxo luminoso (ϕ)**: representa a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa. É medido em lumens (lm);

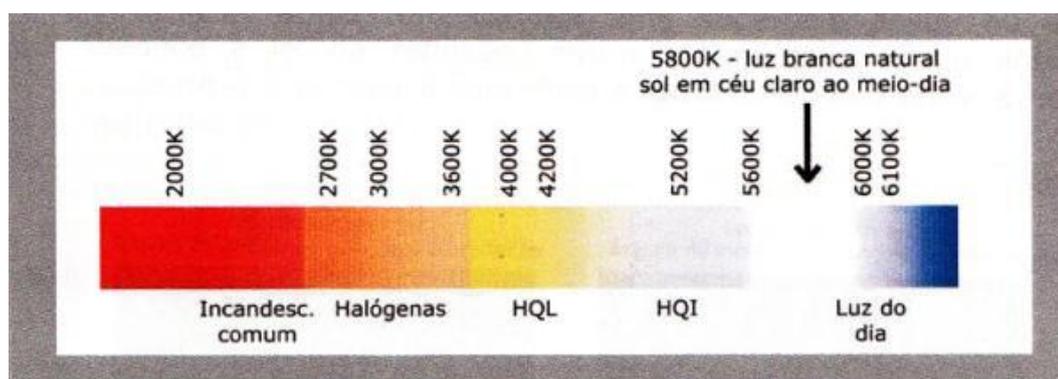
- c) **eficiência luminosa (η)**: é a relação entre fluxo luminoso emitido por uma fonte e a energia consumida para produzi-lo. Conhecido também como eficácia ou rendimento. Sua unidade é lúmen/watt;
- d) **intensidade luminosa (I)**: define a intensidade de fluxo luminoso projetado em uma determinada direção. É expressa em candelas (cd);
- e) **luminância (L)**: é a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície. É medida em candelas por metro quadrado (cd/m²);
- f) **contraste (C)**: é a diferença de luminância entre o objeto observado e seu entorno;
- g) **índice de reprodução de cor (IRC)**: mede a capacidade de uma fonte de iluminação artificial de reproduzir as cores como a luz natural. Varia em uma escala de zero a cem. Quanto maior o IRC melhor é a fonte. O quadro 4 relaciona o IRC com a qualidade de reprodução de cores, e o uso a que cada IRC pode se destinar;
- h) **temperatura de cor (K)**: as fontes de luz emitem luz com aparência de cor quente ou fria. As cores quentes possuem aparência amarelada enquanto as cores frias possuem aparência azulada. Na temperatura de cor, quanto mais alto o valor, mais fria é a sua aparência, e vice versa, como mostra a figura 2. A temperatura de cor é expressa em Kelvin (K);
- i) **iluminância (E)**: é o fluxo luminoso incidente em uma determinada superfície situada a certa distância da fonte, por unidade de área. Sua unidade no SI é lúmen por metro quadrado (lm/m²) ou lux (lux).

Quadro 4 – Índice de reprodução de cores

IRC	QUALIDADE	USOS
100	excelente/ muito bom	testes de cor, lojas, residências, escritórios
80	bom/ razoável	áreas de circulação, escadas, oficinas, ginásios
60	regular	depósitos, postos de gasolina, indústrias
40	ruim	vias de tráfego, canteiros de obra, estacionamentos

(fonte: TAVARES, 2007, p. 15)

Figura 2 – Temperatura de cor

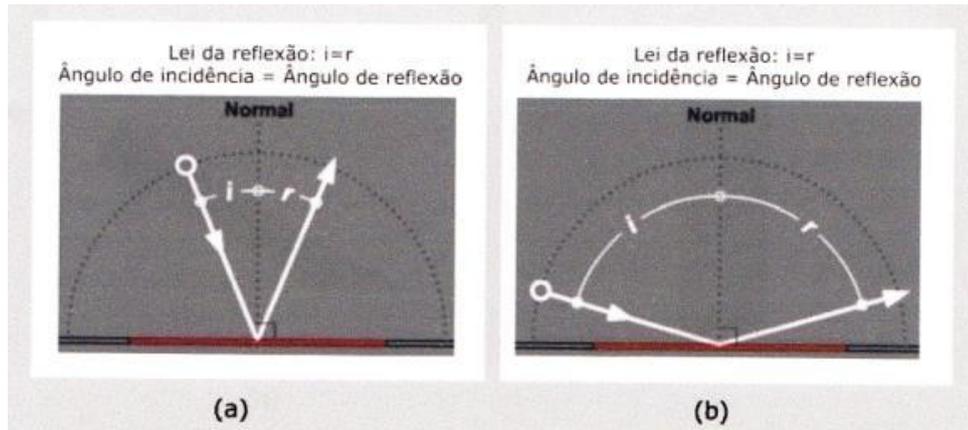


(fonte: TAVARES, 2007, p. 14)

De acordo com Tavares (2007, p. 15), também existem variáveis que são referentes apenas às superfícies em que a luz incide. Estas dependem da sua textura e dos materiais empregados, dependendo destas características, a luz tem diferentes comportamentos. A compreensão dessas variáveis é indispensável para a simulação computacional da luz, pois correspondem a informações necessárias para aumentar a precisão dos dados de saída gerados por *softwares*. Essas variáveis são:

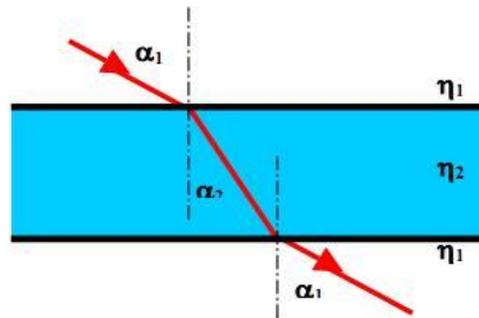
- a) **refletância**: a luz incidente em uma superfície lisa obedece à lei da reflexão; ou seja, o ângulo entre o raio incidente e a normal à superfície é o mesmo que o ângulo entre a normal e raio refletido, conforme figura 3. Porém, existem tipos de reflexões que não obedecem a lei da reflexão, como a reflexão difusa, reflexão propagada, reflexão mista (é a que melhor se aplica à maioria dos materiais), e reflexão dispersiva;
- b) **transmissão**: a passagem através de uma camada transparente ou translúcida varia de acordo com a espessura da camada e o comprimento de onda da radiação;
- c) **refração**: é a mudança de angulação e velocidade que os raios sofrem quando passam de um meio para outro de diferente densidade, como mostra a figura 4. A refração depende do ângulo de incidência e do índice de refração do material;
- d) **difração**: ocorre quando as ondas passam por uma abertura estreita, o que provoca mudanças na sua angulação, espalhando-se após a passagem;
- e) **lei do cosseno**: a intensidade de radiação incidente em uma superfície inclinada é igual à razão entre a intensidade normal e o cosseno do ângulo de incidência. Quanto maior for o ângulo, maior será a área em que o fluxo de luz incide;
- f) **superfícies lambertianas**: proporcionam difusão completa e uniforme da radiação incidente; tanto a radiação, quanto a luminância ocorrem na mesma direção.

Figura 3 – Lei da reflexão



(fonte: TAVARES, 2007, p. 15)

Figura 4 – refração da luz entre dois meios diferentes



(fonte: PEREIRA, 2000, p. 25)

3.5.2 NBR 5413 – Iluminação de interiores

Além do quadro 1, já mencionado, que define o nível de iluminância por tarefa visual, existem outros fatores importantes a serem considerados na NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Entre esses fatores determinantes da iluminância adequada, que são divididos em três: idade, velocidade e precisão e refletância do fundo da tarefa, como mostra o quadro 5.

Quadro 5 – Fatores determinantes da iluminância adequada

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2)

Para a definição do peso é analisada cada característica atribuindo um valor para cada uma delas (-1, 0 ou +1); então, soma-se algebricamente os três valores, considerando o sinal. Se o valor encontrado for igual a -2 ou -3, utiliza-se a iluminância inferior do grupo (quadro 1), para os valores +2 e +3, é usado a maior iluminância recomendada; para os outros valores, utiliza-se a iluminância média (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2).

Considerando o procedimento descrito para definir o nível de luminância a ser usado, a NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 3) explica que o maior valor das três iluminâncias deve ser usado quando as tarefas se apresentam com refletâncias e contrastes baixos. Quando os erros são de difícil correção, o trabalho visual exige alta acuidade visual, alta produtividade ou precisão são necessários, e/ou a capacidade visual do observador está abaixo da média. Já o menor valor pode ser usado quando as refletâncias ou contrastes são relativamente altos, a velocidade e precisão não são importantes para a execução da tarefa, e quando a tarefa é executada ocasionalmente.

O quadro 6 mostra a iluminância em escolas, mostrando os maiores, menores e médios valores recomendados pela Norma:

Quadro 6 – Iluminância em escolas

	Menor valor	Valor médio	Maior valor
Salas de aula	200	300	500
Quadros negros	300	500	750
Salas de trabalhos manuais	200	300	500
Laboratórios			
-geral	150	200	300
-local	300	500	750
Anfiteatros e auditórios			
-platéia	150	200	300
-tribuna	300	500	750
Sala de desenho	300	500	750
Sala de reuniões	150	200	300
Salas de educação física	100	150	200
Costuras e atividades semelhantes	300	500	750
Artes culinárias	150	200	300

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 4)

3.5.3 Métodos de cálculo

Segundo Krum (2011, p. 45), existem diferentes métodos de cálculo de iluminância para dimensionar, quantitativamente, um sistema de iluminação artificial. Os mais comuns são: Método dos Lumens, também chamado de Cálculo da Iluminação Geral ou Método das Eficiências e o Método Ponto a Ponto, também chamado de Cálculo de Iluminação Dirigida.

3.5.3.1 Método dos lúmens

O método dos lúmens oferece uma abordagem simplificada para o cálculo de iluminância média em ambientes interiores considerando a refletância das superfícies do recinto. Entretanto, dentre as simplificações do método não são considerados o mobiliário, as aberturas e os detalhes arquitetônicos do ambiente (SORCAR, 1987, p. 62).

De acordo com o mesmo autor, a iluminância média em um ambiente é calculada através da equação 2:

$$E = \frac{L * N * Fu * Fd}{A} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

E é a iluminância média (lux);

L é a intensidade lumínica por lâmpada (lm);

N é o número de lâmpadas;

Fu é o fator de utilização;

Fd é o fator de depreciação pelo uso;

A é a área do ambiente (m²).

Segundo Moreira (1982, p. 120), a determinação dos valores do fator de utilização é bastante difícil, pois dependem da curva de distribuição da luminária, das refletâncias do teto, paredes e piso do ambiente, da forma e dimensões do recinto.

O mesmo autor comenta que as primeiras tabelas para terminação do fator de utilização eram bastante empíricas, porém a partir de 1964 foi adotado um novo método pela *Illuminating Engineering Society* (IES): o método das cavidades zonais, que divide o recinto em três cavidades básicas:

- a) do teto, que é a cavidade acima do plano das luminárias;
- b) do recinto, que é a existente entre o plano das luminárias e o plano de trabalho;
- c) do chão, que é a existente abaixo do plano de trabalho.

Moreira (1982, p. 121) ainda afirma que:

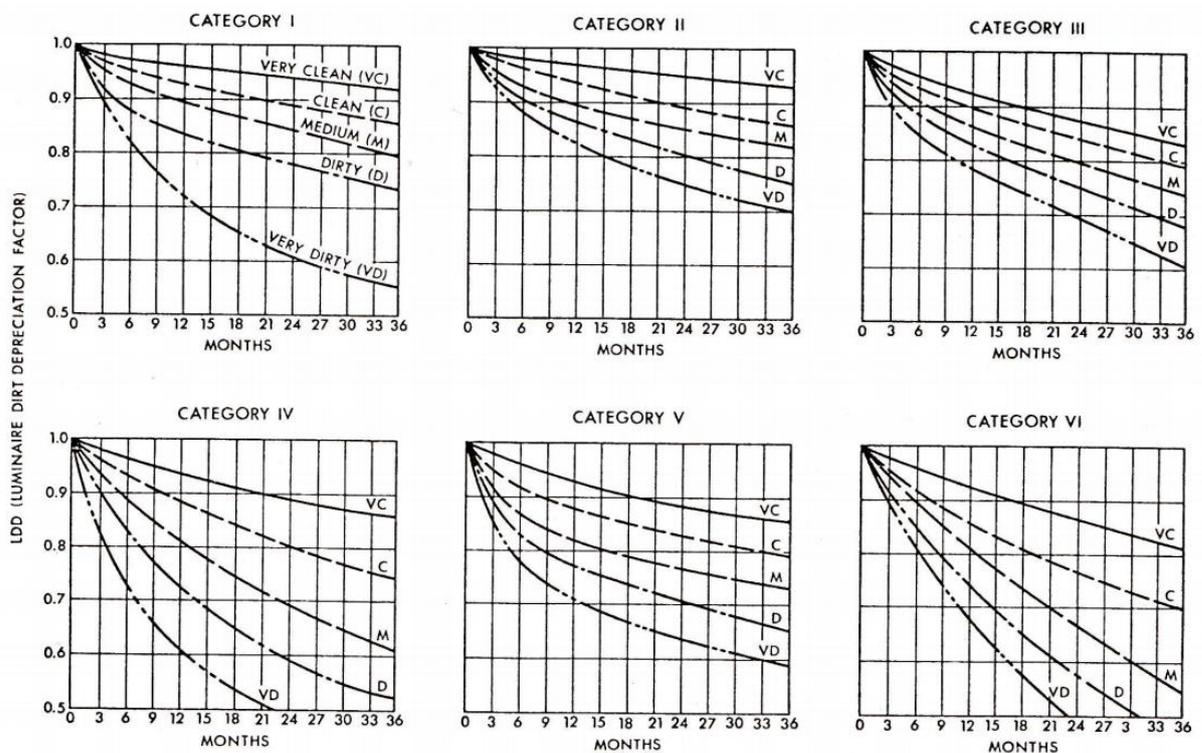
Pelo método das cavidades zonais, consegue se levar em conta, na determinação do coeficiente de utilização, vários fatores antes difíceis de ser ponderados, tais como comprimento dos pendentes de fixação das luminárias, obstruções no teto e no espaço abaixo do plano de trabalho, áreas parciais dos recintos, recintos de formas mais complexas, etc.

Para a determinação do fator de depreciação pelo uso, Sorcar (1987, p. 76) explica que este fator está dividido em dois grupos: os fatores não recuperáveis, que se referem às perdas de

eficiência que não podem ser recuperadas com manutenção, como a variação de temperatura na luminária, a variação de voltagem, a depreciação na superfície da luminária e perda da eficiência do reator; e os fatores recuperáveis, que referem-se às perdas que, com manutenção periódica, podem ser recuperadas. Esses fatores são divididos em quatro tipos:

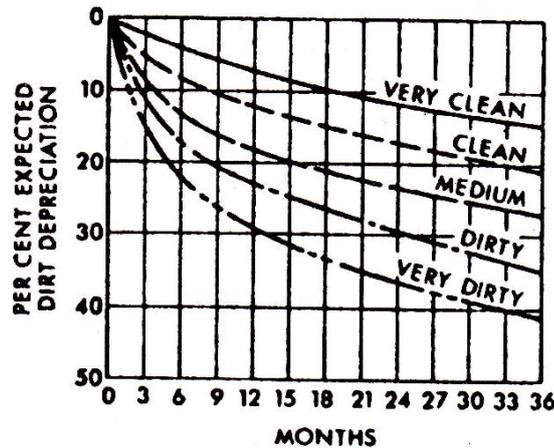
- acúmulo de sujeira nas luminárias:** representa a principal perda da intensidade lumínica das luminárias, de acordo com a categoria (figura 5), que leva em consideração a sujeira da atmosfera no ambiente e tipo de luminária;
- acúmulo de sujeira nas superfícies do recinto:** representa a perda de refletância das superfícies estudadas através de acúmulo de sujeira na atmosfera do ambiente (figura 6);
- depreciação da intensidade lumínica da lâmpada:** este fator representa o decréscimo da intensidade lumínica da lâmpada em função do tempo de uso da mesma, o que geralmente é fornecido pelo fabricante. Normalmente as lâmpadas apresentam 70% da intensidade lumínica inicial no momento da queima;
- queima de lâmpadas:** este fator representa a perda de iluminância no recinto devido a lâmpadas queimadas sem reposição. O valor deste fator é dado através da razão entre o número de lâmpadas queimadas e o número de lâmpadas presentes no sistema de iluminação.

Figura 5 – Depreciação por acúmulo de sujeira nas luminárias



(fonte: SORCAR, 1987, p. 77)

Figura 6 – Depreciação por acúmulo de sujeira nas superfícies



(fonte: SORCAR, 1987, p. 78)

3.5.3.2 Método ponto a ponto

Este método baseia-se em definir a iluminância gerada por uma fonte de iluminação em um ponto isolado. Para planos perpendiculares ao raio de luz, a iluminância é definida através da equação 3 (SORCAR, 1987, p. 61):

$$E = \frac{I}{D^2} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

E é a iluminância (lux);

I é a intensidade lumínica lançada em direção ao ponto estudado (cd);

D é a distância entre a fonte luminosa e o ponto estudado (m).

Se o plano não for perpendicular ao raio de luz, usa-se uma função trigonométrica para representar a componente do raio que incide nele. Para planos horizontais, a iluminância no ponto é calculada através da equação 4 (SORCAR, 1987, p. 61):

$$E = \frac{I_{\theta} * \cos \theta}{D^2} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

E é a iluminância (lux);

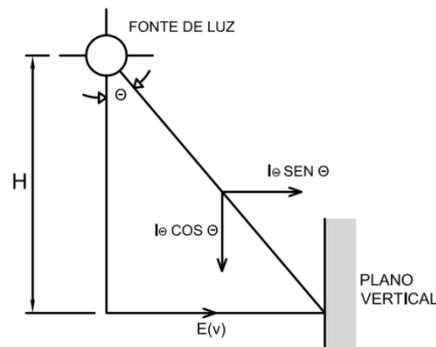
I_{θ} é a intensidade lumínica lançada em direção ao ponto estudado (cd);

D é a distância entre a fonte luminosa e o ponto estudado (m);

θ é o ângulo entre o raio de luz e a superfície do plano estudado.

Sorcar (1987, p. 61) ainda explica que, se a superfície do ponto estudado for vertical deve se trocar a função cosseno por seno, como mostra a figura 7.

Figura 7 – Incidência do raio de luz na superfície



(fonte: SORCAR, 1987, p. 62)

3.5.4 Software Ecotect

O *software* Ecotect foi desenvolvido, originalmente, pela empresa australiana *Square One Research PTY Ltd*, mas, atualmente, pertence à *Autodesk Inc*. Foi desenvolvido para ser utilizado como ferramenta de ensino e, por esta razão, o Ecotect tem seu uso simplificado, é de rápido aprendizado e com resultados confiáveis (ROBERTS; MARCH⁴, 2001 apud TAVARES, 2007, p. 62)

Os autores ainda comentam que este software faz análises de iluminação natural e artificial, insolação, conforto térmico e acústico. Para a modelagem possui ferramentas para desenho de fácil execução, tem capacidade de importar arquivos no formato *dxg* e *3ds*. Para o cálculo de iluminação natural, o programa usa o método BRE, de fator de luz do dia, e para o cálculo de iluminação artificial, utiliza o método ponto-a-ponto.

⁴ Informações retiradas do material **ECOTECT**: environmental prediction in architectural education, escrito por ROBERTS, A. e MARSH, A., em 2001.

Andrade (2009, p. 5) explica que o *software* é uma ferramenta de análise do desempenho e comportamento dos edifícios, podendo funcionar como instrumento de verificação, mas estando a sua grande potencialidade no auxílio de escolhas de estratégias de projeto adequadas a um bom desempenho energético. Permite analisar, desde o início do processo de concepção do projeto, qual será o desempenho do edifício. É um auxiliar no controle e obtenção de conforto ambiental e acústico, bem como do desempenho energético e emissões de Carbono.

No que diz respeito à sustentabilidade, Andrade (2009, p. 5) comenta que o Ecotect tem como objetivo facilitar o projeto sustentável, permitindo uma fácil compreensão dos efeitos dos fatores climáticos, como o sol, sombra, temperatura, luminosidade, ventilação e ainda os efeitos da volumetria. O controle destes efeitos permite alterar os projetos quando são ainda possíveis grandes decisões, como acontece nas fases prévias, em vez de se optar por resoluções artificiais e dispendiosas para corrigir problemas facilmente evitáveis e que fazem toda a diferença no impacto ambiental dos edifícios.

4 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ESCOLA ESTUDADA

A edificação escolar, que abriga o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Avançado de Feliz – encontra-se no limite da malha urbana do município de Feliz, no Rio Grande do Sul. O terreno no qual se encontra a edificação possui uma área de, aproximadamente, 62.000 m², possuindo 75 m de largura e 825 m de comprimento. Grande parte desta área ainda é composta por vegetação nativa. Tem como proposta pedagógica a sustentabilidade, na qual se pretende que cursos de agricultura, cerâmica e gestão sejam oferecidos aos estudantes. Embora a Escola fosse voltada para tal proposta, inicialmente, o seu projeto arquitetônico não levava em conta os princípios de sustentabilidade, mas por iniciativa dos idealizadores, o projeto foi modificado com ideias inovadoras, que passaram a considerar estes princípios.

Tanto na elaboração do projeto, quanto na execução da edificação, houve o cuidado de se usar apenas materiais oferecidos na região, que causassem menor impacto ambiental, tanto na produção, quanto na execução. A questão da manutenção predial também foi analisada, escolhendo materiais com maior durabilidade e com baixo custo de reposição. O projeto também considera o posicionamento solar, a fim de explorar a iluminação natural e o conforto térmico dentro da edificação. Outros quesitos observados são: a captação e aproveitamento de água da chuva, reflorestamento com espécies nativas e a preservação da flora já existente no local.

Os itens a seguir apresentam algumas características observadas acerca dos materiais empregados na execução da edificação, bem como técnicas empregadas para otimizar a eficiência térmica e lumínica da edificação. Também uma breve descrição das características da sala de aula estudada.

4.1 MATERIAIS E TÉCNICAS EMPREGADAS

As paredes externas são de alvenaria portante dupla, suas faces externas são aparentes, recebendo apenas a aplicação de hidrofugante (figura 8). Já nas faces internas, foi aplicado reboco, seguido de pintura com tinta PVA (figura 9). Nas paredes divisórias, a alvenaria é

portante, porém simples, revestidas com reboco e pintura ou cerâmica. Sendo empregada tinta PVA nas salas de aula e tinta epóxi nos laboratórios. A cerâmica foi aplicada nos banheiros e cozinha.

Figura 8 – Paredes externas



(fonte: foto do autor)

Figura 9 – Paredes internas



(fonte: foto do autor)

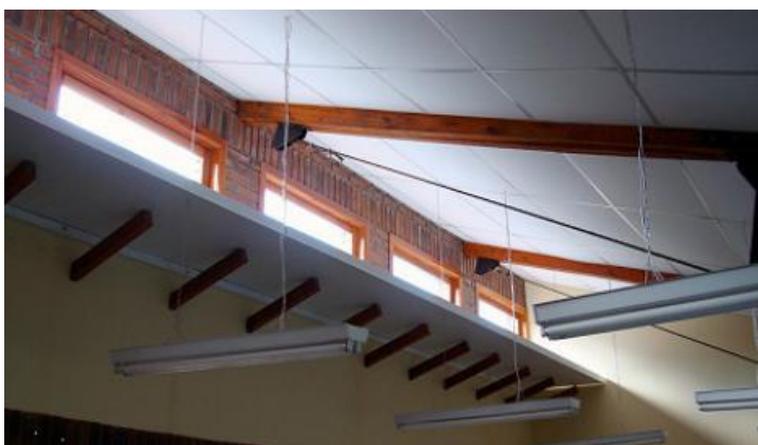
As janelas da escola foram projetadas para um melhor aproveitamento da iluminação natural dentro das salas. A iluminação natural incide dentro das salas, principalmente, através das janelas superiores (figura 10), localizadas na fachada norte, tendo estas, prateleiras de luz, para evitar a incidência direta dos raios luminosos (figura 11), evitando, assim, o ofuscamento dos ocupantes, e nas janelas inferiores (figura 12) localizadas nas fachadas norte e sul. O material usado para a produção das esquadrias foi o eucalipto de reflorestamento e o vidro é do tipo simples, com três milímetros de espessura. As esquadrias possuem espera para uma segunda camada de vidro externo.

Figura 10 – Janelas superiores da fachada norte



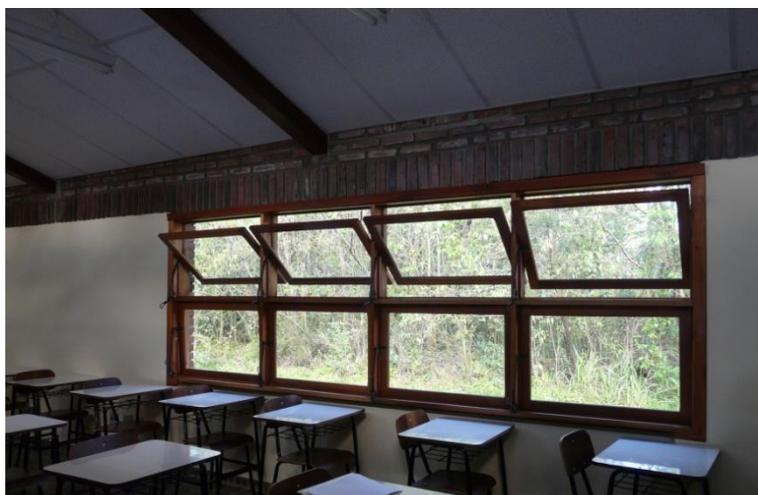
(fonte: foto do autor)

Figura 11 – Janelas superiores e prateleira de luz



(fonte: foto do autor)

Figura 12 – Janelas inferiores



(fonte: foto do autor)

O telhado que cobre a edificação é de duas águas desencontradas. A água menor cobre a circulação, que fica voltada para o norte. A água maior é voltada para o sul cobrindo as salas de aula. Este desencontro de águas foi projetado para permitir a colocação das janelas superiores na fachada norte, as quais proporcionam maior iluminação natural e conforto térmico, devido ao efeito de ventilação cruzada. Para a execução do telhado foi utilizado madeira de eucalipto reflorestado e telhas cerâmicas produzidas na região. O forro é feito de fibra mineral, disposto de forma a acompanhar o caimento do telhado. Entre o forro e as telhas foram colocadas chapas de alumínio reutilizado (*off-set*), para contribuir com o conforto térmico da edificação (figura 13).

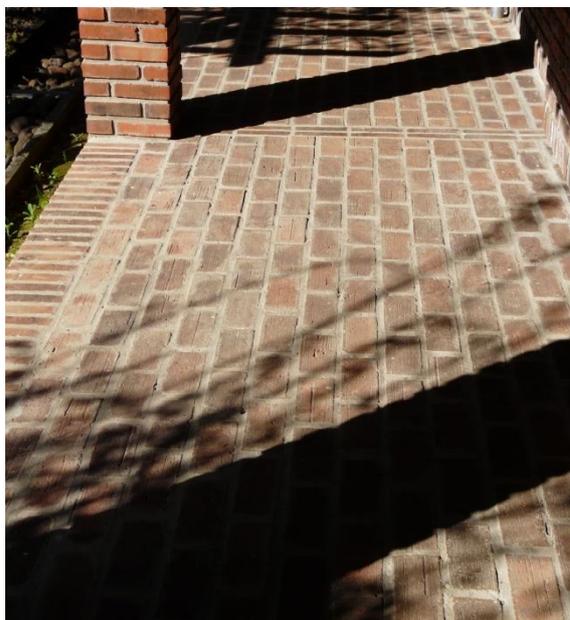
Figura 13 – Chapas de alumínio entre o forro e o telhado



(fonte: KRUM, 2011, p. 74)

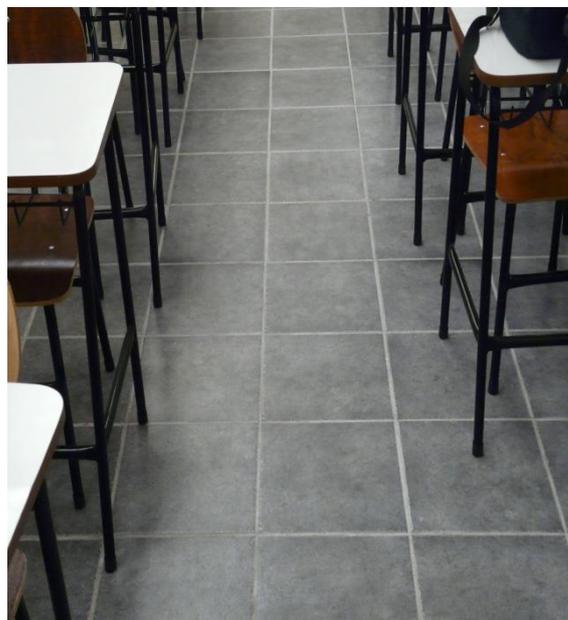
O piso externo da edificação é de tijolos cerâmicos maciços (figura 14), os mesmos usados nas paredes portantes. Já o piso interno foi executado com placas cerâmicas (eco-cerâmica), do tipo PEI IV, com dimensões de 40x40 cm e 11x23 cm, sobre contrapiso de concreto (figura 15).

Figura 14 –Piso externo



(fonte: foto do autor)

Figura 15 – Piso interno



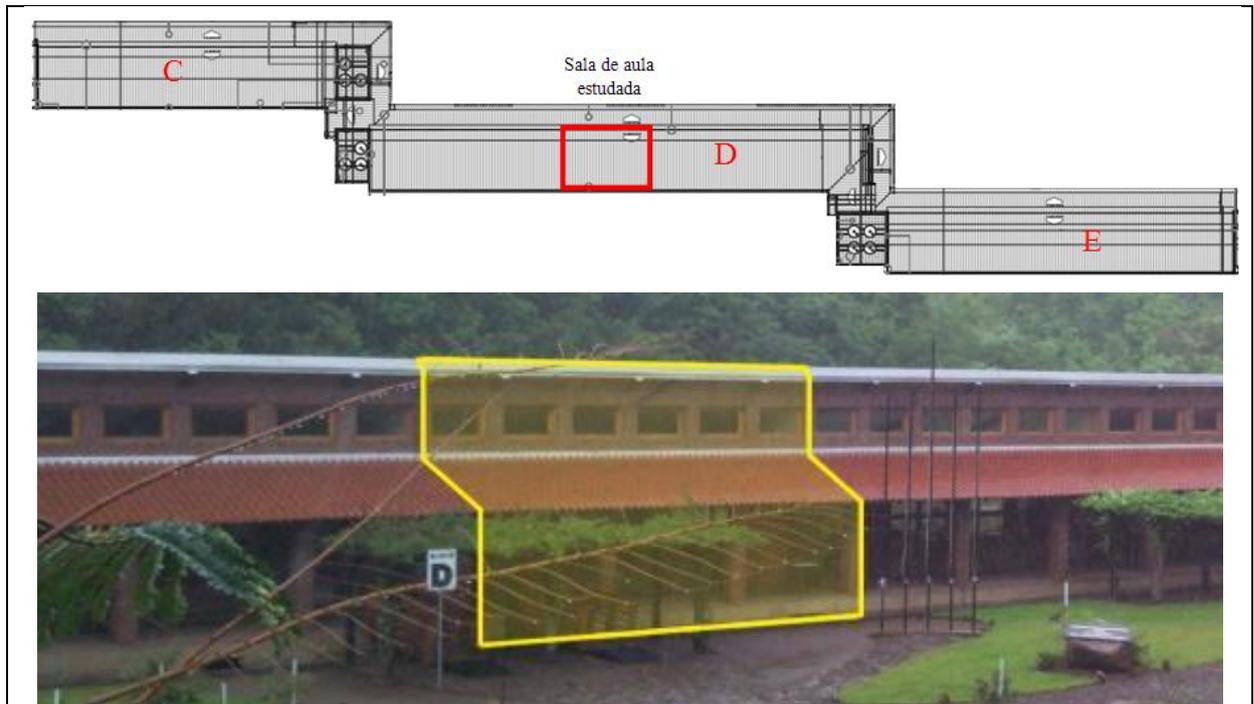
(fonte: foto do autor)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA SALA DE AULA ESTUDADA

A sala de aula estudada encontra-se no centro do bloco D da Escola (figura 16). A porta de acesso tem saída para a circulação coberta, existente ao longo da fachada norte. A cobertura dessa circulação protege o interior da sala de aula da incidência de luz solar direta ao longo de todo o ano. Já na fachada sul, não existe nenhum tipo de proteção construída, apenas a vegetação abundante a uma distância de aproximadamente 5 m da edificação.

A área útil da sala em questão é de 54 m², sendo 6 m de largura e 9 m de comprimento. O pé direito varia de 4,58 m na fachada norte, até 2,55 m junto à fachada sul. Ambos os lados da sala possuem janelas, na fachada sul existem oito basculantes, na fachada norte existem oito janelas similares às da fachada sul e seis basculantes superiores. Nas basculantes superiores também se encontram prateleiras de luz ao longo de todo o comprimento da sala, com altura de 3,27 m e 0,80 m de largura.

Figura 16 – Localização da sala de aula estudada



(fonte: adaptado de KRUM, 2011, p. 74)

5 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NO CASO ESTUDADO

Neste capítulo será realizada uma análise da iluminação na sala de aula estudada. Inicialmente será apresentada uma verificação da iluminação requerida a fim de definir limites mínimos necessários. A seguir serão discutidas as condições do sistema lumínico atual, a partir do método dos lúmens, medições realizadas *in loco* e simulação computacional utilizando o *software* Ecotect. Por fim, será proposto um novo projeto de iluminação, a fim de otimizar o aproveitamento de luz natural.

5.1 VERIFICAÇÃO DA ILUMINAÇÃO REQUERIDA

A NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) estabelece valores de iluminância média mínima de interiores de acordo com o uso da edificação. Para o caso da sala de aula estudada, foram realizados os cálculos de acordo com os parâmetros discutidos anteriormente. O quadro 7 apresenta os fatores de iluminância adequada para o uso e ocupação da mesma.

Quadro 7 – Fatores de iluminância adequada para a sala de aula estudada

Características da tarefa e do observador		Peso
Idade	Superior a 55 anos	+1
Velocidade e precisão	Sem importância	-1
Refletância do fundo da tarefa	30-70%	0
TOTAL		0

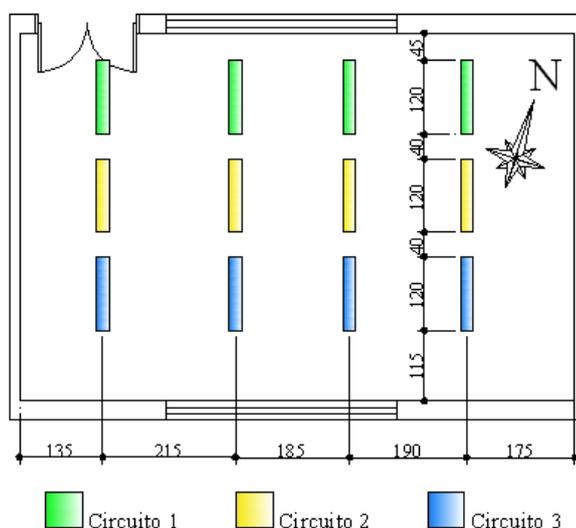
(fonte: elaborado pelo autor)

Desta forma, combinando as características da tarefa e do observador e o uso do ambiente, determina-se a mínima iluminância requerida como 300 lux, conforme o quadro 6, apresentado no item 3.5.2. É importante ressaltar que este valor reflete o mínimo médio necessário para esta sala de aula, ou seja, é aceitável que a iluminância em alguns pontos seja inferior a este valor desde que a média do recinto atinja o valor mínimo.

5.2 SISTEMA LUMÍNICO ATUAL

O sistema de iluminação artificial atual da sala estudada conta com 24 lâmpadas tubulares fluorescentes de 40 watts, da marca Osram, com intensidade luminosa de 2500 lúmens cada. As lâmpadas foram dispostas a uma altura de 2,5 metros, sendo duas em cada uma das 12 luminárias do tipo simples, distribuídas em três circuitos de ativação independentes, conforme a figura 17. Segundo informações fornecidas pelo Diretor do Núcleo Avançado do IFRS, em Feliz, durante o período de utilização das salas de aula, todas as lâmpadas permanecem constantemente acesas.

Figura 17 – Disposição das luminárias no sistema atual



(fonte: elaborado pelo autor)

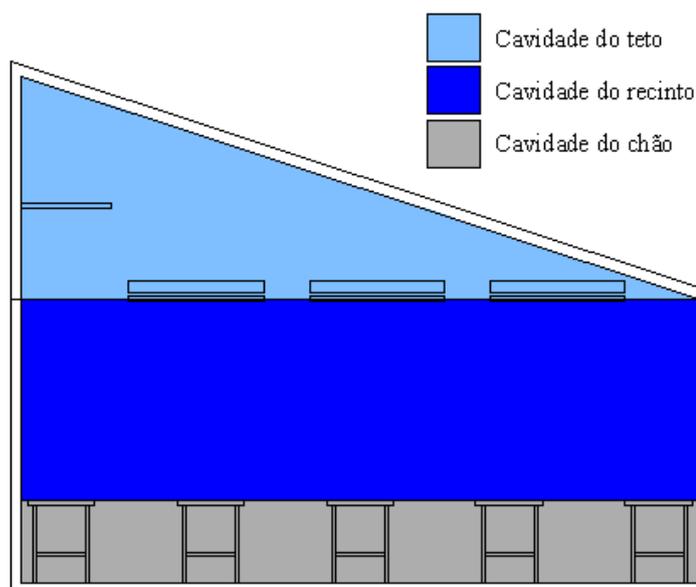
A fim de verificar as condições de iluminação artificial, foi feita a análise do sistema lumínico da sala de aula a partir do método dos lúmens e de uma modelagem computacional utilizando o *software* Ecotect.

5.2.1 Verificação pelo método dos lúmens

Para fins de verificação da coerência dos valores obtidos através da modelagem computacional, foi realizado o cálculo da iluminância pelo método dos lúmens. É válido ressaltar que este trabalho tem como pressuposto a validade das informações obtidas pelo *software*, no entanto é importante a comparação com resultados analíticos para avaliar a consistência do modelo.

Para o cálculo da iluminância na sala de aula, foram utilizadas as informações do sistema lumínico atual, conforme descritas anteriormente. O fator de utilização foi determinado através do método das cavidades zonais. A figura 18 apresenta um corte transversal da sala de aula, ilustrando a divisão e forma das cavidades.

Figura 18 – Cavidades zonais



(fonte: elaborado pelo autor)

Cada zona possui um fator de refletância específica que leva em consideração a forma de cada cavidade e o tipo de material das superfícies (MOREIRA, 1982, p. 120). Diversos autores sugeriram fatores de refletância de acordo com o tipo de revestimento. Neste estudo foram adotados os valores indicados por Sorcar (1987, p. 67), conforme o quadro 8.

Quadro 8 – Refletância por tipo de material

	Material	Refletância
FORRO	Tinta branca em gesso	80%
	Tinta branca em forro removível	70%
	Tinta branca em concreto liso	60%
	Tinta branca em concreto rugoso	50%
PAREDES	Tinta branca em gesso	80%
	Tintas coloridas	50%
	Concreto claro aparente	40%
	Tijolos	30%
	Reboco rugoso, cerâmica rugosa	25%
	Madeira clara	25%
	Madeira escura	20%
	Bloco rugoso	15%
PISO	Madeira clara	35%
	Madeira média	25%
	Madeira escura	20%
	Cerâmica clara	30%
	Cerâmica escura	20%

(fonte: adaptado de SORCAR, 1987, p. 67)

A cavidade do teto foi definida na forma de um prisma de seção transversal triangular, seguindo as dimensões da sala. O fator de refletância desta cavidade é definida através da equação 5 (SORCAR, 1987, p. 67):

$$\rho_{cc} = \frac{(\rho_c * A_0)}{A_s - \rho_c * A_s + \rho_c * A_0} \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

ρ_{cc} é o fator de refletância da cavidade;

ρ_c é a refletância do material do forro;

A_0 é a área da projeção horizontal do forro (m);

A_s é a área de superfície do forro (m).

O fator de refletância do recinto corresponde à refletância das superfícies laterais. Já para a determinação do fator de refletância do chão é utilizada a combinação da refletância do piso, das paredes e o índice de cavidade da zona (quadro 9).

Quadro 9 – Fator de refletância do chão

Refletância do piso (%)		20									
Refletância da parede (%)		90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Índice de cavidade do chão	0,2	21	20	20	20	20	20	19	19	19	17
	0,4	22	21	20	20	20	19	19	18	18	16
	0,6	23	21	21	20	19	19	18	18	17	15
	0,8	24	22	21	20	19	19	18	17	16	14
	1,0	25	23	22	20	19	18	17	16	15	13
	1,2	25	23	22	20	19	17	17	16	14	12
	1,4	26	24	22	20	18	17	16	15	13	12
	1,6	26	24	22	20	18	17	16	15	13	11
	1,8	27	25	23	20	18	17	15	14	12	10
	2,0	28	25	23	20	18	16	15	13	11	09

(fonte: adaptado de SORCAR, 1987, p. 68)

O índice de cavidade é determinado em função das dimensões da cavidade através da equação 6 (SORCAR, 1987, p. 63):

$$I_c = \frac{5 * hc * (L + D)}{L * D} \quad \text{(equação 6)}$$

Onde:

I_c é o índice de cavidade;

hc é a altura da cavidade (m);

L é o comprimento do recinto (m);

D é a largura do recinto (m).

No cálculo do fator de refletância do teto, a refletância do forro foi fixada em 70%, correspondente ao forro removível branco. Para a refletância das paredes foi adotado o valor de 50%, que corresponde à pintura na cor amarelo. Para o cálculo do fator de refletância do

chão, foi utilizado o valor de refletância do piso de 20%, correspondente à cerâmica escura. O quadro 10 apresenta os valores obtidos para as três cavidades.

Quadro 10 – Fator de refletância por cavidade

Cavidade	Fator de refletância
Teto	68,9%
Recinto	50%
Chão	20%

(fonte: elaborado pelo autor)

Combinando os fatores de refletância obtidos no quadro 10 com o tipo de luminária usada no recinto e o índice de cavidade do recinto, obtém-se um valor para o fator de utilização igual a 0,64. Este valor foi obtido a partir da interpolação dos valores do quadro 11, proposto por Moreira (1982, p. 125).

Quadro 11 – Fator de utilização para calha simples

Fator de refletância do teto		80%			50%			
Fator de refletância do recinto		50%	30%	10%	50%	30%	10%	
Fator de refletância do chão		20%						
Calha simples com 2 lâmpadas tubulares fluorescentes	Índice de cavidade do recinto	1	0,85	0,81	0,77	0,77	0,73	0,70
		2	0,73	0,66	0,60	0,66	0,60	0,56
		3	0,63	0,55	0,49	0,57	0,51	0,46
		4	0,55	0,47	0,41	0,50	0,44	0,38

(fonte: adaptado de MOREIRA, 1982, p. 125)

Para a determinação do fator de depreciação pelo uso foram desconsiderados os fatores não recuperáveis. Nos fatores recuperáveis, foi fixado o valor de 0,92 para sujidade das luminárias, que considera as luminárias como muito limpas em três anos de uso (figura 5), e 0,86 para a sujidade das superfícies, valor considerando as paredes como muito limpas em três anos de uso (figura 6). Para a depreciação da intensidade lumínica das lâmpadas foi arbitrado o valor de 0,9 e, para a queima de lâmpadas, foi definido que não há, em momento

algum, lâmpadas queimadas no recinto, ou seja, valor igual a 1. Multiplicando estes coeficientes, o valor resultado foi 0,712, para o fator de depreciação pelo uso.

Com base nos valores do fator de utilização, fator de depreciação pelo uso e as informações sobre a sala de aula (quantidade e tipo de lâmpadas e dimensões), foi calculado, através da equação 2, a iluminância no plano de trabalho, resultando no valor de 497 lux. Este valor é considerado adequado de acordo com a NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), tendo em vista que o mínimo requerido para o caso estudado é de 300 lux.

5.2.2 Verificação através de modelagem pelo *software* Ecotect

Neste item serão abordadas as considerações acerca do modelo desenvolvido no *software* e o desenvolvimento da análise sobre o sistema de iluminação atual.

5.2.2.1 A modelagem

O modelo foi desenvolvido com o uso das ferramentas de desenho fornecidas pelo *software*, e utilizando tutoriais presentes no próprio programa e no site do desenvolvedor. As dimensões do modelo foram fornecidas pelo projeto arquitetônico, e podem ser verificadas no anexo A. Os índices físicos dos materiais, em sua maior parte, foram fornecidos pela biblioteca do programa, fazendo-se ajustes quando necessário, pois nem sempre a cor definida representa a refletância real do material.

Para a representação das paredes, foram utilizados dois planos espaçados em 30 centímetros, que representam a espessura da parede externa. Para o plano externo, utilizou-se a refletância de 25,3%, referente ao tijolo à vista, e, para o plano interno, aproximadamente 75% referente à cor amarelo claro.

Assim como as paredes, o telhado também foi moldado em dois planos na água norte, o externo representando as telhas cerâmicas com refletância de 38,4%, e o interno que simula o forro composto por fibra mineral na cor branca, com refletância de 78,9%. Já a água sul, por não possuir forro, foi feita apenas com o plano que representa as telhas, tornando visível o madeiramento de sustentação da estrutura.

Para outros elementos, como esquadrias, piso e quadro as refletâncias são apresentadas no quadro 12.

Quadro 12 – Índices físicos do modelo

	Transmitância	Refletância
Tijolo à vista	0,0%	25,3%
Pintura amarelo claro	0,0%	74,2%
Madeira	0,0%	48,3%
Telhas cerâmicas	0,0%	38,4%
Cerâmica Cinza	0,0%	48,7%
Vidros	89,9%	94,9%
Forro interno	0,0%	78,9%
Prateleira de luz	0,0%	89,8%
Quadro	0,0%	89,8%

(fonte: elaborado pelo autor)

A posição geográfica foi definida através de um *link* fornecido pelo programa, que dá acesso ao Google Maps, sendo assim, bastou localizar o ponto desejado. As informações adquiridas através deste método foram : latitude de $-29,4557^\circ$ e longitude de $51,2932^\circ$, e altitude aproximada de 49 m também fornecida pelo *site*. O azimute, adquirido através das plantas arquitetônicas, varia em torno de 18° , não sendo o valor exato, mas, para fins de simplificação, foi este o valor adotado.

Na modelagem, foram desconsiderados alguns elementos por serem de difícil modelagem como, por exemplo, a vegetação externa, e outros por não apresentarem significativa influência nos resultados obtidos, como é o caso das cadeiras, e dos pés de sustentação das mesas, como mostra o quadro 13.

Quadro 13 – Comparação entre situação real e modelo



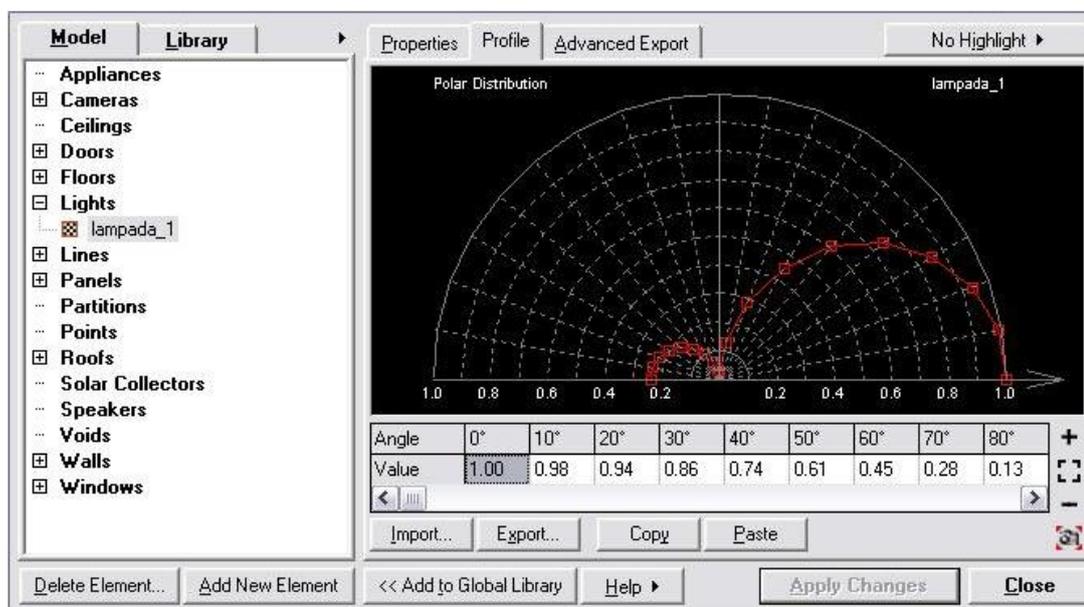
(fonte: elaborado pelo autor)

Para a definição dos parâmetros das lâmpadas e luminárias utilizadas, foi importado para o *software*, do site de um fabricante⁵, um arquivo no formato *.IES* que contém as informações

⁵ Disponível em: < <http://www.lightolier.com/resources/downloads.jsp#FILES>>. Acesso em: 20 de out. de 2011.

dos parâmetros fotométricos fornecido pela IES, a figura 19 mostra a distribuição polar da lâmpada tubular fluorescente com luminária simples.

Figura 19 – Parâmetros fotométricos fornecidos pela IES



(fonte: *software Ecotect*)

5.2.2.2 Resultados

Para a simulação da iluminação foi definida uma grade imaginária horizontal na altura das classes. Esta grade está dividida em 600 células e se estende por toda a área interna da sala estudada. Os resultados obtidos neste trabalho se referem à iluminância na altura do plano de trabalho.

Ao se iniciar um processo de simulação lumínica, o Ecotect sugere diversas configurações padrão, que podem ser modificadas pelo usuário, referentes a condições da abóboda celeste, qualidade da simulação e outros fatores intervenientes para a precisão da simulação. As configurações usadas podem ser vistas na figura 20.

Figura 20 – Configurações para simulação lumínica

lighting analysis | STEP 7 OF 7 (SUMMARY) | Tool Hints **HELP!**

Calculation Type: Overall Light Levels - Daylight and Electric

General Settings: High Precision | Average Windows | Auto-save model
 Fully compliant thermal model
 Increased accuracy mode

Sky Conditions: CIE Overcast Sky | 9500 lux

Calculate Over: POINT Objects | Full 3D Grid Analysis | Display test points
 Analysis Grid

Use Wizard Always skip this wizard. | << Back | OK | Cancel

(fonte: *software* Ecotect)

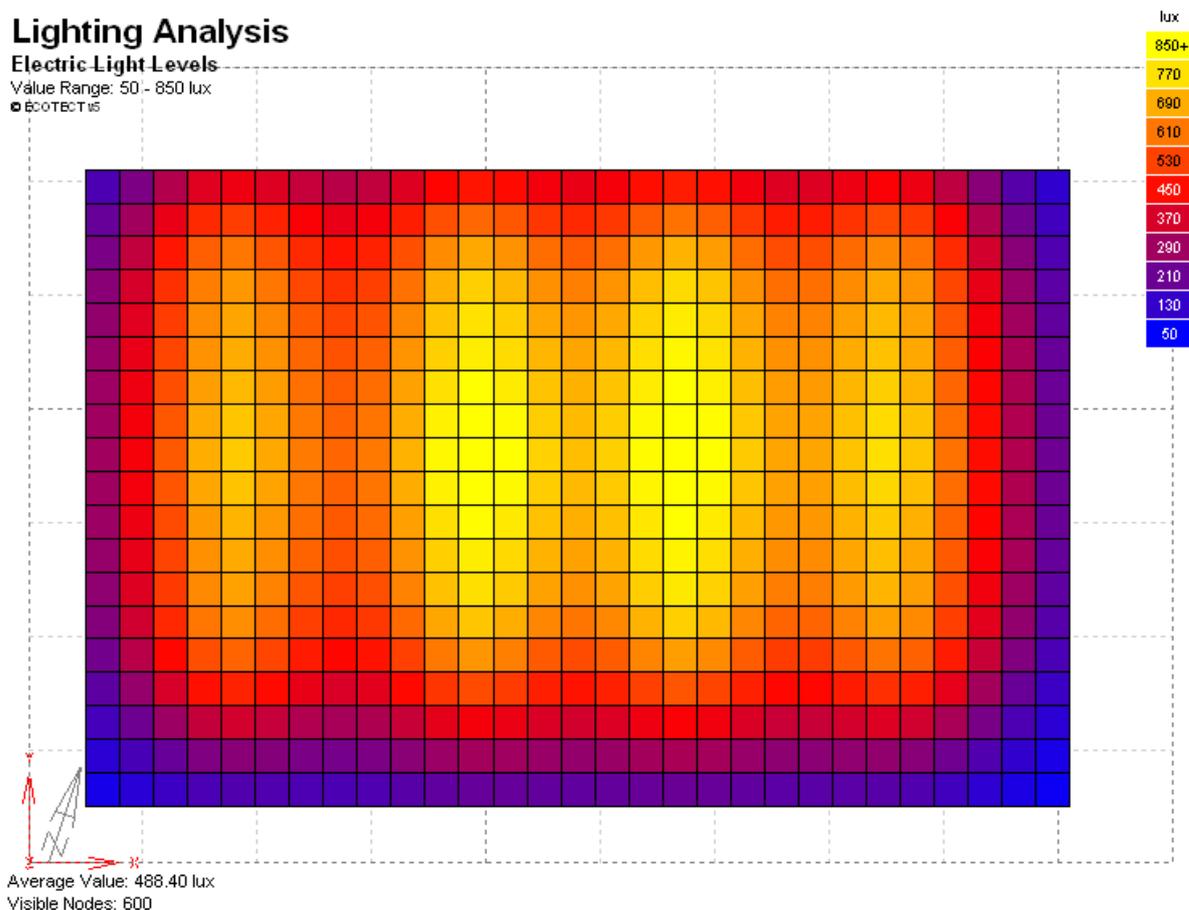
A opção *calculation type* refere-se a quais tipos de iluminação devem ser processados, neste caso optou-se pelos dois tipos: iluminação da luz do dia (*daylight*) e iluminação artificial (*electric*). Em *General Settings* escolhe-se a precisão da incidência de luz natural e a sujidade das janelas, ou seja, a perda de eficiência na transmitância dos vidros das janelas por acúmulo de sujeira. Neste caso, foi utilizada a opção *Average Windows* que representa 90% de eficiência.

Em *Sky Conditions* estão representadas as condições de céu simuladas. As opções escolhidas foram céu encoberto (*Overcast Sky*), que é a configuração recomendada pelo *software* de acordo com os padrões da CIE. A intensidade de iluminação da abóboda celeste foi definida em 9500 lux, valor fornecido pelo programa que representa a mínima intensidade luminosa atingida em 85% do tempo entre as 9 e 17 horas ao longo dos anos, de acordo com as coordenadas da edificação estudada⁶.

O resultado obtido para iluminação artificial, com base nas configurações acima descritas encontra-se na figura 21. É importante salientar que estes resultados se referem apenas à iluminação artificial, sem interferência da incidência da luz natural.

⁶ Sistema de ajuda do *software* Ecotect

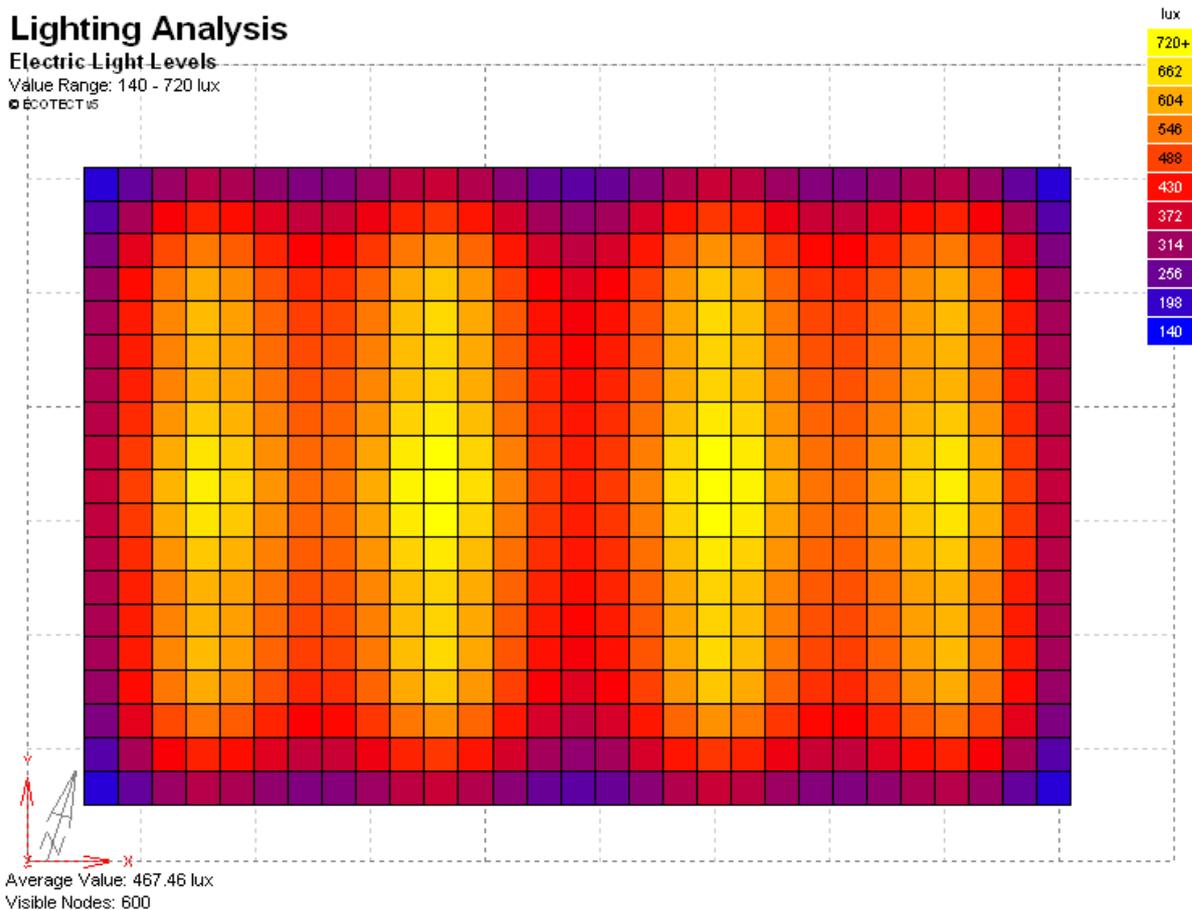
Figura 21 – Resultado da iluminação artificial atual

(fonte: *software Ecotect*)

Como pode ser observado, os valores de iluminância para o projeto lumínico variam entre aproximadamente 850 a 50 lux, com uma média de 488,40 lux, superior ao mínimo requerido pela NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Nota-se que a distribuição não é precisamente simétrica nos eixos x e y. Isso se deve ao fato de as lâmpadas não estarem instaladas simetricamente. Esta assimetria na posição das lâmpadas causa uma variação na iluminância média do recinto, e aumenta a variabilidade da iluminância entre diferentes pontos da sala. Na figura 22 foi simulada a iluminação com as lâmpadas dispostas simetricamente nos dois eixos a fim de analisar esta variação.

Figura 22 – Iluminação atual com lâmpadas dispostas simetricamente

(fonte: *software Ecotect*)

Com as lâmpadas dispostas de forma simétrica a variação de iluminância na sala passou a ser de aproximadamente 720 a 140 lux, e a iluminância média resultou em 467,46 lux. Com base nessas informações nota-se uma grande redução na variabilidade de iluminância, e uma quase inalterada redução na iluminância média o que é benéfico para o conforto do usuário, visto que todos os pontos da sala são utilizados para o mesmo fim.

Segundo o fabricante⁷, a potência do sistema composto por um reator com duas lâmpadas é de 82 Watts, resultando em um consumo de 0,082 kWh por luminária. Como o sistema lumínico possui 12 luminárias que ficam acesas aproximadamente 8 horas por dia, referente à 4 horas no turno da tarde e 4 horas no turno da noite, cinco dias por semana, estima-se um consumo mensal de 170,43 kWh. Se aulas fossem ministradas também no turno da manhã, totalizando 12 horas de uso diário, o consumo passaria a ser de 255,64 kWh.

⁷ Dado obtido do catálogo da Osram. Disponível em: <http://www.osram.com.br/appsbr/tab_aplic/index_.php>. Acesso em: 15 de nov. de 2011.

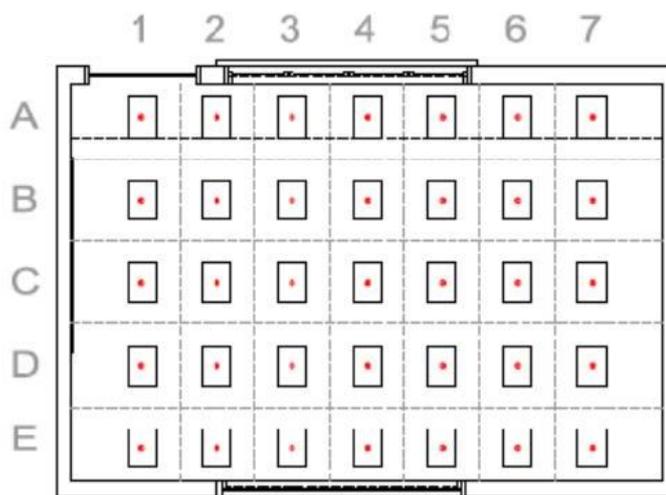
5.2.3 Comparação entre modelagem e medições in loco do FLD

Krum (2011) realizou ao longo do ano de 2009 e 2010 medições *in loco* de iluminâncias externas e internas na edificação, a fim de obter os valores de FLD da sala de aula. Segundo a autora, este método leva em consideração as condições de céu real, portanto, como é recomendado que as medições sejam feitas em diferentes horários do dia, a medição foi realizada em intervalos de duas horas a partir do horário de início de expediente até o final do expediente diurno.

Para esse estudo Krum (2011, p. 80) estabeleceu datas para as medições próximas aos solstícios de inverno e verão (22 de dezembro de 2009 e 21 de junho de 2010) e ao equinócio de outono (18 de março de 2010).

Krum (2011) definiu 35 pontos de verificação da iluminância interna distribuídos uniformemente (figura 23), conforme recomendação da NBR15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004b), com realização das medições na altura de 75 centímetros, que é a altura do plano de trabalho.

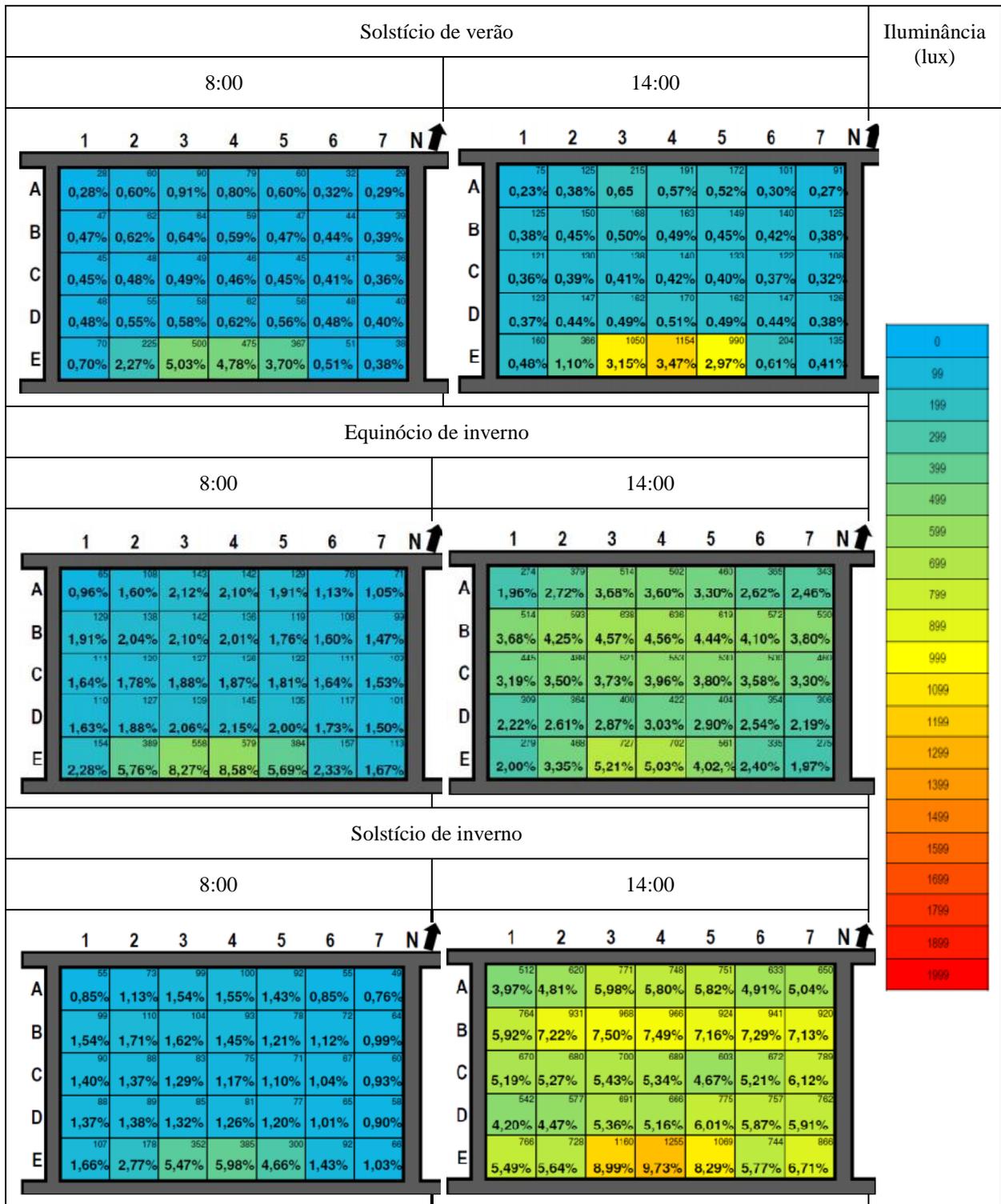
Figura 23 – Malha de pontos de verificação sobre a superfície de trabalho



(fonte: KRUM, 2011, p. 81)

O quadro 14 apresenta os resultados obtidos por Krum (2011) na medição *in loco*. Para fins de ilustração serão apresentados apenas dois resultados para cada dia da medição. Os demais resultados utilizados na comparação encontram-se no anexo B.

Quadro 14 – FLD obtido por medição *in loco*

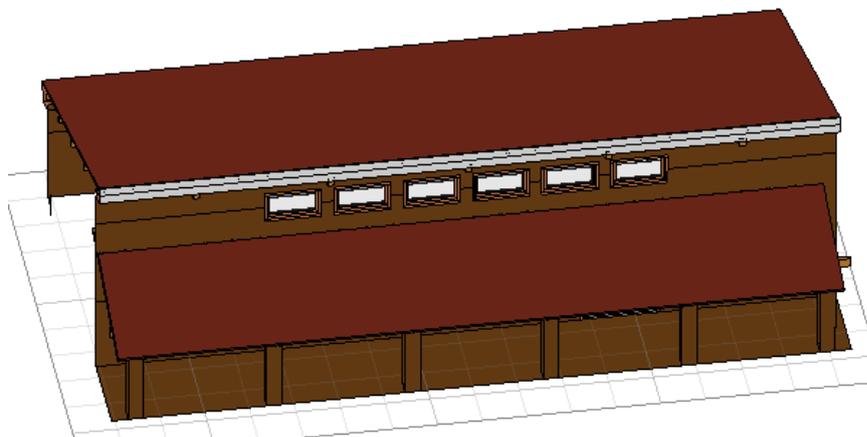


(fonte: adaptado de KRUM, 2011)

Na medição nota-se uma grande variação no valor do FLD, em função da época do ano e do horário. É observado um aumento no período de inverno, nos horários das 12:00 e 14:00 horas, momento em que o sol encontra-se incidindo diretamente na fachada norte, porém, sem

incidência de raios solares diretamente no recinto, apenas na prateleira de luz, como mostra a figura 24.

Figura 24 – Vista solar da edificação no dia 21 de junho às 13:00 horas



(fonte: *software Ecotect*)

Apesar dessa variação no FLD, a distribuição de iluminância no interior da sala mantém-se semelhante ao longo do ano, com os maiores valores próximos às janelas da fachada sul, nos pontos E3, E4 e E5, seguido dos pontos próximos às janelas da fachada norte, nos pontos A3, A4 e A5. Os menores valores de FLD são observados nos pontos próximos às paredes leste e oeste.

Para a modelagem, o Ecotect considera a iluminação natural como uniforme em toda a abóboda celeste, ou seja, como se a luz proveniente de fontes naturais fosse distribuída igualmente em inúmeros pontos emissores de iluminação ao longo de toda a área do céu. Já na iluminação natural real, existe apenas o sol como fonte de luz, a partir do qual os raios solares são difundidos na atmosfera, dando a sensação de uniformidade na iluminação proveniente da abóboda celeste.

Devido a essa simplificação, no primeiro caso a posição solar não interfere na iluminância resultante do modelo de luz difusa, tornando-se parâmetro significativo apenas a intensidade lumínica externa. A posição do Sol só vem a ser utilizada pelo programa em estudos de níveis de insolação no interior das edificações, ou para a determinação do sombreamento causado por estas. Como no interior da edificação estudada não há incidência de luz direta, a posição solar não interfere nos valores de FLD, sendo estes constantes ao longo de todo o ano.

A figura 25 mostra os valores de FLD calculados pelo software Ecotect, nas mesmas posições das medições feitas *in loco* e a média de todos os valores obtidos no local.

Figura 25 – FLD obtido através de simulação computacional e com medições *in loco*

		Simulação computacional						
		1	2	3	4	5	6	7
A		0,90%	1,55%	3,57%	3,92%	3,35%	1,36%	0,91%
B		0,97%	1,52%	2,44%	2,68%	2,03%	1,55%	1,14%
C		1,06%	1,62%	2,17%	2,18%	2,02%	1,55%	1,18%
D		1,00%	1,97%	3,27%	3,00%	2,86%	1,64%	1,40%
E		1,78%	2,39%	6,23%	6,86%	4,99%	1,91%	1,30%
		Medições <i>in loco</i> – média anual						
		1	2	3	4	5	6	7
A		1,09%	1,50%	2,09%	2,01%	1,91%	1,41%	1,34%
B		1,77%	2,11%	2,25%	2,24%	2,10%	2,02%	1,88%
C		1,59%	1,68%	1,82%	1,85%	1,77%	1,74%	1,73%
D		1,33%	1,48%	1,64%	1,70%	1,70%	1,57%	1,51%
E		1,58%	2,67%	4,81%	4,88%	4,10%	1,74%	1,55%

(fonte: elaborado pelo autor)

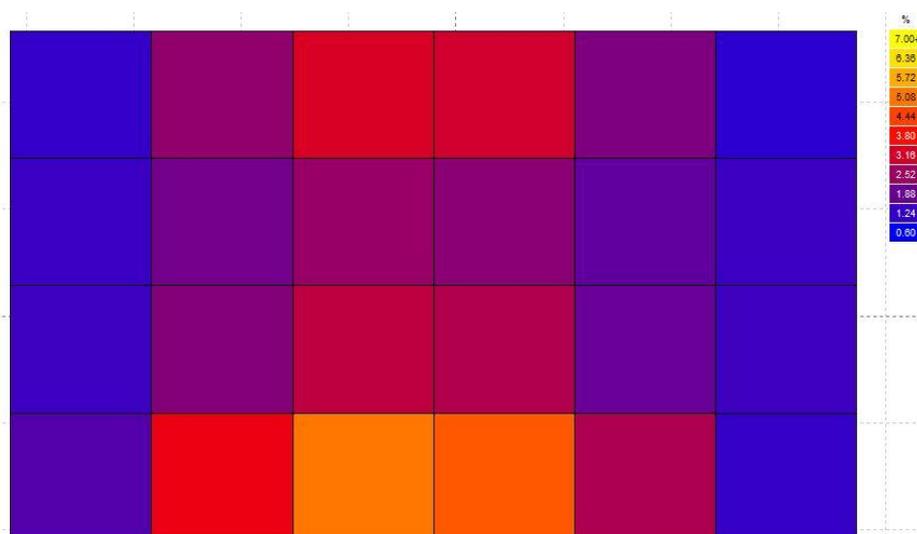
Nota-se que os valores de fator luz do dia obtidos na modelagem, embora constantes, apresentam-se um pouco acima da média anual dos valores obtidos com medições *in loco*. O FLD médio na simulação apresentou o valor de 2,29% e o FLD real médio da média anual é de 2,00%, ou seja, 12,58% menor que o a modelagem. Isso, provavelmente, deve-se ao fato de ter sido desconsiderada a vegetação próxima à edificação, pois, sem esta, aumenta a

incidência de luz difusa no interior da sala, por não haver nenhuma barreira de iluminação próxima às janelas.

Já a intensidade de iluminação segue o mesmo padrão de distribuição das medições, com picos de iluminância próximo às janelas da fachada sul, nos pontos E3, E4 e E5, seguidos pelos valores elevados dos pontos adjacentes à janela da fachada norte (A3, A4 e A5). Os menores valores de iluminância se encontram próximos às paredes leste e oeste.

Para melhor visualização, a figura 26 apresenta a distribuição da iluminação em valores de FLD. Porém é importante ressaltar que o *software* considera o ponto de leitura nos nós da malha. A medição *in loco*, por outro lado, é feita no centro da célula, portanto a comparação entre figuras compostas por *falsecolor* não pode ser feita de forma direta.

Figura 26 – Simulação computacional do modelo real com os nós posicionados nos pontos da medição *in loco*



(fonte: *software* Ecotect)

5.3 SISTEMA LUMÍNICO PROPOSTO

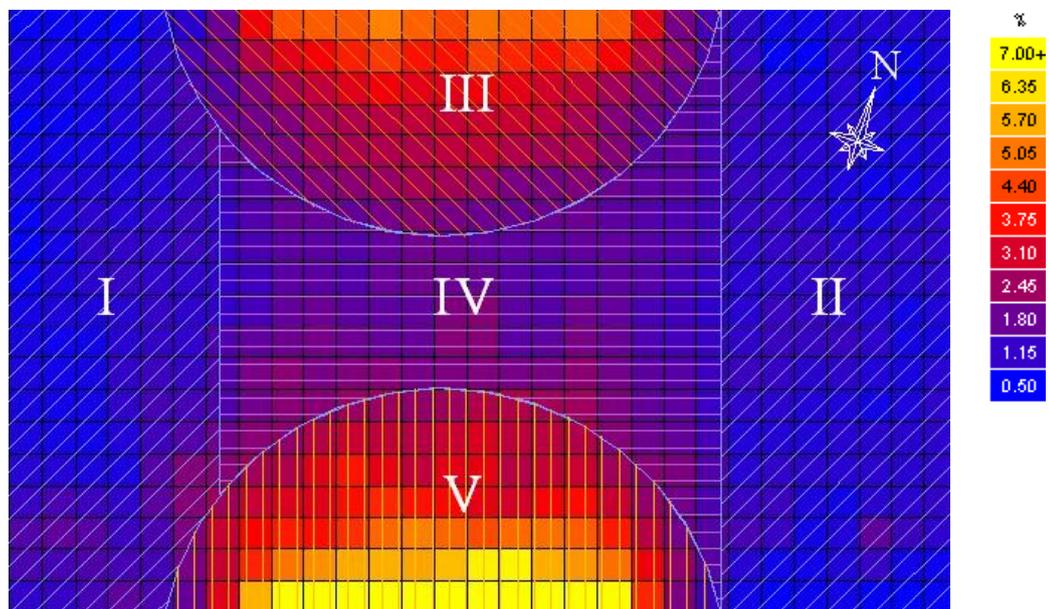
No novo sistema de iluminação, proposto neste trabalho, optou-se por usar o mesmo tipo de luminárias e lâmpadas hoje existentes na sala de aula, pois o trabalho tem como objetivo a redução do consumo energético apenas com o melhor aproveitamento da iluminação natural, sem considerar o aproveitamento energético que poderia resultar do uso de lâmpadas e luminárias com maior eficiência. Outro fator que é relevante elucidar é o fato de que, como os planos de trabalho estudados são várias mesas, ao longo de toda a sala de aula, e a posição

dessas variam, foi considerado, para os cálculos, a menor iluminância média em uma área de 30x30 cm, tamanho de cada célula da grade comentada no item 5.2.2.2.

5.3.1 Determinação do novo sistema

Para avaliar melhor a distribuição da intensidade lumínica no interior da sala, foi simulado o fator luz do dia com 600 nós na malha, definindo, assim, cinco zonas (figura 27), cada uma delas com diferentes valores de FLD médio, sendo as médias da zona I e II de aproximadamente 1,2%; da zona III de 3,3%; da zona IV de 1,8% e da zona V de 5,5%.

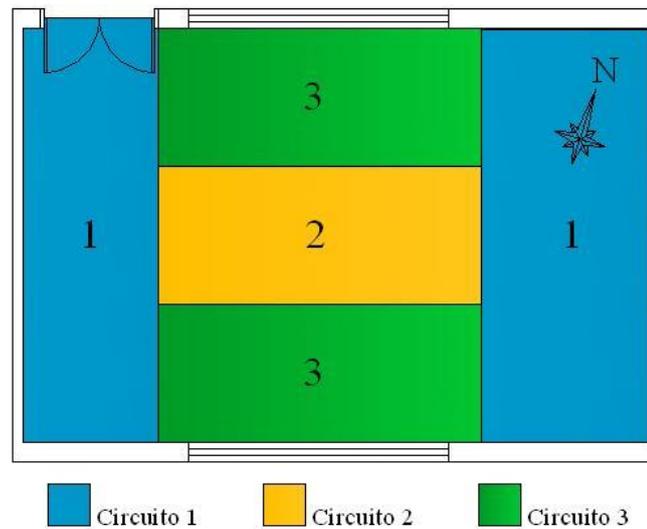
Figura 27 – Zonas com diferentes FLD



(fonte: elaborada pelo autor)

A partir dessas informações, nota-se uma maior necessidade de utilização de luz artificial nas zonas I e II, seguidas da zona IV e por último nas zonas III e V. Definiram-se, então, para o sistema de iluminação proposto, três circuitos (C1, C2 e C3) com interruptores independentes. Cada um desses circuitos acende lâmpadas com influência nas diferentes zonas de FLD, como mostra a figura 28.

Figura 28 – Área de influência dos circuitos

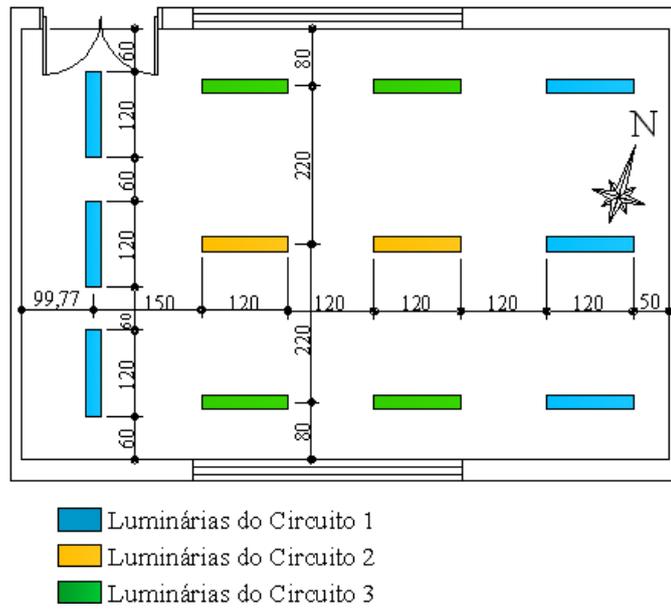


(fonte: elaborado pelo autor)

Foram determinados apenas três circuitos, devido à praticidade de utilização pelo usuário. Evitou-se a escolha de um sistema com muitos circuitos, pois este elevaria a complexidade de seu uso e dificultaria a visualização da necessidade ou não de lâmpadas acesas em cada zona.

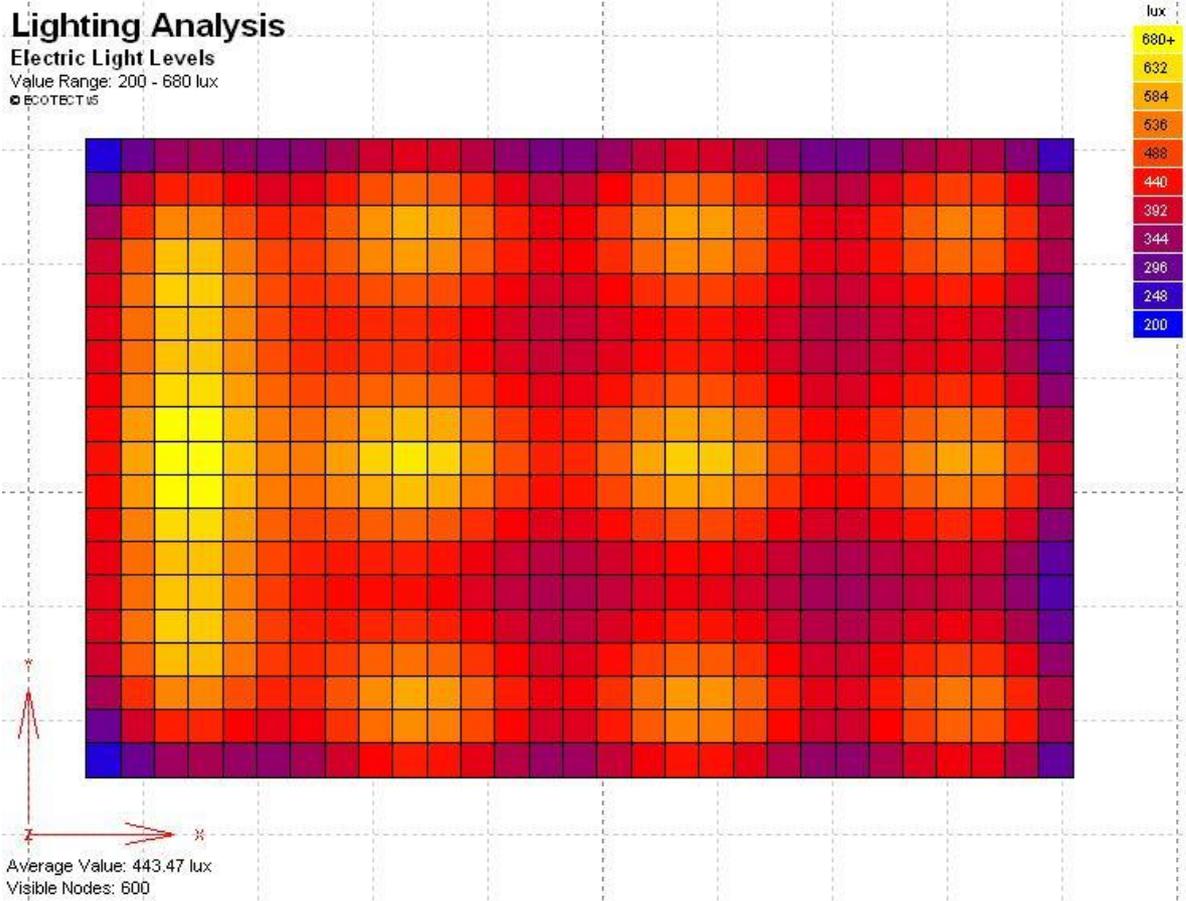
Para a determinação da quantidade e posicionamento das luminárias, o sistema foi calculado para condições noturnas de utilização do ambiente, ou seja, sem a incidência de iluminação natural, visto que a sala de aula também é utilizada no turno da noite. Para manter o mínimo de iluminância requerida em todo o ambiente, foi necessária a utilização das mesmas 12 luminárias do sistema de iluminação atual. Porém, alterando a disposição dessas para uma configuração longitudinal (figura 29), observou-se uma significativa diminuição na variabilidade de iluminância no ambiente, que passou a ter uma iluminância média de aproximadamente 444 lux, variando de 200 a 690 lux (figura 30)

Figura 29 – Disposição das luminárias



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 30 – Iluminação artificial do sistema proposto

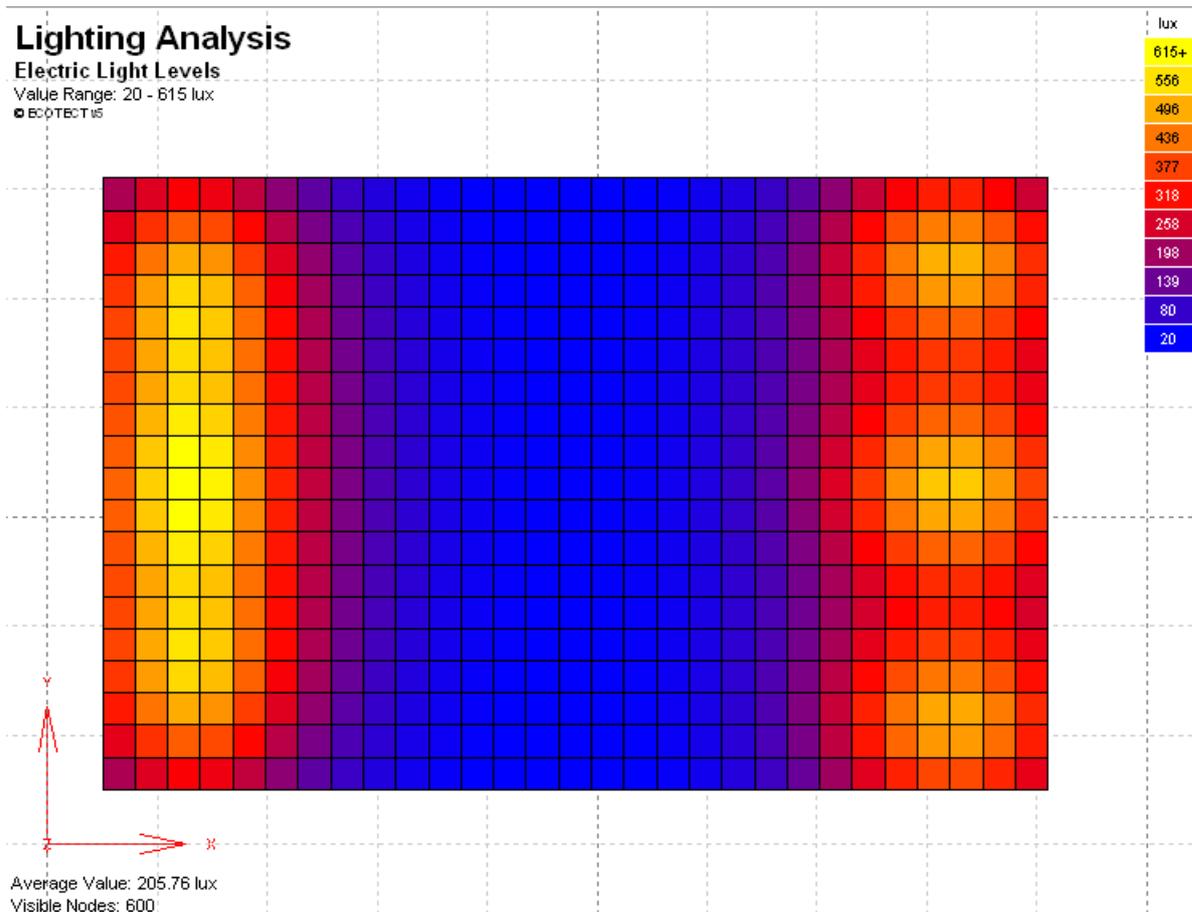


(fonte: software Ecotect)

Nota-se que o nível de iluminância médio ficou consideravelmente maior que o mínimo sugerido pela NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), que é de 300 lux. Isso ocorre devido à impossibilidade de se diminuir a quantidade de luminárias na sala de aula, pois se essas forem redistribuídas em um número menor, haverá regiões sobre as superfícies de trabalho com iluminância menor que a mínima especificada.

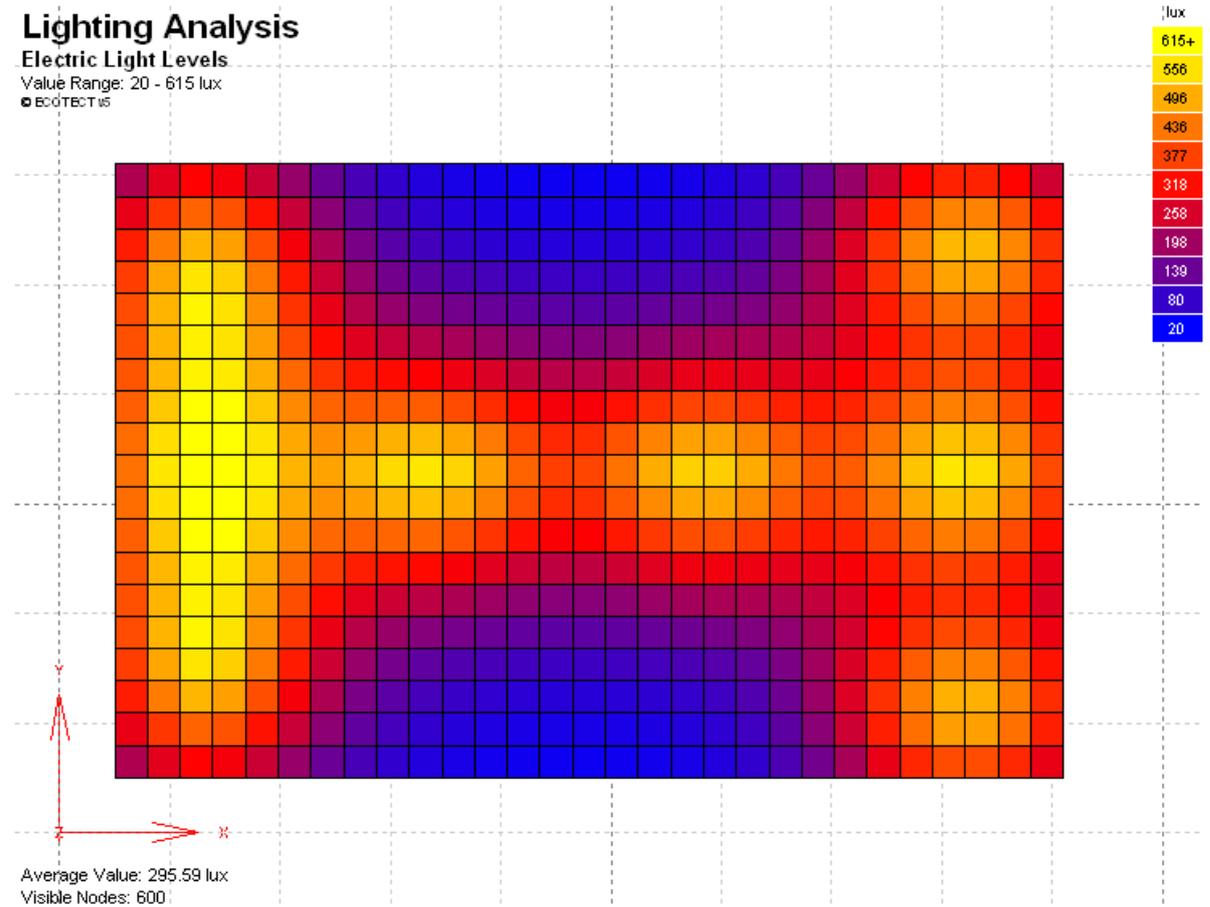
Para o aproveitamento da iluminação natural, sugere-se que os circuitos sejam acionados de acordo com a necessidade no ambiente. Neste sistema, propõe-se que os circuitos sejam acionados na ordem C1, C2 e por último C3, e desativados na ordem C3, C2 e C1 de acordo com a luminância da abóboda celeste. A figura 31 apresenta os níveis de iluminação artificial resultantes do acionamento do circuito C1 e a figura 32 representa o acionamento dos circuitos C1 e C2. Para os três circuitos acionados a representação está demonstrada na figura 30.

Figura 31 – Iluminância adquirida com o circuito C1 acionado

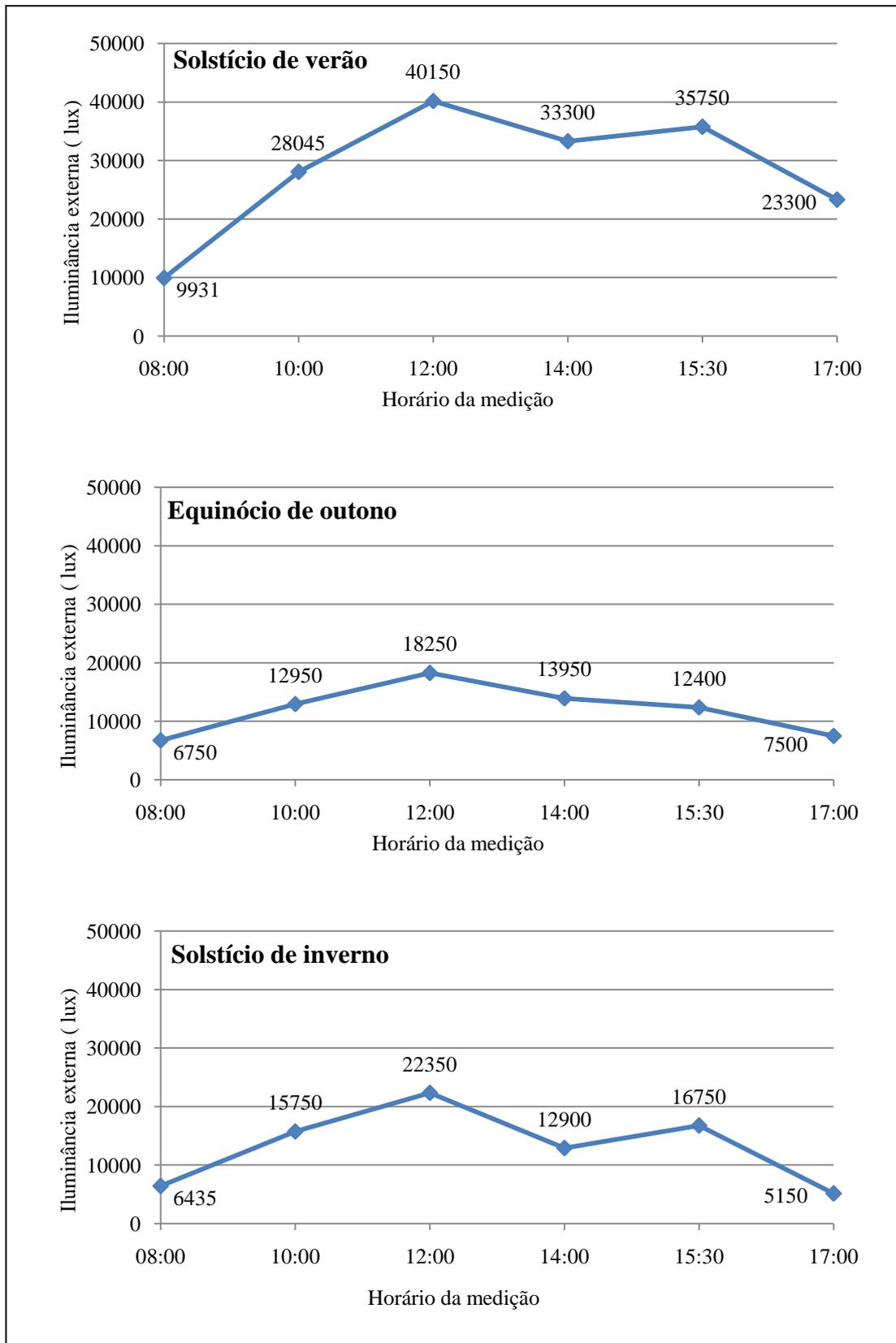


(fonte: *software Ecotect*)

Figura 32 – Iluminância adquirida com os circuitos C1 e C2 acionados

(fonte: *software Ecotect*)

Para a determinação do FLD, com medições *in loco*, Krum (2011) realizou a medição da intensidade lumínica externa protegendo o fotosensor da incidência direta de raios solares. Segundo a autora, a cada medição da iluminância na sala, primeiramente realizava-se uma medição externa, e, após a medição dos valores internos, novamente era feita a medição na parte externa. Os valores encontrados nessas medições estão representados na figura 33.

Figura 33 – Valores de iluminância externa obtidos nas medições *in loco*

(fonte: adaptado de KRUM, 2011, p. 100-123)

Os valores obtidos nas medições foram utilizados como parâmetros de entrada na simulação computacional, de modo que, a partir desses resultados, obteve-se o valor previsto da iluminância interna nos três dias de referência. Para observar melhor a variação da iluminância interna em função da externa, foram determinados valores de intensidade lumínica intermediários aos medidos, a fim de definir com maior precisão o ponto de acionamento dos circuitos propostos. O cálculo da iluminância interna foi realizado para as seguintes combinações de iluminação natural e artificial:

- a) somente natural;
- b) natural e circuito C1 acionado;
- c) natural e circuitos C1 e C2 acionados;
- d) natural e circuitos C1, C2 e C3 acionados.

Os valores de iluminância externa utilizados variam entre 5150 e 42000 lux. Esses valores foram determinados com base nas medições *in loco*, estando estes representando a máxima e mínima iluminância nos dias de controle. O menor valor encontrado se refere às 17:00 horas do solstício de inverno e o maior às 12:00 horas do solstício de verão.

A NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 4) determina valores de iluminância média sobre qualquer plano de trabalho. Conforme calculado no item 5.1 a iluminância mínima requerida na sala de aula estudada é 300 lux. Dado que a disposição das classes varia com a dinâmica das aulas, considera-se que há necessidade de aumento da iluminação quando uma região, independentemente da sua posição, apresentar iluminação abaixo da requerida. A partir dessas considerações, determinou-se a necessidade de iluminação artificial.

O quadro 15 apresenta os valores de iluminância média na altura do plano de trabalho em todo o recinto e a média sobre uma classe com menor iluminância, qualquer que seja sua posição, sendo este último valor o determinante para o acionamento ou desligamento dos circuitos. As células destacadas representam a combinação de iluminação natural e artificial que deve ser utilizada. O Quadro 16 define o acionamento ou desligamento dos circuitos em função da iluminância externa.

Quadro 15 – Iluminância no interior da sala de aula com diferentes combinações de luz natural e artificial

Iluminância externa (lux)	Iluminância interna							
	Natural		Natural e C1		Natural, C1 e C2		Natural, C1, C2 e C3	
	Média (lux)	Mínima** (lux)	Média (lux)	Mínima** (lux)	Média (lux)	Mínima** (lux)	Média (lux)	Mínima** (lux)
5150*	109,84	43,50	315,60	111,67	405,43	177,61	566,90	386,65
6000	127,97	50,63	333,73	121,78	423,56	228,33	571,44	397,92
7500*	159,96	67,69	365,72	158,16	455,55	248,25	603,43	401,07
9000	191,96	81,23	397,71	162,16	487,55	270,57	635,42	408,52
9931*	211,81	89,67	417,57	175,99	507,40	284,43	655,28	419,31
11000	234,61	99,31	440,37	203,90	530,20	300,33	678,08	431,70
12000	255,94	108,31	461,70	220,32	551,53	315,21	699,91	443,29
13950*	297,53	125,91	503,29	235,70	593,12	344,23	-	-
15000	319,93	135,39	525,69	248,06	615,52	362,89	-	-
16750*	357,25	151,18	563,01	277,29	652,84	345,27	-	-
17500	372,40	157,95	579,01	297,43	668,84	380,98	-	-
18000	383,40	161,66	568,68	312,47	679,50	384,72	-	-
21000	447,90	189,55	653,66	345,86	-	-	-	-
22350*	476,69	201,73	682,45	360,48	-	-	-	-
24000	511,89	216,62	717,64	384,99	-	-	-	-
27000	575,87	243,70	781,63	429,50	-	-	-	-
28045*	598,16	253,13	803,92	445,08	-	-	-	-
30000	639,86	270,78	845,61	474,12	-	-	-	-
33300*	709,29	299,70	915,52	523,80	-	-	-	-
35750*	761,48	321,75	967,24	560,25	-	-	-	-
39000	830,70	351,00	1036,46	608,59	-	-	-	-
40150*	855,20	361,35	1060,96	625,70	-	-	-	-
42000	894,60	378,00	1100,36	653,22	-	-	-	-

* valores obtidos com medição *in loco*
 ** menor valor de iluminância sobre uma superfície de trabalho

(fonte: elaborado pelo autor)

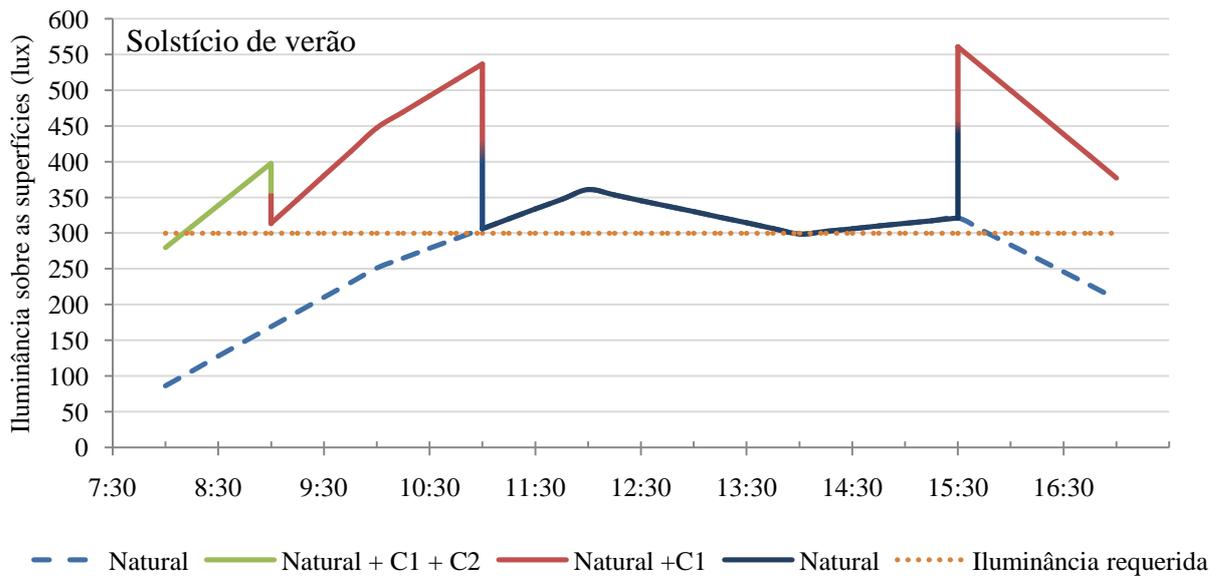
Quadro 16 – Acionamento dos circuitos em função da iluminância externa

Iluminância externa (lux)	C1	C2	C3
< 11000	X	X	X
11000 - 17500	X	X	-
17500 - 33300	X	-	-
> 33300	-	-	-

(fonte: elaborado pelo autor)

Com base nos dados apresentados acima, foram definidos os intervalos de funcionamento de cada circuito. Os resultados obtidos para o solstício de verão encontram-se na figura 34:

Figura 34 – Necessidade de iluminação artificial no solstício de verão



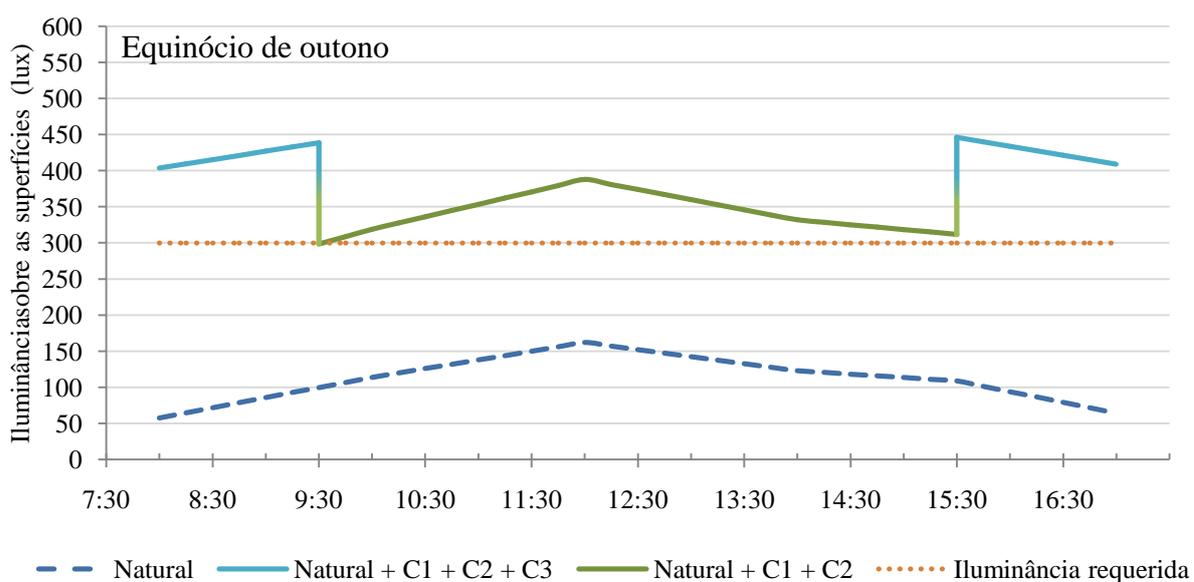
(fonte: elaborado pelo autor)

No solstício de verão, as atividades da sala podem ser iniciadas com os circuitos C1 e C2 ligados. Nota-se que inicialmente a iluminância está um pouco abaixo da mínima. No entanto, como é pequeno o intervalo em que se permanece nessa situação, o fato foi desconsiderado. Às 9:00 horas o circuito C2 é desligado, permanecendo a iluminância acima da requerida. Esta configuração permanece até 11:00 horas, momento no qual todos os circuitos são desligados, permanecendo apenas a iluminação natural incidindo no recinto. A partir das

15:30 horas há novamente a necessidade de acionamento do circuito C1, que permanece em funcionamento até o final do turno (17:00 horas).

A figura abaixo (figura 35) representa o funcionamento do sistema no equinócio de outono:

Figura 35 – Necessidade de iluminação artificial no equinócio de outono

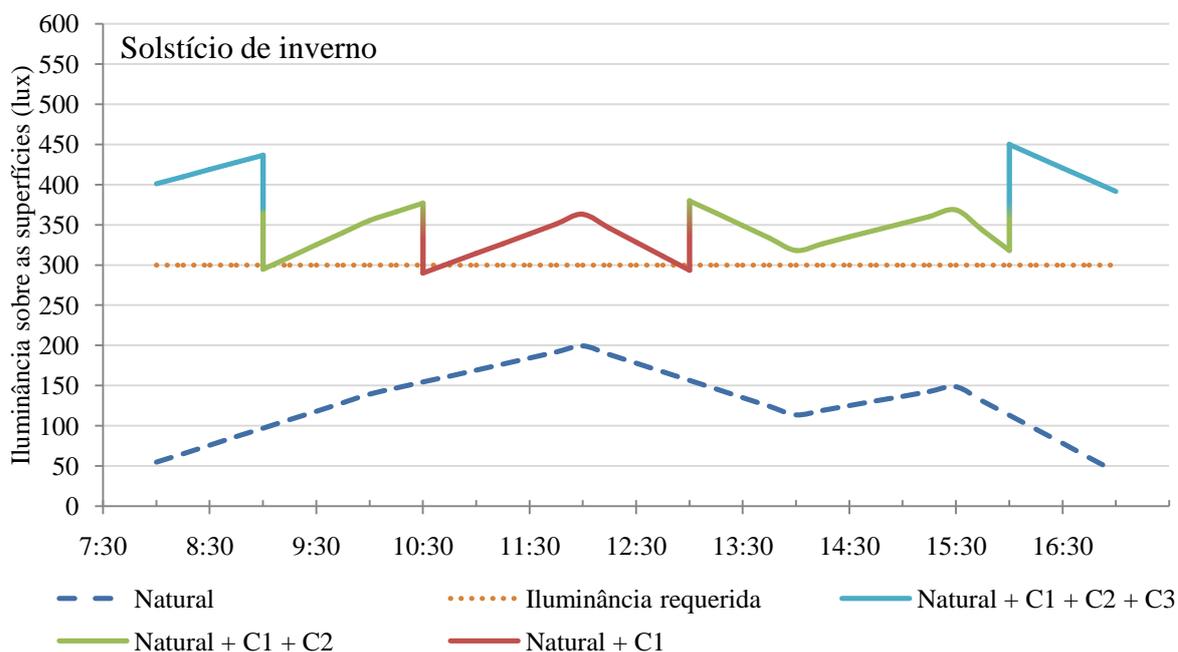


(fonte: elaborado pelo autor)

Nesta data de controle, nota-se uma menor iluminância externa ao longo do dia. Portanto há necessidade de maior complementaridade da iluminação natural através do sistema artificial. Sendo assim, no início da manhã, há necessidade de ativação dos três circuitos até as 9:30 horas. A partir deste horário o circuito C3 é desativado, permanecendo apenas os circuitos C1 e C2 em funcionamento até as 15:30, momento no qual há novamente a necessidade de acionamento do C3, permanecendo assim até o final do dia.

No Solstício de inverno, das 8:00 às 9:00 horas é necessária a ativação dos três circuitos. No intervalo entre 9:00 e 10:30, é desativado o circuito C3, permanecendo acionados os circuitos C1 e C2. A partir das 10:30 horas é desativado o circuito C2, permanecendo apenas o circuito C1 ativado até as 13:00 horas, momento no qual volta a necessidade de ativação do circuito C2. Todos os circuitos ativados passam a ser necessários novamente a partir das 16:00 horas, como mostra a figura 36.

Figura 36 – Necessidade de iluminação artificial no solstício de inverno



(fonte: elaborado pelo autor)

Devido à grande quantidade de acionamentos e desligamentos dos circuitos ao longo de cada dia, somado à dificuldade de percepção visual quanto à necessidade de aumento de iluminância em pontos localizados do recinto, seria desejável um sistema de ativação automático das luminárias, sem a necessidade da intervenção do usuário. Uma solução seria a automatização através de temporizadores, no entanto esta não seria apropriada, pois cada dia tem uma configuração de intensidade lumínica distinta, que varia em função das condições climáticas do momento, fazendo com que em dias com menor iluminância o sistema não atenda as iluminâncias mínimas requeridas.

Uma solução provavelmente mais adequada para esse problema seria a instalação de fotocélulas na parte externa da edificação, em local livre de obstruções que possam efetuar a leitura da intensidade da luz diurna. Para cada circuito seria necessária uma fotocélula distinta, com pontos de ativação diferentes. Para o circuito C1 seria uma, com ponto de ativação em 33.300 lux, sendo abaixo desse valor as lâmpadas ativadas e acima desativadas. Para os circuitos C2 e C3 os pontos de ativação das fotocélulas seriam de 17.500 e 11.000 lux respectivamente. Tudo isso ligado a um interruptor, que aciona o sistema de um modo geral.

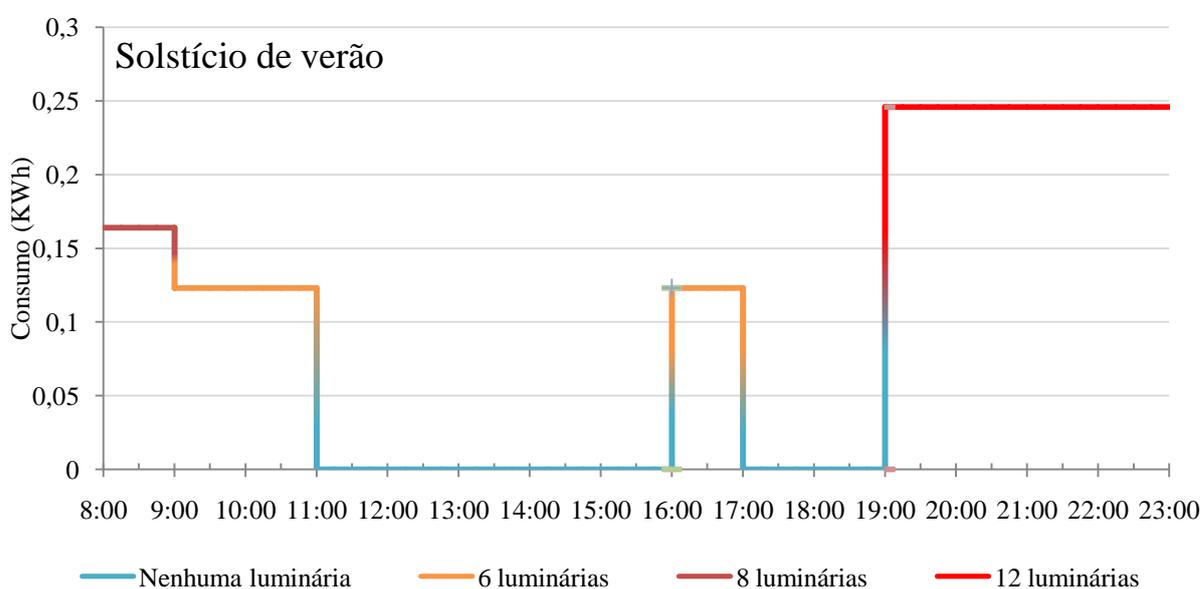
5.3.2 Verificação da economia energética

Para fins de verificação da economia energética com a implantação desse sistema de iluminação, foi elaborada uma análise do consumo diário resultante da utilização desta nova configuração para os três dias de controle. No presente trabalho, esses dias de medição foram considerados representativos da média anual de consumo

Nesta análise foram desenvolvidos dois estudos: o primeiro representando à realidade de utilização da sala de aula, ou seja, os intervalos de utilização sendo nos turnos da tarde e noite; e um segundo caso que se refere à utilização nos três turnos, caso viessem a ser implementadas aulas no turno da manhã.

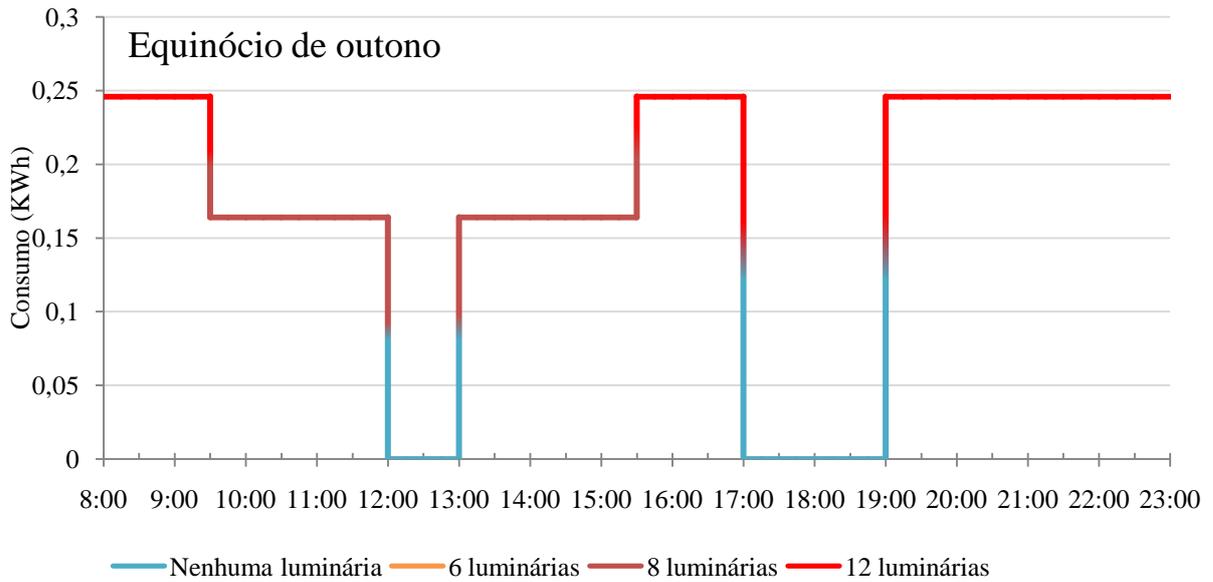
Na figuras 37, 38 e 39 é apresentado o consumo de energia elétrica despendido pelo sistema de iluminação proposto no solstício de verão, equinócio de outono e solstício de inverno, respectivamente.

Figura 37 – Consumo de energia elétrica no solstício de verão



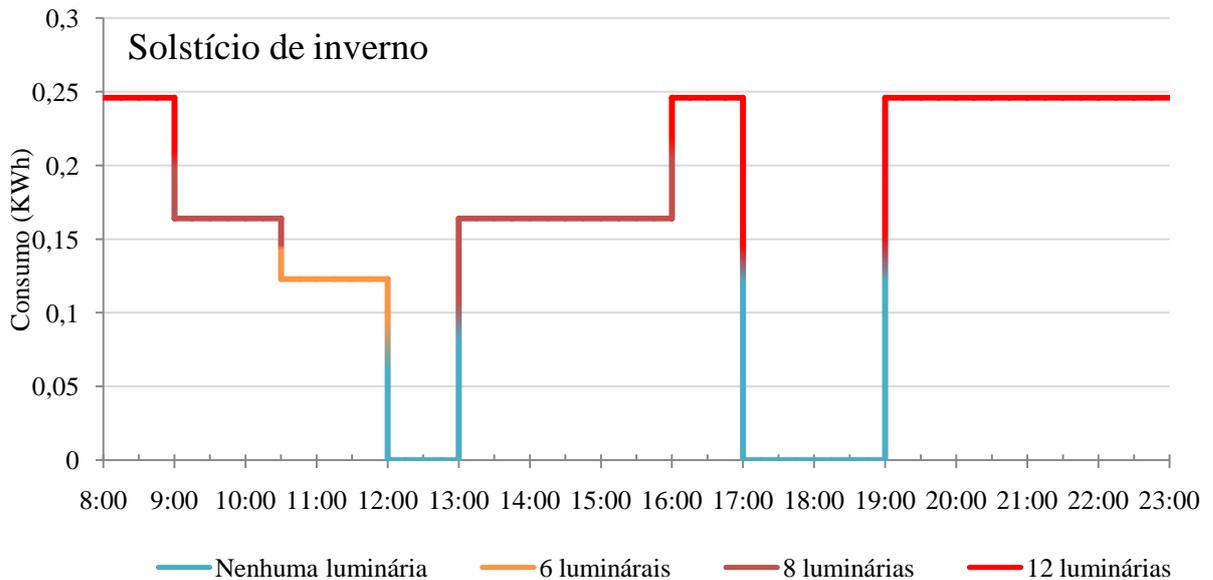
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 38 – Consumo de energia elétrica no equinócio de outono



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 39 - Consumo de energia elétrica no solstício de inverno



(fonte: elaborado pelo autor)

Com base nos resultados acima obtidos, e com os resultados encontrados no item 5.2.2.2 referente ao consumo energético do sistema de iluminação atual, foi elaborada uma comparação entre o consumo de energia elétrica despendido pelo sistema atual e o proposto, evidenciando a economia energética que seria proporcionada caso viesse a ser implantado este novo sistema. O quadro 17 mostra detalhadamente esta comparação

Quadro 17 – Comparação entre o sistema atual e o proposto

	Sistema atual	Sistema proposto			
		Solstício de verão	Equinócio de outono	Solstício de inverno	Média
	Tarde e noite				
Consumo diário (kWh)	7,87	5,04	7,05	6,89	6,33
Consumo mensal (kWh)	170,43	109,18	152,68	149,13	136,99
Consumo anual (kWh)	2045,15	1310,17	1832,11	1789,50	1643,93
	Manhã, tarde e noite				
Consumo diário (kWh)	11,81	6,56	10,17	9,72	8,82
Consumo mensal (kWh)	255,64	142,02	220,14	210,37	190,84
Consumo anual (kWh)	3067,72	1704,29	2641,65	2524,48	2290,14

(fonte: elaborado pelo autor)

Então, com a instalação do sistema de iluminação proposto neste trabalho, para as condições atuais de uso da sala de aula, o consumo médio anual sofreria uma redução de 2045,15 kWh, referente ao sistema atual, para 1643,93 kWh. Essa redução representa uma economia de 401,22 kWh, equivalente a 19,62% do gasto de energia elétrica.

Com a implantação de aulas no turno da manhã, o dispêndio de energia para fins de iluminação com o sistema atual seria de 3067,72 kWh por ano, enquanto o sistema proposto demandaria 2290,14 kWh para o mesmo período. Neste caso a economia alcançada seria de 777,58 kWh, equivalente a 25,35% do consumo anual.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho objetivou-se a comparação do consumo energético entre o sistema de iluminação atual e uma proposta, que otimiza a interação entre luz natural e artificial, em uma sala de aula no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Avançado de Feliz. Para isso foram utilizadas simulações computacionais realizadas no *software* Ecotect e dados de iluminância obtidos em medições *in loco*.

No sistema proposto, buscando o máximo aproveitamento da iluminação natural, foi proposto o reposicionamento das luminárias e a redistribuição dos circuitos, com diferentes momentos de acionamento e desligamento, a fim de se fornecer a iluminância adequada ao usuário sem que ocorram grandes desperdícios de energia elétrica.

A seguir serão apresentadas as conclusões referentes ao sistema de iluminação atual, sistema de iluminação proposto e a economia potencial com a instalação do sistema proposto.

6.1.SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

A partir das análises realizadas, pode-se concluir que o sistema de iluminação atual:

- a) apresenta valores médios de iluminância acima do mínimo requerido pela NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992);
- b) apresenta má distribuição das luminárias, estando estas posicionadas assimetricamente, ocasionando grande variação na iluminância entre regiões da sala de aula;
- c) excede significativamente a iluminância requerida em certos horários do dia, visto que os usuários mantêm o sistema acionado durante todo o período de utilização da sala de aula.

6.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO

No que se refere ao sistema de iluminação proposto, conclui-se que:

- a) este sistema está de acordo com os valores mínimos de iluminância requeridos pela NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992);
- b) o novo posicionamento das luminárias, em uma configuração longitudinal, gera maior uniformidade de iluminância no recinto, sem a necessidade de acréscimo de novas luminárias;
- c) é possível o aproveitamento da luz natural, de forma a reduzir o consumo energético;
- d) é necessário um sistema de ativação automático, utilizando fotocélulas para cada circuito, dada a dificuldade de percepção visual do usuário quanto à necessidade de iluminância suplementar.

6.3 ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

A respeito da economia potencial de energia elétrica, pode-se concluir que:

- a) a implantação do sistema proposto, para as condições de uso atual, gera uma economia anual de 401,22 kWh, representando 19,62% do consumo atual;
- b) com a utilização da sala de aula também no turno da manhã, a economia de energia alcançada com a implantação do novo sistema seria de 777,58 kWh, valor que representa 25,35% da energia despedida com o sistema atual.

REFERÊNCIAS

AMORIM, C. N. D. **Iluminação natural e eficiência energética** – Parte I: estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável. Paranoá, 2002a.

_____. **Iluminação natural e eficiência energética** – Parte II: sistemas inovadores para luz natural. Paranoá, 2002b.

ANDRADE, J. Autodesk Ecotect Análisis. **Magazine Digital eUAU!**. v. 4, p. 5-6, jul. 2009. Disponível em: <<http://www.tecad.pt/documents/magazine/1548583087eUAU-Edicao04.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5314**: iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15215-3**: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 15215-4**: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro, 2004b.

FRANDOLOSO, M. A. L. **Critérios de projeto para escolas fundamentais bioclimáticas**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GARROCHO, J. S. **Luz natural e projeto de arquitetura**: estratégias para a iluminação zenital em centros de compras. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/luz%20natural%20e%20projeto.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2010

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE J. **Iluminação natural**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F.; DUTRA, L. **Eficiência energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

KRUM, C. C. **Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas**: um estudo de caso. 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOREIRA, V. A. **Iluminação e fotometria**: teoria e aplicação. 2. ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. **Iluminação**. Florianópolis, UFSC, 2000. Apostila da disciplina de Conforto Ambiental do Curso de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Apostila_Iluminacao.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2010.

REINHART, C.; SELKOWITZ, S. Daylighting: light, form, and people. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 38, n. 7, p. 715-717, July 2006.

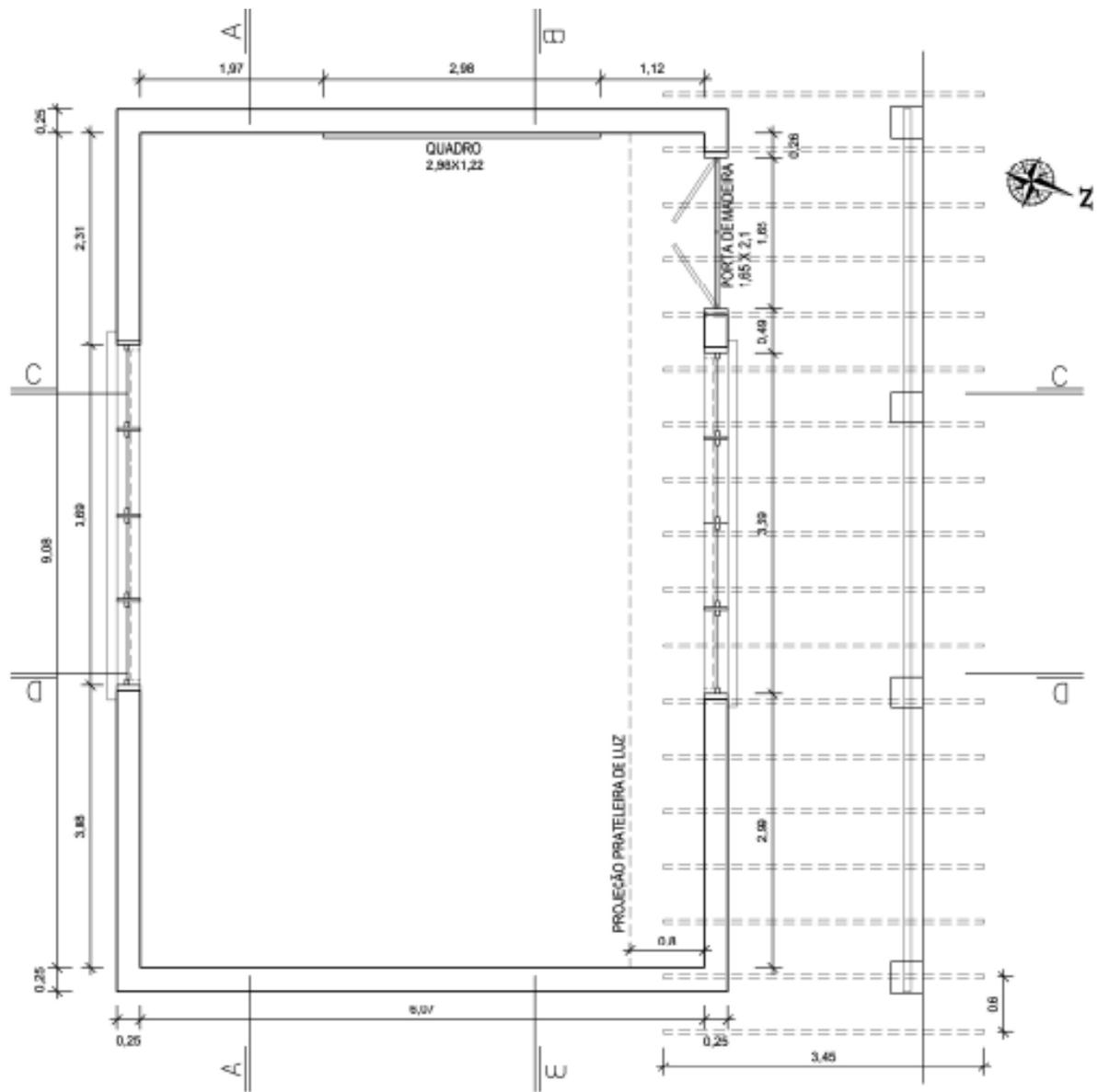
SILVA, M. L. **Iluminação**: simplificando o projeto. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

SORCAR, P.C. **Architectural lighting for commercial interiors**. [S. l.]: John Wiley and Sons Inc., 1987.

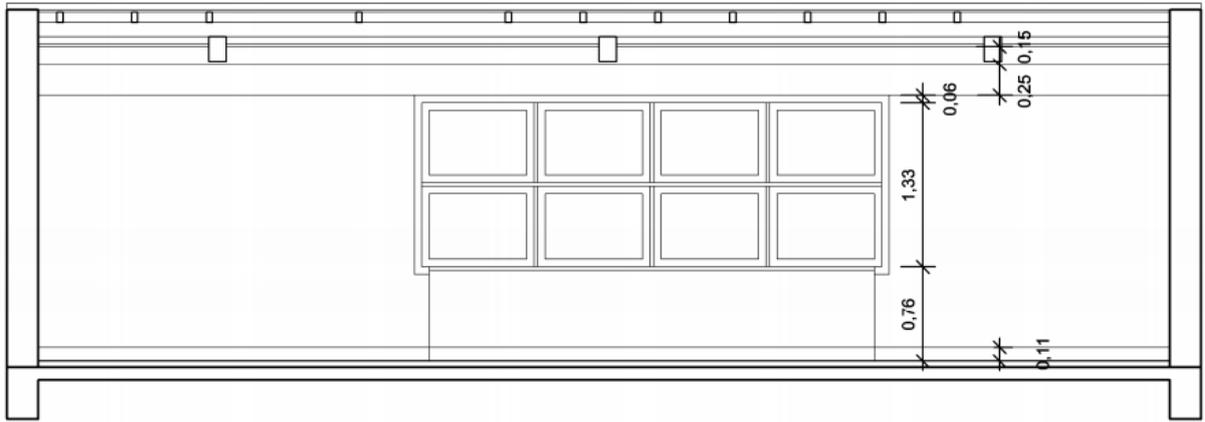
TAVARES, S. G. **Simulação computacional para projeto de iluminação e arquitetura**. 2007. 169 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES J. C. S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus, 2001.

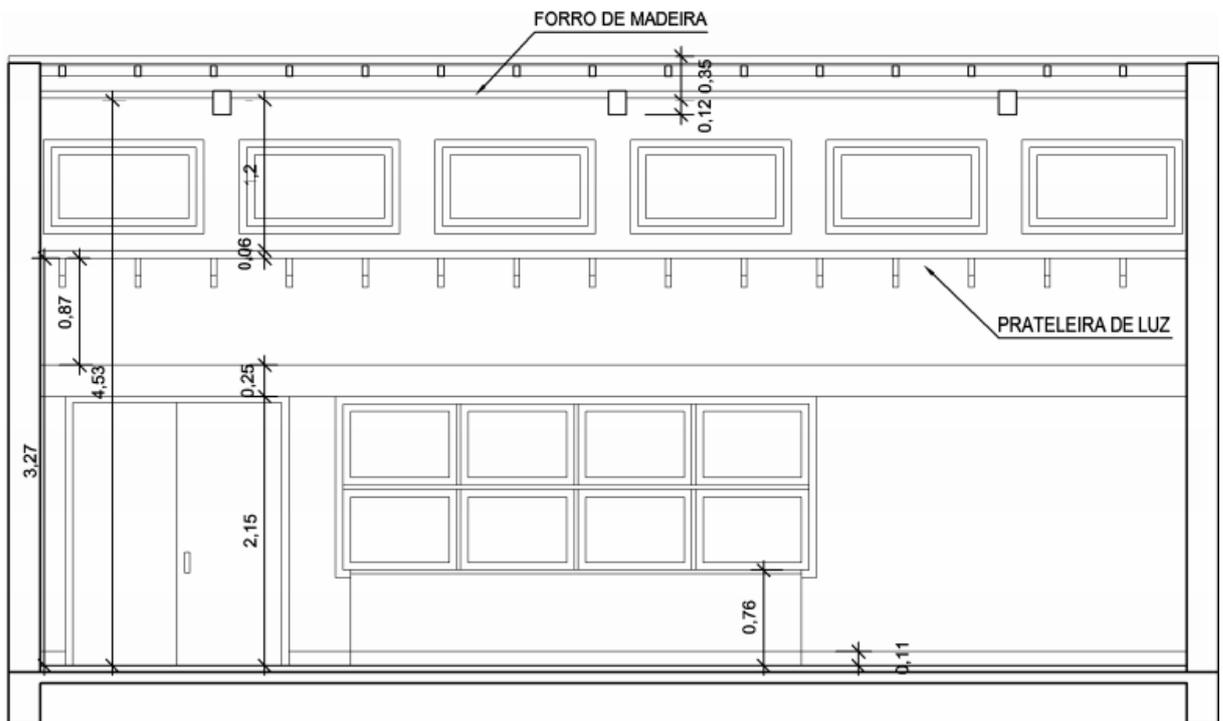
ANEXO A
Planta baixa, cortes e detalhes arquitetônicos
da sala de aula estudada.



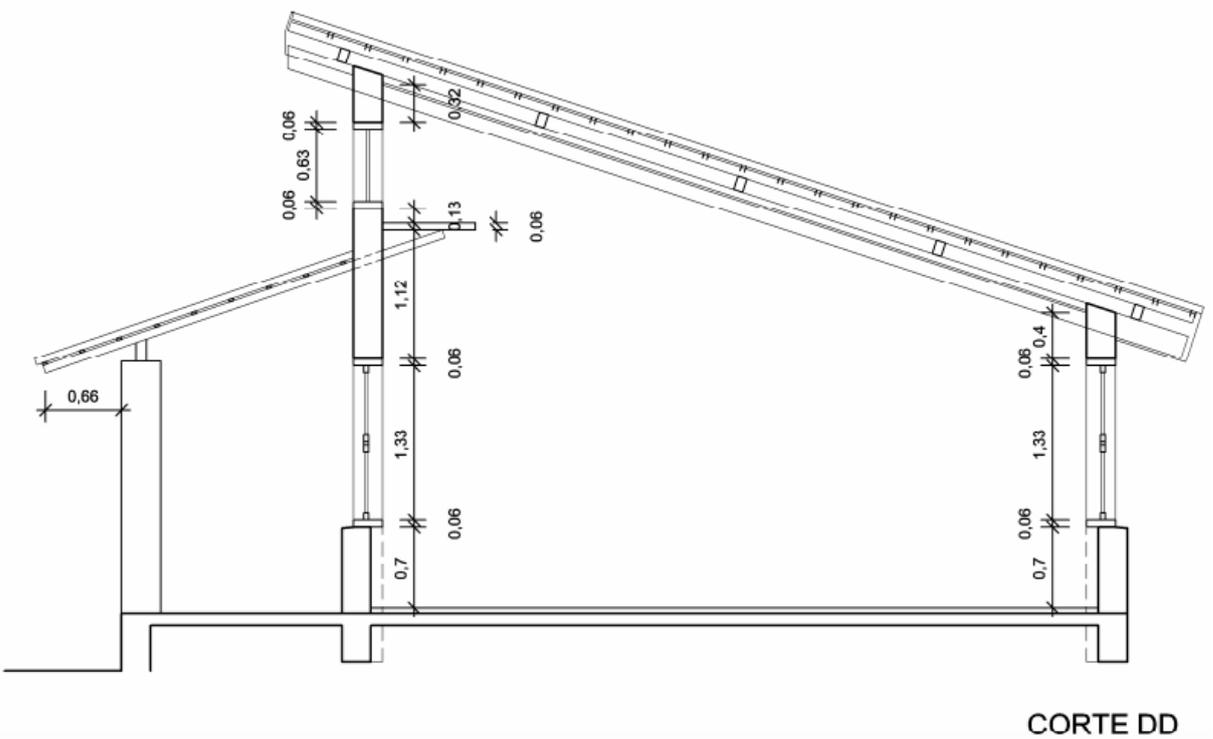
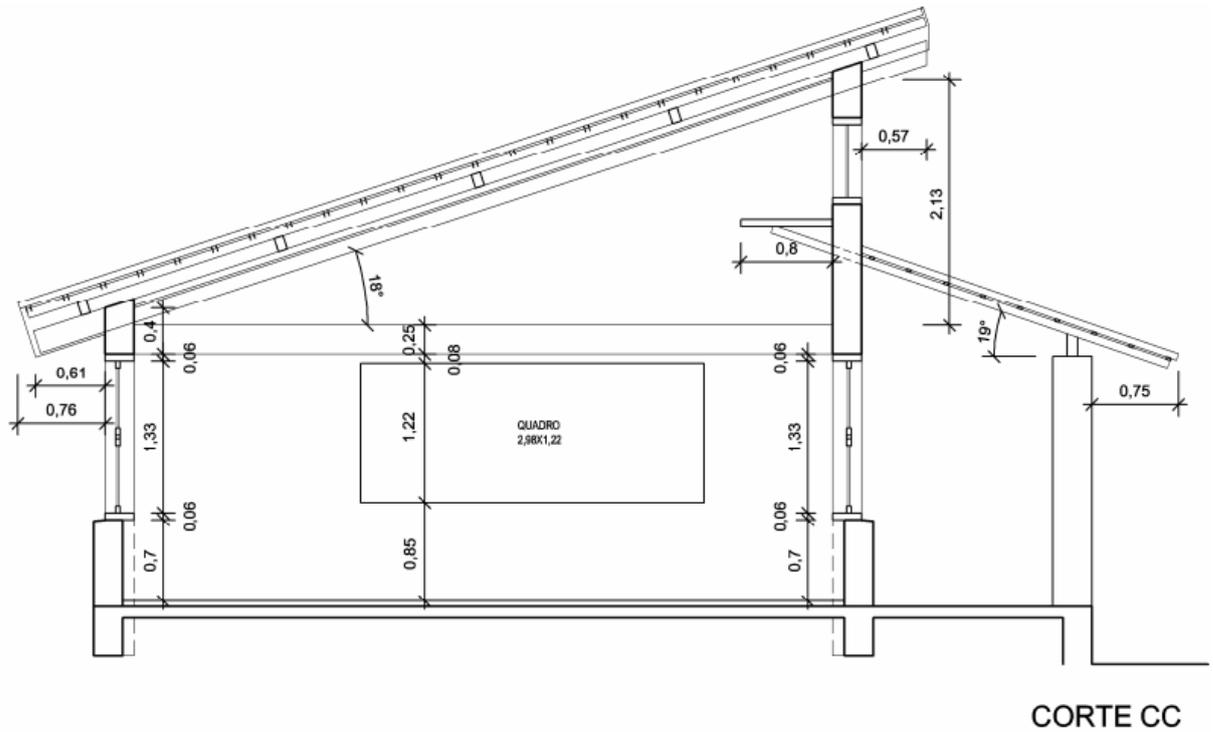
PLANTA BAIXA NÍVEL DO PISO

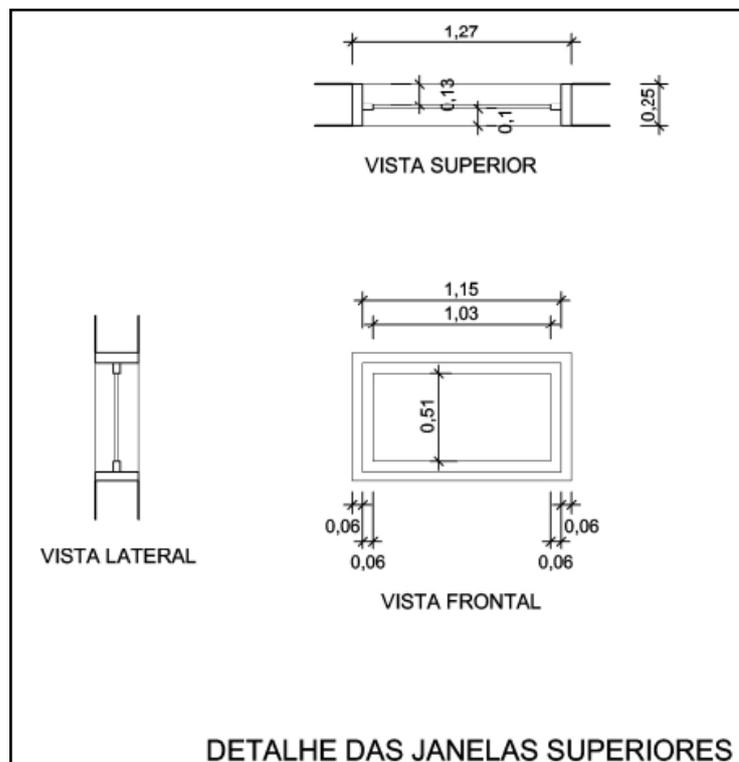
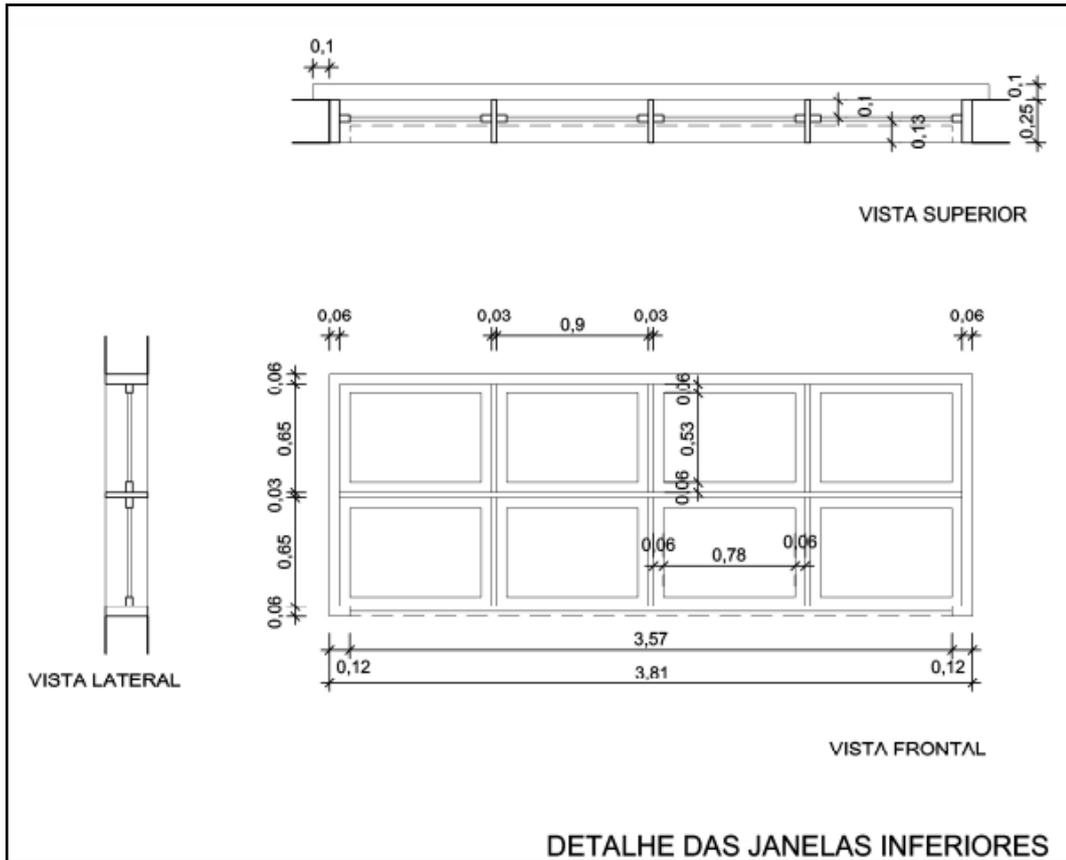


CORTE AA



CORTE BB





ANEXO B

Valores de FLD obtidos nas medições *in loco*

(KRUM, 2011, p. 107 -129)

