

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso.

Christiane Cunha Krum

Porto Alegre
2011

CHRISTIANE CUNHA KRUM

**DESEMPENHO LUMÍNICO EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR COM
ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS E BIOCLIMÁTICAS: UM
ESTUDO DE CASO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico.

Porto Alegre
2011

CHRISTIANE CUNHA KRUM

**DESEMPENHO LUMÍNICO EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR COM
ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS E BIOCLIMÁTICAS: UM
ESTUDO DE CASO.**

Porto Alegre, Setembro de 2011

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela University of Sheffield, UK
Orientador

Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira (UFSC)
Doutor pela University of Sheffield

Profa. Luciana Ines Gomes Miron (UFRGS)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Márcio Rosa D´Avila (PUCRS)
Doutor pela Universität Kassel

À minha mãe, amiga de todas as horas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenadoria de Auxílio à Pesquisa e Extensão (CAPES), pela bolsa de estudos que possibilitou a minha total dedicação aos meus estudos e a esta pesquisa.

Ao Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, representado pelo seu diretor, Prof. Luis Carlos Cavalheiro da Silva.

Ao Prof. Miguel Aloysio Sattler, primeiramente, por ter me recebido como sua aluna ouvinte e, após, como sua orientanda. Agradeço pelo suporte, confiança, compreensão e conhecimento transmitido.

À minha colega, Renata Tubelo, pela amizade e parceria ao longo desta caminhada.

À minha família, pelo carinho e suporte, em especial aos meus pais, Solano e Myrian; ao meu irmão, Fernando; e ao meu amor e parceiro de todos os momentos, Gian.

RESUMO

KRUM, C. C. **Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

Frente ao desenfreado desenvolvimento da sociedade nas suas diversas esferas, busca-se novas maneiras de habitar o planeta, de forma a preservá-lo para as futuras gerações. Uma das vertentes nas quais o homem pode intervir e, assim, ajudar a preservar os recursos naturais do planeta, diz respeito à busca por economia energética. Em edificações de uso prolongado e onde são desenvolvidas atividades visuais intensas, o uso da luz natural é de extrema valia, não apenas resultando em economia de energia elétrica, mas também contribuindo para o conforto ambiental e bem estar de seus usuários através dos benefícios proporcionados por esta luz. Portanto, o uso da luz natural sendo complementada pela luz artificial é de profunda importância para o bom desempenho lumínico da edificação. Fruto dos trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em Edificações e Comunidades Sustentáveis do NORIE/UFRGS, a edificação escolar analisada nesta pesquisa foi projetada a partir de estratégias sustentáveis e bioclimáticas. Esta pesquisa tem como **objetivo** avaliar o desempenho lumínico de uma sala de aula da edificação supracitada, para, assim, proporcionar considerações acerca das decisões projetuais tomadas. A **metodologia** utilizada para a obtenção destas informações consistiu na análise das intenções projetuais dos autores da edificação, no levantamento das características físicas e construtivas da escola e em medições lumínicas realizadas ao longo de um dia, em datas próximas aos solstícios e equinócios, no interior e no exterior da edificação. E, para verificar a eficiência de alguns elementos da edificação e propor melhorias de forma a incrementar o seu desempenho lumínico, foram realizadas simulações da sala de aula. A partir dos **resultados** gerados nesta pesquisa pretende-se não apenas fornecer informações sobre o desempenho lumínico desta edificação, como levantar questões que poderão embasar futuros projetos preocupados em fazer um melhor uso desta fonte natural, gratuita e de qualidade: a luz natural.

Palavras-chave: *economia energética; conforto ambiental; desempenho lumínico; escolas.*

ABSTRACT

KRUM, C. C. **Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

New manners on how to inhabit the planet are sought due to the increasing society development, in order to preserve it for the future generation. The seeking for low-energy consumption alternatives is one of the key issues the man can intervene in order to preserve earth's natural resources. The usage of natural light is extremely valuable in edifications where intensive visual activities are developed; not only resulting in electric energy savings but also contributing for the environmental comfort and users' well-being through the benefits provided by this light. Hence, the natural light usage complemented by the artificial light has a great importance in the edification's luminous performance. The scholar edification analyzed by this research was projected with sustainable and bioclimatic strategies, based on information developed by NORIE/UFRGS research group on Sustainable Edifications and Communities. This research's **objective** is to evaluate the luminous performance of one of the scholar edification's classroom in order to provide considerations in relation to the project's decisions. The selected **methodology** for these information gathering was based on the edification authors' project intensions, the physical and constructive school's characteristics, and the luminous measurements taken along a hole day. These measurements were taken on dates close to solstices and equinoxes, in the edification's interior and exterior. Classroom model simulations were developed in order to verify some building's elements efficiency and to propose improvements for its luminous performance. The research's **results** intends to provide relevant information about this particular edification's luminous performance; and also to rise useful knowledge for future projects regarding daylight usage, a free and natural source of energy.

Key-words: *low-energy consumption; environmental comfort; luminous performance; schools.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	21
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivos Específicos	23
1.3 LIMITAÇÕES	23
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2 SUSTENTABILIDADE, ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E O CONFORTO AMBIENTAL	26
3 CONFORTO LUMÍNICO	28
3.1 CONFORTO LUMÍNICO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES.....	28
3.2 ATIVIDADES VISUAIS EM SALAS DE AULA	29
3.3 LUZ E PERCEPÇÃO VISUAL	30
3.4 LUZ NATURAL.....	31
3.4.1 Luz direta do Sol	33
3.4.2 Luz da abóboda celeste	33
3.4.3 Luz refletida no entorno.....	34
3.4.4 Disponibilidade e Variabilidade da Iluminação Natural	34
3.4.5 Fator de luz do dia.....	35
3.4.6 Sistemas de iluminação natural	36
3.4.7 Elementos de controle e redirecionamento da luz	37
3.5 LUZ ARTIFICIAL	39
3.5.1 Iluminação Suplementar Artificial.....	40

3.6	GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS	41
3.6.1	Fluxo Energético	41
3.6.2	Fluxo Luminoso	41
3.6.3	Eficiência Luminosa.....	42
3.6.4	Intensidade Luminosa	42
3.6.5	Iluminância	43
3.6.6	Luminância.....	44
3.6.7	Contraste.....	45
3.6.8	Índice de Reprodução de Cor	46
3.6.9	Temperatura de Cor	47
3.7	PROJETO DE ILUMINAÇÃO	47
3.7.1	O projeto de iluminação em edificações escolares	48
3.8	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO LUMÍNICO.....	49
3.8.1	Avaliação de desempenho lumínico em edificações escolares.....	51
4	MÉTODO DE PESQUISA	53
4.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	53
4.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA	54
4.3	CARACTERIZAÇÃO	57
4.3.1	Caracterização do objeto de estudo	57
4.3.2	Caracterização das ferramentas de análise lumínica.....	70
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	78
5.1	A SALA DE AULA	78
5.1.1	Esquadrias	78

5.1.2	Prateleira de luz	86
5.1.3	Refletâncias das superfícies internas	87
5.1.4	Componentes do sistema de iluminação artificial	89
5.2	MEDIÇÕES <i>IN LOCO</i>	91
5.2.1	Análise dos resultados: Solstício de Verão.....	91
5.2.2	Análise dos resultados: Equinócio de Outono.....	103
5.2.3	Análise dos resultados: Solstício de Inverno.....	114
5.3	DESEMPENHO LUMÍNICO DA SALA DE AULA ANALISADA E SUA RELAÇÃO COM A INTENÇÃO DOS PROJETISTAS	125
5.3.1	Desempenho lumínico da sala de aula.....	126
5.3.2	Desempenho lumínico da sala de aula e as intenções dos projetistas	137
5.4	ELEMENTOS DETERMINANTES DO DESEMPENHO LUMÍNICO DA EDIFICAÇÃO: ANÁLISE E SUGESTÕES DE MELHORIAS	139
5.4.1	Aberturas.....	146
5.4.2	Proteções solares.....	148
5.4.3	Prateleira de luz	151
5.4.4	Cor das superfícies.....	157
5.4.5	Sistema de iluminação artificial	158
6	CONCLUSÕES	165
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	165
6.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	168
6.3	SUGESTÕES PARA MELHORIAS DA EDIFICAÇÃO	170
6.4	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	171
	REFERÊNCIAS	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro Eletromagnético. Fonte: OSRAM, 2011.	31
Figura 2: Penetração da luz natural através do uso de beiras. Fonte: ROBBINS (1986).....	38
Figura 3: Tipos de prateleira de luz. Fonte: ROBBINS (1986).....	39
Figura 4: Principais Grandezas Fotométricas. Fonte: Autora.	41
Figura 5: Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal, para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B). Fonte: OSRAM, 2011.	43
Figura 6: Valores de iluminância recomendados pela NBR 5413, para espaços escolares (ABNT, 1992, p.03).	44
Figura 7: Iluminância e Luminância. Fonte: OSRAM, 2011.	44
Figura 8: Diferentes formas de ofuscamento. Fonte: OSRAM, 2011.	46
Figura 9: Delineamento da pesquisa.....	54
Figura 10: Mapa de localização do município de Feliz. (Fonte: Adaptado de Google Maps).	58
Figura 11: Vista aérea da edificação escolar. (Fonte: Adaptado de Google Maps)	58
Figura 12: Projeto de Implantação da escola de Feliz.....	62
Figura 13: Vista panorâmica da Escola (Fonte: SILVA, 2009).....	62
Figura 14: Tratamento das paredes externas (a) e internas da edificação (b).....	64
Figura 15: Tratamento do piso externo (a) e interno da edificação (b).	64
Figura 16: Esquadrias e vidros da edificação.....	65
Figura 17: Telhado de águas desencontradas.	66
Figura 18: “Água norte” do telhado, protegendo a circulação externa (a). “Água Sul” cobrindo as salas de aula e proporcionando a ventilação cruzada por efeito chaminé e a utilização de prateleira de luz (b).	66

Figura 19: Detalhe da utilização de chapas de alumínio (offset) entre o forro e as telhas.	67
Figura 20: Localização da sala de aula analisada.	67
Figura 21: Localização da sala de aula analisada.	67
Figura 22: Fachada Sul.	68
Figura 23: Planta baixa e corte da sala de aula analisada.	68
Figura 24: Exemplo de gráficos gerados a partir do Programa SOL-AR 6.2	71
Figura 25: Interface e gráficos do programa Luz do Sol 1.1	72
Figura 26: Malha de pontos sobre as mesas dos alunos.	74
Figura 27: Pontos sobre a superfície do quadro negro.	74
Figura 28: Luxímetro Digital Portátil modelo LX13308	75
Figura 29: Esquema da incidência da luz natural, através das esquadrias da sala de aula analisada, sobre dois pontos considerados: um próximo à fachada norte e outro próximo à fachada sul.	80
Figura 30: Carta solar da sala de aula analisada, com visualização da incidência solar direta sobre a esquadria superior da fachada norte. Fonte: Analysis Sol – Ar 6.2 (http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar).	81
Figura 31: Gráficos com indicação da incidência da radiação solar direta, através da esquadria alta da fachada norte, sobre as superfícies internas da sala de aula nos equinócios de primavera e outono e nos solstício de inverno e verão, considerando a projeção do beiral. (http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html)	81
Figura 32: Carta solar da sala de aula analisada, com visualização da incidência solar direta sobre a esquadria inferior da fachada norte. Fonte: Analysis Sol – Ar 6.2 (http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar).	82
Figura 33: Gráficos com indicação da incidência da radiação solar direta, através da esquadria baixa da fachada norte, sobre as superfícies internas da sala de aula nos equinócios de primavera e outono e nos solstícios de inverno e verão,	

considerando o beiral e a barreira de vegetação externa.(http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html)	83
Figura 34: Carta solar da sala de aula analisada, com visualização da incidência solar direta sobre a esquadria da fachada sul. Fonte: Analysis Sol – Ar 6.2 (http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar)	84
Figura 35: Gráficos com indicação da incidência da radiação solar direta através da janela baixa da fachada sul, sobre as superfícies internas da sala de aula nos solstícios de inverno e verão e nos equinócios de primavera e outono, considerando o beiral e a barreira de vegetação externa (http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html)	84
Figura 36: Esquema da incidência da radiação solar direta no interior da sala de aula.....	85
Figura 37: Esquema da ventilação cruzada (a) e por “efeito chaminé” (b) no interior da sala de aula.	85
Figura 38: Sombreamento causado pela prateleira de luz.	87
Figura 39: Localização das luminárias na sala de aula, com indicação dos circuitos de acionamento.	89
Figura 40: Distribuição das iluminâncias. Fonte: Lumisoft (2011)	91
Figura 41: Condições do céu registradas no dia 22 de dezembro de 2009.	92
Figura 42: Gráfico com os valores de iluminância externa, obtidos na medição do dia 22 de dezembro de 2009.	92
Figura 43: Iluminância sobre os planos de trabalho (classes), ao longo do dia 22 de dezembro de 2009, sob influência apenas da luz natural e em conjunto desta com o sistema de iluminação artificial.	94
Figura 44: Iluminância média da sala de aula nos diferentes horários de medição e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial no dia 22 de dezembro de 2009. .	96
Figura 45: Coeficiente de Uniformidade obtido nas medições realizadas no dia 22 de dezembro de 2009, sob influência apenas da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.	97

Figura 46: Iluminância sobre a superfície do quadro branco, ao longo do dia 22 de dezembro de 2009, sob influência apenas da luz natural e, desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.	102
Figura 47: Iluminância média sobre a superfície do quadro branco nos diferentes horários de medição, do dia 22 de dezembro de 2009, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial.	103
Figura 48: Condições do céu, registradas no dia 18 de março de 2010.	104
Figura 49: Gráfico com os valores de iluminância externa, obtidos na medição do dia 18 de março de 2010.	104
Figura 50: Iluminância sobre os planos de trabalho (classes), ao longo do dia 18 de março de 2010, sob influência apenas da luz natural, e em conjunto desta com o sistema de iluminação artificial.	106
Figura 51: Iluminância média da sala de aula, nos diferentes horários de medição, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial, no dia 18 de março de 2010.	108
Figura 52: Coeficiente de Uniformidade, obtido nas medições realizadas no dia 18 de março de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.	109
Figura 53: Iluminância sobre a superfície do quadro branco, ao longo do dia 18 de março de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.	113
Figura 54: Iluminância média sobre a superfície do quadro branco nos diferentes horários de medição, do dia 18 de março de 2010, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial.	114
Figura 55: Condições do céu registradas no dia 21 de junho de 2010.	115
Figura 56: Gráfico com os valores de iluminância externa, obtidos na medição do dia 21 de junho de 2010.	115
Figura 57: Iluminância sobre os planos de trabalho (classes), ao longo do dia 21 de junho de 2010, sob influência apenas da luz natural e em conjunto desta com o sistema de iluminação artificial.	117

Figura 58: Iluminância média da sala de aula, nos diferentes horários de medição, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial, no dia 21 de junho de 2010.	119
Figura 59: Coeficiente de Uniformidade obtido nas medições realizadas no dia 21 de junho de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.	120
Figura 60: Iluminância sobre a superfície do quadro branco, ao longo do dia 21 de junho de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.	124
Figura 61: Iluminância média sobre a superfície do quadro branco, nos diferentes horários de medição, do dia 21 de junho de 2010, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial.	125
Figura 62: Vistas internas da sala de aula com janelas e portas alteradas.	147
Figura 63: Componente do céu visível, a partir do plano de trabalho e proposta de prolongamento do beiral.	149
Figura 64: Esquema da incidência solar sobre a prateleira de luz existente.	151
Figura 65: Esquema da incidência solar sobre a prateleira de luz redimensionada para 1 metro de largura.	152
Figura 66: Esquema de incidência da radiação solar sobre a superfície da prateleira de luz, em duas situações distintas: prateleira interna e externa na horizontal (a) e prateleira interna e externa, com mesma inclinação do telhado (b)	153
Figura 67: Características dos modelos das luminárias propostas para substituir as existentes (a) e para iluminar o quadro branco (b). Fonte: Catálogo Lumicenter (2009)	161
Figura 68: Proposta de distribuição das luminárias e em 5 circuitos	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela resumo de dados.....	59
Tabela 2: Vistas e imagens da sala de aula analisada.....	69
Tabela 3: Quantidade mínima de pontos a serem medidos.	73
Tabela 4: Tipologia das aberturas.....	78
Tabela 5: Relação das áreas de esquadria e de iluminação com relação à área de piso da sala de aula em análise.	86
Tabela 6: Refletância aproximada das superfícies da sala de aula analisada.....	88
Tabela 7: Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna ao longo do dia de medição, referente ao Solstício de Verão.....	99
Tabela 8: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna encontrados no Solstício de Verão para um mesmo ponto ao longo do dia de medição e sob diferentes condições de céu e iluminância externa.	100
Tabela 9: Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna ao longo do dia de medição, referente ao Equinócio de Outono.	110
Tabela 10: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna encontrados no Equinócio de Outono, para um mesmo ponto ao longo dia de medição, e sob diferentes condições de céu e iluminância externa.	111
Tabela 11: Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna ao longo do dia de medição, referente ao Solstício de Inverno.	121
Tabela 12: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna encontrados no Solstício de Inverno, para um mesmo ponto ao longo dia de medição e sob diferentes condições de céu e iluminância externa.	122
Tabela 13: Resultados das medições lumínicas sobre o plano de trabalho localizado sobre as classes dos alunos, sob influência da luz natural.....	128

Tabela 14: Comparação dos resultados das medições lumínicas sobre o plano de trabalho localizado sobre as classes dos alunos, sob influência da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.....	131
Tabela 15: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna obtidos para um mesmo ponto ao longo dos dias de medição, sob diferentes condições de céu e iluminância externa.	134
Tabela 16: Comparação dos resultados das medições lumínicas sobre o plano de trabalho localizado sobre as classes dos alunos, sob influência da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.	136
Tabela 17: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições <i>in loco</i> e as simulações sob condição de céu claro padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 22 de dezembro de 2009.....	140
Tabela 18: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições <i>in loco</i> e as simulações sob condição de céu encoberto padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 22 de dezembro de 2009.....	141
Tabela 19: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições <i>in loco</i> e as simulações sob condição de céu claro padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 18 de março de 2010.	142
Tabela 20: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições <i>in loco</i> e as simulações sob condição de céu encoberto padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 18 de março de 2010.....	143
Tabela 21: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições <i>in loco</i> e as simulações sob condição de céu claro padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 21 de junho de 2010.....	144
Tabela 22: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições <i>in loco</i> e as simulações sob condição de céu encoberto padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 21 de junho de 2010.....	145
Tabela 23: Comparação entre valores de iluminância e coeficiente de uniformidade obtidos na simulação da situação atual da sala de aula e para esta, provida de uma maior superfície envidraçada.	147

Tabela 24: Comparação entre as simulações da situação atual da sala de aula e desta com prolongamento do beiral da fachada Sul.....	150
Tabela 25: Resultados das simulações verificando a influência da prateleira de luz nos níveis de iluminância obtidos sobre as classes dos alunos. Resultados obtidos para as 16:00 horas do dia 22 de dezembro, sob condição de céu encoberto padrão CIE	154
Tabela 26: Resultados das simulações verificando a influência da prateleira de luz nos níveis de iluminância obtidos sobre as classes dos alunos. Resultados obtidos para as 16:00 horas do dia 22 de dezembro, sob condição de céu claro padrão CIE	155
Tabela 27: Resultados das simulações verificando a influência da prateleira de luz nos níveis de iluminância obtidos sobre as classes dos alunos. Para esta simulação, tanto a prateleira de luz, como o teto, foram consideradas superfícies com características de reflexão especular. Resultados obtidos para às 16 horas do dia 22 de dezembro, sob condição de céu claro padrão CIE	156
Tabela 28: Análise da influência da cor das superfícies do piso e das paredes nos níveis de iluminância registrados sobre as classes dos alunos. Simulação realizada sob condição de céu encoberto padrão CIE	157
Tabela 29: Resultados da simulação do sistema de iluminação artificial atual da sala de aula analisada.	159
Tabela 30: Tabela comparativa entre os resultados da simulação da situação atual da sala de aula, com o uso de uma luminária com características anti-ofuscantes.	160
Tabela 31: Simulação das recomendações realizadas.	162

1 INTRODUÇÃO

Atualmente muito se têm discutido sobre os caminhos pelos quais a sociedade vem se desenvolvendo e o seu respectivo impacto nos problemas ambientais. É neste contexto que se insere o chamado *Desenvolvimento Sustentável*, vindo ao encontro do futuro das próximas gerações, ou seja, buscando novas formas de desenvolvimento social, econômico e ambiental, que preservem o futuro da humanidade.

Em poucas palavras, Gibberd (2003) apud Sattler (2007) define que “*Sustentabilidade* é viver dentro da capacidade de suporte do planeta e *Desenvolvimento Sustentável* é aquele desenvolvimento que conduz à sustentabilidade. Para isto, na busca pela sustentabilidade “[...] é necessário inovação, e esta precisa de um contexto para sua implantação. Além disso, é preciso ter conhecimento técnico, bom senso, além de coerência e responsabilidade pelas decisões tomadas durante este processo” (PEREIRA E MUELLER, 2007, p.28).

No contexto ambiental, a sustentabilidade, busca preservar os recursos naturais; a saúde e conforto dos indivíduos; diminuir a produção de resíduos e a emissão de poluentes; e, ainda, melhorar o desempenho energético das edificações (PEREIRA E MUELLER, 2007).

Assim, aos profissionais que trabalham com construção civil, cabe a tomada de iniciativas que minimizem o impacto ambiental, como: a redução na produção e emissão de resíduos, o aumento no reuso de materiais, o incentivo à reciclagem, o comprometimento com o uso racional dos recursos naturais, o incremento à utilização de fontes de energias renováveis e a busca incessante por economia de energia elétrica. Todas estas ações devem, permanentemente, privilegiar a qualidade de vida dos usuários através do conforto ambiental. Sattler (2007) ratifica que as edificações devem suprir às necessidades básicas dos usuários no âmbito do conforto térmico, lumínico e acústico, que, em conjunto, correspondem ao chamado Conforto Ambiental.

Observa-se que, na indústria da construção civil, consome-se cerca de 40% dos recursos naturais e as edificações, são responsáveis por grande parcela do consumo de energia elétrica, onde a iluminação artificial é responsável por 3,3% de toda a eletricidade consumida no Brasil (HADDAD E YAMACHITA, 2005).

Porém, cabe destacar que, o bom aproveitamento da luz natural no interior das edificações, complementado pela luz artificial, tem o intuito de potencializar a eficiência energética dos edifícios e, por conseqüência, minimizar o impacto das edificações ao meio ambiente, sem isentar seus usuários de conforto lumínico. O conforto lumínico, também chamado de conforto visual, está diretamente relacionado com a capacidade do ser humano desenvolver suas atividades visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com menor risco de prejuízo à visão e com o menor esforço e risco de acidentes (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

A economia de energia, resultante do bom aproveitamento da luz natural, está diretamente relacionada com a quantidade desta luz disponível; com as características da edificação, de suas esquadrias e do seu entorno imediato; e, ainda, da eficiência do sistema de iluminação artificial projetado. Segundo Pereira e Mueller (2007, p.29), “um sistema de iluminação artificial deve ser projetado a fim de complementar a luz natural, por meio de circuitos independentes ou lâmpadas dimerizáveis a resposta aos níveis variáveis de iluminação natural do ambiente”, levando-se, ainda, em consideração “o balanço da carga térmica nos espaços, com o controle do ofuscamento e com a adequação às variações da disponibilidade de luz natural nos diversos horários do dia e épocas do ano.”

Assim, toda a economia de energia resultante do número de horas em que o sistema de iluminação artificial não estiver acionado, não poderá isentar seus usuários de conforto lumínico, e, ainda, de conforto térmico. Lembrando que, as esquadrias não apenas permitem a passagem da luz natural como facilitam ganhos e perdas de carga térmica.

Bogo e Pereira (1998, p.01), consideram que a utilização da “(...) luz natural proporciona uma luz de melhor qualidade (melhor reprodução de cores, melhor definição de objetos), a custo nulo, com melhoria do ambiente visual e benefícios psicológicos e fisiológicos aos usuários (...)”. Em conjunto, todos estes fatores podem contribuir para um aumento da produtividade nos ambientes de trabalho, como escritórios, indústrias, hospitais, escolas, dentre outros.

Coelho (2000) enfatiza a importância da iluminação em relação ao desempenho mental dos alunos nas salas de aula, ressaltando que a realização de tarefas com exigência de maior grau de acuidade visual, como em leituras e desenhos, tem o seu desempenho melhorado significativamente em função do nível de iluminação.

Portanto, ao projetar novas edificações, em especial àquelas nas quais são desenvolvidas atividades visuais intensas e/ou por longos períodos, o cuidado com a iluminação deve estar presente desde as primeiras etapas de projeto até o momento em que o edifício estiver devidamente habitado por seus usuários.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

A existência de edificações construídas com base nos princípios da sustentabilidade e da arquitetura bioclimática ainda é pequena no Brasil.

Pesquisas no campo da arquitetura bioclimática, que visam à melhoria nas condições de vida humana, através do conforto e economia energética, considerando o clima e as características locais, mostram-se cada vez mais necessárias para embasar e nortear as decisões projetuais de edificações sustentáveis.

Dentre os requisitos para uma edificação se intitular como tal, o conforto ambiental se destaca trazendo a figura do ser humano para o interior do ambiente construído, buscando satisfazer suas necessidades físicas e psicológicas. O bom desempenho lumínico, térmico e acústico de uma edificação não apenas proporciona condições físicas ideais para seus usuários, como intensifica a produtividade dos mesmos dentro do ambiente construído; neste estudo, os estudantes, no interior das salas de aula.

Desta forma, torna-se evidente a importância de sabermos avaliar o desempenho de uma edificação, quanto ao conforto proporcionado aos seus usuários; neste caso, o conforto lumínico.

Amorim (2007) indica a dificuldade projetual dos arquitetos e engenheiros em atender, conscientemente, aos requisitos de uma “boa iluminação natural”, através da existência de um equilíbrio entre a entrada de luz e calor, junto aos demais requisitos funcionais, estéticos, construtivos e econômicos.

Aliado a isto, a obtenção de uma correta avaliação da distribuição da luz natural, ao longo do ano, tem se apresentado como um desafio no ato de projetar, devido à ampla gama de informações necessárias referentes às características dinâmicas, próprias da natureza da luz. Estas são caracterizadas pela variabilidade existente em função da latitude, ciclos diários e sazonais, dados climáticos e influências do local (PEREIRA e MUELLER, 2006).

A desconsideração da distribuição da luz natural, em etapa de projeto, tem resultado em edificações ineficientes, quanto ao aproveitamento desta fonte natural, adequada e gratuita de luminosidade. Quando há maior atenção ao uso da luz natural e aos aspectos ambientais a ela relacionados, o tempo dispensado para isto é relativamente curto e as decisões são baseadas em critérios intuitivos, visuais e estéticos (AMORIM, 2007).

A utilização adequada da incidência de luz natural no interior das edificações requer alguns métodos de predição e de verificação dos níveis da iluminação natural.

Portanto, na etapa de projeto, os procedimentos de cálculo, o uso de modelos físicos reduzidos e os softwares podem auxiliar na concepção de espaços, com um melhor aproveitamento da luz, possibilitando ao profissional comparar diferentes propostas para uma mesma edificação.

Ao avaliar edificações existentes, os métodos de medições *in loco* contribuem para indicar o desempenho lumínico destes espaços, sob diversas condições de uso, indicando as potencialidades e as deficiências da edificação. Ao fazer uso destes métodos, como o elucidado na norma NBR 15215-4 (ABNT, 2004), têm-se a presença das variáveis que, em conjunto, fornecem respostas aos níveis de iluminação obtidos no local. Estas variáveis, vão, desde a disponibilidade de luz natural e a existência de obstruções externas, às características próprias da edificação, como sua forma, tamanho, aberturas, superfícies translúcidas e a refletividade das superfícies internas.

A compreensão destas variáveis, por parte dos projetistas, indica que, diferentes condutas ao longo do ato de projetar, podem resultar em edificações com maior desempenho lumínico, eficiência energética e de acordo com as premissas do desenvolvimento sustentável.

Para projetos de edificações que requerem maior cuidado quanto aos níveis de luminosidade, exigidos no interior da edificação, a exemplo das salas de aula, onde se desenvolvem atividades visuais intensas, o conhecimento sobre ‘como’ utilizar estas variáveis a favor do desempenho lumínico é de extrema valia. Estas escolhas devem, preferencialmente, ser feitas na etapa de projeto, de teste de diferentes propostas ou, então, na solução de problemas existentes e na proposição de melhorias para prédios já edificados.

Segundo Laudares e Mueller (2007), o sucesso na tomada destas decisões depende de “novos hábitos projetuais”. Estes hábitos não apenas envolvem a conscientização, por parte dos projetistas, mas sim de um tempo adicional, durante o processo de criação, para a análise e desenvolvimento de soluções que visem um maior desempenho lumínico das edificações.

De maneira a disseminar o conhecimento a respeito do uso eficiente da luz natural no espaço construído, Amorim (2007) recomenda a demonstração de estudos de caso, a partir da análise e descrição de seus aspectos mais relevantes.

“(…) Neste sentido, alguns autores têm realizado trabalhos buscando reunir repertório de arquitetura exemplar no uso da iluminação natural e da adequação ao contexto climático (LAM, 1986; BAKER, 1993; TORRICELLI *et al*, 1996; FONTONoyONT, 1999; AMORIM, 2001), ou sistematizando o processo de organização deste repertório projetual (BAKER, 1993; ROGORA, 1998; OLIVEIRA, 1998).” (AMORIM, (2007), p. 58).

Feita as devidas adaptações das soluções propostas ao contexto climático local, a disponibilidade de resultados sobre o desempenho lumínico de edificações existentes e as recomendações realizadas acerca destes exemplos, têm, muitas vezes, embasado a tomada de decisões de projetistas em seus trabalhos.

Portanto, esta investigação se identifica através de estudos realizados junto ao grupo de pesquisa em Edificações e Comunidades Sustentáveis do NORIE/UFRGS, relacionados a uma edificação escolar no município de Feliz, quando buscou avaliar o Desempenho lumínico de uma sala de aula. Para tanto, destaca-se a importância das decisões projetuais baseadas em princípios de sustentabilidade, numa edificação escolar, onde uma iluminação eficiente acarretará na aprendizagem de seus alunos (BERTOLOTTI, 2007).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar o desempenho lumínico de uma edificação escolar construída a partir de estratégias sustentáveis e bioclimáticas, considerando as decisões projetuais dos autores da edificação e as necessidades visuais dos seus principais usuários.

1.2.1 Objetivos Específicos

A partir do objetivo principal, alguns objetivos específicos foram propostos:

- Descrever as decisões projetuais tomadas pelos autores da edificação escolar, dando ênfase às relacionadas à iluminação natural e artificial.
- Realizar medições lumínicas *in loco*, Comparar os resultados obtidos e analisar o comportamento lumínico da edificação, ao longo das três medições realizadas.
- Comparar os resultados das medições lumínicas com as intenções projetuais dos autores da edificação.
- Simular a sala de aula e seus principais elementos.
- Elencar possíveis alterações na edificação.

1.3 LIMITAÇÕES

As conclusões obtidas a partir deste estudo estão limitadas àquelas observadas na avaliação do desempenho lumínico de um espaço escolar específico e poderão, ou não, ser

aplicadas em outros cenários. Portanto, deve-se atentar à adequação destas considerações às peculiaridades de cada caso a ser estudado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. No primeiro capítulo busca-se introduzir o tema abordado no atual contexto de desenvolvimento social, econômico e ambiental. Apresenta-se, portanto, as edificações dentro de um cenário de busca por um desenvolvimento mais sustentável, ressaltando a importância das edificações bioclimáticas que buscam proporcionar aos seus usuários maior conforto ambiental, através de estratégias de baixo impacto ambiental e energético. Neste momento é ressaltado o papel do desempenho lumínico na edificação, não apenas contribuindo para uma maior eficiência energética do conjunto, como sendo determinante do desempenho de seus usuários no cumprimento de suas tarefas. Neste capítulo justifica-se a importância de desenvolver estudos na área do conforto lumínico, de forma a embasar o processo projetual e a análise de desempenho de edificações preocupadas em fazer um bom uso da luz natural, em conjunto com a artificial. Por fim são apresentados os objetivos, delimitações e estrutura do trabalho.

No segundo e terceiro capítulos é apresentada a revisão bibliográfica sobre o tema abordado e que embasa todo o desenvolvimento desta pesquisa. Primeiramente, abordam-se temas como sustentabilidade, arquitetura bioclimática e conforto ambiental. Enfatiza-se o conforto lumínico, destacando seu papel em ambientes escolares e seu impacto tanto no desempenho energético da edificação, como no desempenho físico e mental de seus usuários. Após, são levantadas questões relativas à luz e à forma como esta é percebida, projetada e avaliada. São abordadas as principais fontes de luz, suas características e principais grandezas. Por fim trata-se do projeto de iluminação e do desempenho lumínico das edificações, destacando sua importância nos ambientes escolares.

No quarto capítulo, descreve-se a metodologia utilizada no desenvolvimento desta pesquisa e caracteriza o objeto de estudo, a sala de aula, e as ferramentas de análise lumínica utilizadas. O quinto capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos a partir do uso destas ferramentas, compara-os entre si e relaciona com a intenção inicial dos projetistas da edificação. Finaliza-se o quinto capítulo através dos resultados das simulações do objeto de estudo, destacando alguns de seus elementos, que foram determinantes no desempenho lumínico da sala de aula.

No sexto capítulo, são feitas conclusões a respeito do trabalho desenvolvido. Primeiramente são apresentadas as considerações gerais, onde se buscou resgatar os objetivos deste trabalho. Após, as considerações finais destacam questões relevantes do desempenho lumínico e o seu impacto nas edificações construídas, a partir de estratégias sustentáveis e bioclimáticas. Para finalizar, são feitas sugestões de melhorias para a edificação e para futuros trabalhos.

2 SUSTENTABILIDADE, ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E O CONFORTO AMBIENTAL

Sustentabilidade é um termo utilizado em diversas esferas do desenvolvimento, seja ele social, econômico, ecológico, espacial ou cultural. Esta divisão proposta por SACHS (1993) demonstra que, a busca por um modo de habitar o planeta de forma menos impactante possível vem englobando e preocupando a sociedade como um todo.

No âmbito espacial, a arquitetura busca edificações mais eficientes energeticamente e de menor impacto ambiental, ao mesmo tempo em que, no âmbito social, trás a figura do homem para o interior das edificações e busca atender tanto às suas necessidades físicas, como psicológicas. A chamada Arquitetura Bioclimática agrega estes quesitos ao refletir no projeto de uma edificação a relação entre “(...) os seres humanos (animais homeotérmicos) e as características climáticas do local (...) com o objetivo de minimizar a quantidade de energia operante consumida no edifício.” (ADAM, 2001, p.57).

Assim, ao usufruir de uma edificação adequada ao clima em que se insere, através do uso da radiação solar, ventilação, iluminação natural, sombreamento e demais recursos locais existentes, o homem será capaz de desenvolver suas atividades de forma adequada e saudável.

Portanto, o Conforto Ambiental está diretamente relacionado à arquitetura, no momento em que esta cria espaços e proporciona satisfação aos seus usuários. Assim, quanto menor o esforço físico demandado ao ser humano, para desenvolver uma atividade no interior de uma edificação, melhor será a condição deste espaço, ou seja, o conforto proporcionado aos seus usuários (MASCARELLO, 2005).

Para Mascaró ([19--] apud ADAM, 2001, p.40), “conforto ambiental é a soma das condições físicas que propiciam ao organismo um melhor desempenho com menor gasto de energia e conseqüente sensação psicofísica de bem-estar”.

Um ambiente se torna adequado ao seu usuário no momento em que, contempla de forma satisfatória questões relacionadas à habitabilidade, como: condições de conforto lumínico ou visual, higro-térmico, acústico e de ventilação natural, Louis Kahn ratifica ao dizer “a qualidade do espaço é medida pela sua temperatura, sua iluminação, seu ambiente, e o

modo pelo qual o espaço é servido de luz, ar e som, deve ser incorporado ao conceito de espaço em si.” (KAHN, [19--] apud VIANNA e GOLÇALVES, 2007, p.03).

Conforto Ambiental não deve se restringir somente a estes quesitos mensuráveis, também, relaciona-se às sensações e às impressões particulares de seus usuários e que podem estar atreladas a outros sentidos do homem, como o paladar e o olfato, além do tato, visão e audição (SCHMID, 2005).

3 CONFORTO LUMÍNICO

Dentro do conforto ambiental, o conforto lumínico vem como resposta às necessidades visuais do indivíduo dentro do ambiente construído. Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997, p. 44), “o conforto visual é o principal determinante da necessidade de iluminação em um edifício”. Ao usufruir de um ambiente dotado de um nível de iluminação adequado, seja ele obtido através do uso da luz natural, da artificial ou das duas fontes simultaneamente, os usuários poderão desenvolver suas atividades visuais com acuidade e precisão, sem a necessidade de fazer grandes esforços e sem prejudicar sua visão.

O nível de iluminação adequado varia conforme a atividade desenvolvida no interior da edificação e está exposto em normas, como a NBR 5413 (ABNT, 1992). Cabe ressaltar que, quanto mais complexa a atividade a ser desempenhada e quanto mais idade tiver a pessoa, maior deverá ser o nível de iluminação do local.

Um ambiente com altos níveis de luminosidade não necessariamente será um espaço iluminado adequadamente. Baker e Steemers (2000) ratificam que, é comum relacionar desempenho visual ao nível de iluminação no ambiente; porém, luz em demasia pode causar cansaço visual e ofuscamento, enquanto que a insuficiência de iluminação pode causar fadiga, dor de cabeça, irritabilidade, além de provocar erros e acidentes (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

3.1 CONFORTO LUMÍNICO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES

Para atividades intensas, como aquelas observadas no interior das salas de aula, o conforto lumínico é uma questão fundamental. A luz constitui instrumento imprescindível para o pleno desempenho visual em ambientes escolares, principalmente nas salas de aula, onde os alunos passam a maior parte do tempo desenvolvendo atividades (RAMOS E PORTO, 2006).

Uma iluminação inadequada poderá acarretar numa menor aprendizagem por parte dos alunos. Boas condições de iluminação favorecem o processo de aprendizado (BERTOLOTTI, 2007).

Segundo Correa (1995, apud LOPES, 2006) as boas condições de iluminação no interior das edificações escolares vão além dos mínimos de iluminância exigidos por norma, quando destaca requisitos para a obtenção de um ambiente lumínico adequado: conforto visual, para tornar o interior um lugar agradável; dinamismo, para estimular os sentidos dos usuários; adequação às necessidades dos usuários e atividades; flexibilidade, em função da adaptação e da multiplicidade de atividades ou mudanças de funções; minimização do consumo de energia elétrica.

Para atender aos requisitos expostos acima, a iluminação de um ambiente escolar pode fazer uso tanto da luz natural, como da artificial. O uso da luz natural no interior das salas de aula, além de proporcionar benefícios físicos e psicológicos aos usuários, pode acarretar em uma considerável economia nos gastos com energia. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação - ABILUX (1995), a iluminação artificial pode ser responsável por até 90% do consumo de eletricidade de um ambiente escolar.

Para Frandoloso (2001), a iluminação, no interior das salas de aula, deve considerar os níveis de iluminância natural e artificial sobre os principais planos de leitura: mesa dos alunos e quadro.

Porém, deve-se ressaltar que a iluminação geral da sala de aula deve ter um nível de uniformidade, que evite contrastes excessivos e reflexos indesejáveis. Segundo Freire (1996, apud GEMELLI, 2009), o desconforto visual está diretamente relacionado à necessidade de adaptação do olho a diferentes luminâncias, assim em uma sala de aula onde são desenvolvidas atividades visuais em diferentes campos visuais, os níveis de iluminação sobre os diferentes planos devem permanecer com certa uniformidade.

3.2 ATIVIDADES VISUAIS EM SALAS DE AULA

As atividades visuais no interior de uma sala de aula de uma edificação escolar são muitas, dentre estas é interessante ressaltar as mais freqüentes, pois cada uma envolve planos de trabalho distintos, tipos e níveis de iluminação (LOPES, 2006).

- Leitura e escrita: Estas atividades, geralmente, são desenvolvidas sobre o plano horizontal (carteira escolar) ou vertical (quadro negro/painéis). As superfícies destes planos possuem diferentes índices de refletância, conforme seu material, cor e textura (ex: tipo de papel utilizado e cor da caneta). Um fator importante para a leitura é a distância e posicionamento entre o leitor e o objeto a ser lido.

- Atividades no quadro: A leitura/observação do quadro é uma atividade de extrema importância dentro de uma sala de aula. É através da utilização do quadro que a maior parte

dos professores e palestrantes transmitem seus conhecimentos aos alunos. Porém, é nesta superfície que se observam os maiores níveis de ofuscamento, causado por reflexões na sua superfície e contraste com as superfícies adjacentes. Segundo Correa (1995, apud LOPES, 2006) existe dois tipos de quadro que devem ter suas características de visibilidade observadas: o quadro negro e o quadro claro.

O quadro negro possui superfície escura e lisa. Geralmente está posicionado em paredes claras, o que pode causar cansaço visual devido ao contraste. A sua superfície é lisa e pode apresentar reflexões indesejadas, na forma de manchas claras no fundo escuro.

O quadro claro, geralmente na cor branca, possui menor contraste com as superfícies adjacentes, porém sua superfície é especular e possui elevado índice de refletância. As reflexões na sua superfície geralmente se apresentam como manchas brilhantes no fundo branco.

Conforme a posição do usuário em relação ao quadro, as reflexões geradas, tanto pelas aberturas, como pelas luminárias, podem atrapalhar e até inibir a visibilidade desta superfície, ocasionando grande desconforto aos usuários. Uma das formas de minimizar esta situação é o emprego de proteções nas janelas e luminárias com refletores.

- Desenho: Mais que a escrita, o desenho precisa de um maior controle de luminosidade, seja através da sua intensidade, índice de reprodução de cor e direcionalidade do fluxo luminoso. Ao desenhar, o usuário necessita de uma boa acuidade visual para a precisão dos detalhes e rendimento de cor. Quando o desenho envolve a observação de objetos tridimensionais, a direcionalidade da luz é de extrema importância favorecendo as formas dos objetos,

- Materiais áudios-visuais: Utilizam equipamentos para projeção de transparências, slides e vídeos. As imagens apresentadas geralmente possuem uma diversidade de cores, brilho e até movimento. Paralelamente a isto, outras atividades, como a escrita, podem ocorrer, o que gera a necessidade de diferentes níveis de luminosidade dentro de um mesmo ambiente.

3.3 LUZ E PERCEPÇÃO VISUAL

Luz, seja ela de origem natural ou artificial, é o termo utilizado para denominar a radiação eletromagnética capaz de sensibilizar a visão humana. O comprimento de onda desta radiação está compreendido entre 380 e 770 nanômetros (IESNA, 2000),

O espectro eletromagnético visível está compreendido entre as radiações ultravioletas, de menor comprimento de onda, e as radiações infravermelhas, de maior comprimento de onda (Figura 1).

A radiação visível, além de determinar um estímulo visual, resulta em uma sensação de cor. Cada comprimento de onda está relacionado a uma cor e a uma sensação luminosa, sendo o olho capaz de responder diferentemente a cada uma delas (MOREIRA, 1999).

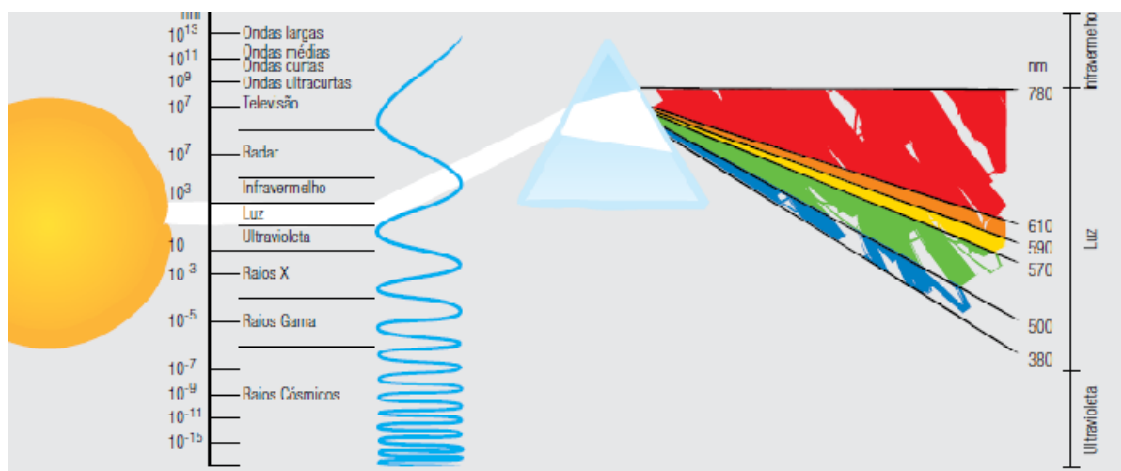


Figura 1: Espectro Eletromagnético. Fonte: OSRAM, 2011.

É através da visão que a maior parte das pessoas tem contato com o mundo exterior. É este sistema que, através dos olhos, envia estímulos ao cérebro, e faz o homem perceber as luzes, cores e formas (ROBBINS, 1986).

Segundo Schmid (2005), a visão é o mais elaborado dos sentidos e é o canal por onde passa a maior quantidade de estímulos e informações que o homem recebe. O autor afirma que a visão, mais que os outros sentidos, está associada ao raciocínio analítico.

3.4 LUZ NATURAL

A luz natural, além de ser proveniente de uma fonte inesgotável de energia, proporciona uma luz de maior qualidade aos ambientes internos e aos seus usuários.

Para Robbins (1986), a luz natural tem muita influência na qualidade dos ambientes internos. As aberturas de uma edificação; além de dar a impressão de amplitude aos espaços e de conexão com o mundo exterior, proporciona, através da entrada da luz natural e da incidência dos raios solares, uma maior dinamicidade aos espaços que terão suas cores, contrastes e luminosidade alterados, conforme a variação desta luz.

O mesmo autor considera que a característica dinâmica da luz natural faz dela uma ferramenta única de projeto. Sua propriedade de variar de intensidade, cor e posição, ao longo de um dia e na troca das diversas estações do ano, faz com que as edificações também adquiram um caráter mutável, proporcionando ambientes adequados ao clima e às necessidades de seus usuários.

Junto ao seres humanos, a luz natural é a que melhor responde às suas necessidades visuais. Este fato pode ser explicado através de algumas características desta fonte, como possuir uma luz de espectro completo e uma ótima reprodução de cores.

Outro importante aspecto da luz natural é a sua influência sobre a saúde e o desempenho do homem. Como exemplo pode-se citar a influência da luz natural no ciclo circadiano do homem e na origem de doenças como a SAD (seasonal affective disorder).

Alguns estudos demonstram que os seres humanos, assim como os demais organismos vivos, obedecem ao ciclo circadiano, ou seja, obedecem a um ciclo de vinte e quatro horas, aumentando as funções vitais durante o dia e diminuindo-as durante a noite (BERTOLOTTI, 2007).

Para regular este ciclo, a exposição à luz é o estímulo mais importante. É através da retina do olho que o estímulo luminoso é transformado em estímulo nervoso que, por sua vez, induz à produção do hormônio melatonina, responsável por induzir ao sono, alterar o humor, influenciar na agilidade mental e interferir no sistema reprodutivo.

A influência da luz no estado de ânimo das pessoas também tem sido estudada. A SAD é um tipo de depressão sazonal que afeta, principalmente, os países do hemisfério norte, durante o inverno. A pouca disponibilidade de luz natural faz com que os indivíduos apresentem sintomas de depressão, sono, aumento da irritabilidade e apetite, entre outros (BERTOLOTTI, 2007).

Porém, a decisão de fazer uso da luz natural requer um conhecimento, não apenas das suas características, mas também das implicações que seu uso acarretará sobre os demais aspectos do projeto, da edificação e da sua ocupação. Conforme ressalta Robbins (1986, p.03), “A luz natural pode afetar na funcionalidade da distribuição dos ambientes, no conforto dos usuários (lumínico e térmico) e no consumo de energia da edificação (...)”.

A luz natural que chega ao interior das edificações consiste em luz proveniente diretamente do sol, luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida no entorno (NBR 15215-3, 2004).

3.4.1 Luz direta do Sol

Os valores de iluminação observados nos espaços abertos ultrapassam quase todos os valores requeridos para o desenvolvimento de atividades no interior das edificações.

Para o Brasil, que está compreendido entre as latitudes de 0° e 32° Sul, a luz do Sol fornece elevados índices de iluminação, chegando a ultrapassar 70.000 lux, ao meio dia no inverno, e 100.000 lux, neste mesmo horário, no verão (VIANNA E GONÇALVES, 2007).

Decorrentes destes altos índices de iluminação, a incidência direta da luz do sol sobre a superfície de trabalho, em um ambiente interno, é desfavorável, “podendo causar ofuscamento, ganho de calor e alterando a integridade física de materiais (desbotamento de carpetes, roupas, objetos, e outros)” (LOPES, 2006, p. 15).

3.4.2 Luz da abóboda celeste

A luz difundida na atmosfera, chamada de luz da abóboda celeste, tem sua intensidade resultante dos fenômenos de refração e reflexão. Ao contrário da luz solar direta, a luz solar da abóboda celeste é difusa e oscila em uma faixa menor, de cerca de 5.000 à 20.000 lux (MOORE, 1993), proporcionando uma iluminação mais suave, sem características acentuadas de direcionalidade e sombreamento (PEREIRA, 1995).

Conseqüentemente, esta luz é bastante apropriada para a iluminação de interiores, principalmente para locais onde são desenvolvidas atividades laborativas e produtivas (VIANNA E GONÇALVES, 2007).

Para fins de projeto de iluminação, a abóboda celeste é considerada como uma fonte de iluminação principal, pois, diferente do sol, que é uma fonte pontual de luz, nos fornece uma área amplamente superior, porém de iluminância inferior e variável conforme as condições do céu. Assim, deve-se conhecer e saber classificar os tipos de céus.

3.4.2.1 Tipos de céus

Conforme Vianna e Gonçalves (2007, p.22), “o céu (...) apresenta variações de luminância na sua extensão. Estas variações dependem do tempo, das condições climáticas e da localização geográfica.”

A NBR 15215-2 (ABNT, 2005), considera a existência de três tipos de céu, são eles:

a) Céu claro – Possui baixa nebulosidade e inexistência de nuvens. Devido a esta situação, as dimensões das partículas de água são reduzidas, fazendo com que a porção azul do espectro consiga emergir em direção à superfície da Terra, justificando a cor azulada do céu. Na condição de céu claro, este apresenta sua porção mais escura a 90° do sol e, ao

redor deste, é mais brilhante. A luminância do ponto depende da altura solar. É caracterizado por não ter mais de 35% de nuvens cobrindo a abóboda celeste.

b) Céu encoberto— Possui, pelo menos, 75% da superfície da abóboda celeste coberta por nuvens. É resultado da reflexão/refração da luz direta do sol em grandes partículas de água em suspensão na atmosfera, para todos os comprimentos de onda. Este fato caracteriza a cor cinza-claro da abóboda, sendo que a porção zenital apresenta uma luminância três vezes maior que a porção próxima à linha do horizonte.

c) Céu parcialmente encoberto ou intermediário - Tem entre 35% e 75% da abóboda celeste coberta por nuvens. A luminância de um dado elemento será definida para uma dada posição do sol, sob uma condição climática intermediária que ocorre entre os céus padronizados como claro ou encoberto. A luminância do ponto depende da altura solar.

A condição de céu na, maioria dos dias típicos das capitais brasileiras, inclusive em Porto Alegre, é o parcialmente encoberto conforme nos indica Scarazzato (1995) apud Vianna e Gonçalves (2007).

Devido à distribuição da luminosidade do céu depender tanto do tempo, como do clima, e mudar conforme a posição do sol ao longo de um dia, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE), através da Norma CIE S 011/E: 2003 – ISO 15469:2003, considera a existência de 15 tipos diferentes de céu, que variam de muito claro a muito nublado. Esta norma pretende ser a base universal a ser utilizada na classificação das distribuições de luminância dos céus (CIE, 2011).

Neste estudo, a classificação do céu se baseará na Norma Brasileira NBR 15215-1 (ABNT, 2005).

3.4.3 Luz refletida no entorno

A luz refletida no entorno é composta, tanto pela luz refletida nas obstruções externas, como pela luz refletida pelo solo. As obstruções externas podem ser de origem natural, como os maciços de vegetação, ou artificial, como os elementos construídos.

Assim, ao projetar o sistema de iluminação natural de uma edificação, deve-se fazer uma análise completa dos arredores da sua implantação, de maneira a fazer o melhor uso da luz refletida no entorno.

3.4.4 Disponibilidade e Variabilidade da Iluminação Natural

A NBR 15215-3 (ABNT, 2004), preconiza que a intensidade e a distribuição da luz natural, no interior das edificações, dependem de um conjunto de variáveis, como: disponibilidade da luz natural (que está relacionada às condições atmosféricas locais); existência e

características das obstruções externas; tamanho, orientação, posição e detalhes de projeto das aberturas (janelas); características óticas dos envidraçados; tamanho e geometria do ambiente; refletividade das superfícies internas.

Vianna e Gonçalves (2007, p.14) ressaltam que a disponibilidade da luz natural é resultado de uma série de fatores, tais como:

“(...) a sazonalidade, que de acordo com o movimento do sol, estabelece variações de luminosidade natural, variando com a época do ano e a hora do dia, o clima, como principal agente definidor dos tipos de céu, a qualidade do ar, características físicas e geográficas, que lidam com dados de latitude, continentalidade e altitude, entre outros e a orientação e configuração morfológica do entorno construído, caso existente.”

A variação na intensidade da luz natural, dentro de um ambiente, não é homogênea em todos os seus pontos considerados. Para Baker e Steemers (2000), a intensidade e a distribuição da luz natural no interior de uma edificação são consequência de fatores como a refletância do piso e das superfícies do ambiente, da sua forma e do tamanho das aberturas. Este último fator é determinante para indicar a intensidade da luminosidade em um ponto específico do espaço considerado.

3.4.5 Fator de luz do dia

Frente à variabilidade da luminosidade do céu, não é comum utilizar níveis de iluminância para descrever a luz natural no interior das edificações (BAKER E STEEMERS, 2000). Estes mesmos autores recomendam utilizar o Fator de Luz Diurna (FLD), também chamado de Daylight Factor (DF), que atende razoavelmente a variação temporal, mas não considera a variação espacial. Robbins (1986) justifica esta preferência devido à característica de adaptação do olho humano ser mais sensível a diferenças relativas do que a valores absolutos.

Szokolay (1980) e Robbins (1986) afirmam que o DF é a relação entre a iluminância devida à luz natural, em um ponto interno, com a simultânea iluminância obtida externamente, sobre um plano horizontal, a partir de um céu desobstruído e encoberto. Este fator é usualmente expresso como uma porcentagem.

Segundo Moore (1991) apud Oliveira (2006), quando o Fator de luz Diurna for obtido sob a condição um céu encoberto (padrão CIE), seu valor será considerado constante, independente da iluminância absoluta externa. Porém, se for obtido sob outras condições, o tipo de céu deverá ser especificado e a incidência da radiação direta desconsiderada tanto nos valores obtidos internamente, como externamente.

3.4.6 Sistemas de iluminação natural

A integração criteriosa do sistema de iluminação natural com os demais sistemas do projeto da edificação contribui de forma efetiva na obtenção de um ambiente construído mais eficiente e de maior qualidade visual para seus usuários (ROBBINS, 1986).

Assim, o mesmo autor indica que existem sete categorias de sistemas de iluminação: Iluminação lateral, iluminação zenital, iluminação angular, iluminação pontual, iluminação indireta, iluminação através de pátios, átrios, reentrâncias e a combinações entre estas diversas categorias. Descrevendo alguns destes sistemas:

3.4.6.1 Iluminação lateral

A iluminação lateral é um dos sistemas mais utilizados para facilitar a penetração da luz natural nos ambientes. Porém, uma de suas principais características é a desuniformidade na distribuição desta luz incidente. Conforme Vianna e Gonçalves (2001, p.129), “Nos ambientes iluminados lateralmente, o nível de iluminância diminui rapidamente com o aumento da distância da janela.”

A luz natural resultante no interior dos espaços é composta pela somatória de três variáveis: luz proveniente da abóboda celeste; das reflexões de obstruções externas; das reflexões das superfícies internas.

A luz da abóboda celeste depende tanto das características climáticas do local, da sua implantação e orientação, como da época do ano e da hora do dia. Sua influência no espaço será devido à área do céu visível no ponto em questão.

A luz proveniente das reflexões externas irá depender das características da obstrução, seu tamanho, sua distância e capacidade de reflexão dos seus materiais de revestimento.

A luz proveniente das reflexões internas vai depender da cor e textura das superfícies do piso, da parede e do teto. Importante ressaltar que, geralmente, a reflexão proveniente da superfície do teto é a mais importante, devido o plano de interesse geralmente ser na horizontal. Assim, para locais de trabalho, onde um maior nível de luminosidade é requerido, se recomenda a utilização de cores claras no teto e paredes, podendo o piso possuir acabamento conforme a intenção do projetista.

As aberturas, também favorecerem a iluminação natural, sendo responsáveis pelas trocas de ar e calor, onde, a opção por seu uso deve ser feita com cautela e conforme as necessidades de aquecimento, ventilação e iluminação (CARDOSO, 2006). Desta forma, a eficiência do sistema de iluminação lateral depende da localização das janelas, em relação ao interior e das suas características. Vianna e Gonçalves (2001) elencam formas e

disposições destas aberturas: janelas altas e baixas, janelas altas e estreitas, janelas largas e horizontais, janelas em paredes opostas, janelas em paredes adjacentes, e janelas em sacadas.

3.4.6.2 Iluminação zenital

Iluminação zenital é aquela onde a luz penetra no ambiente a partir de aberturas no teto e que, muitas vezes, fazem parte do telhado da edificação. Proporciona uma melhor distribuição da luz, quando comparada ao sistema de iluminação natural. Porém, não é esta característica que faz os projetistas optarem por seu uso. Sua escolha é dada, principalmente, por fatores de projeto, como a impossibilidade de utilização de janelas laterais, conforme a natureza do uso da edificação (ROBBINS, 1986).

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), a iluminação zenital é bastante utilizada e indicada para espaços amplos e com pé-direito alto, onde se necessita de uma boa quantidade e uniformidade de luz.

Quanto às desvantagens decorrentes da utilização deste sistema de iluminação está o aquecimento proveniente da radiação transmitida pela cobertura, e que pode ser evitado mediante um projeto adequado (MASCARÓ E MASCARÓ apud CARDOSO, 2006) e a manutenção periódica destas aberturas, visto a forma e posição destes elementos acarretarem o acúmulo de sujeira, que acaba diminuindo a eficiência do sistema.

3.4.7 Elementos de controle e redirecionamento da luz

São elementos necessários para barrar, controlar ou direcionar a luminosidade incidente através das aberturas, pois, conforme Cardoso (2006), nem sempre toda a radiação que chega nestas superfícies é desejada no interior da edificação.

Para isto existem elementos que funcionam como uma barreira ou um filtro a esta incidência, como é o caso dos beirais, das prateleiras de luz, das persianas e dos brises.

3.4.7.1 Beirais

Os beirais são elementos bastante utilizados, por serem facilmente projetados e executados através da extensão da cobertura da edificação. Porém, conforme afirma Robbins (1986), sua capacidade de barrar a incidência da radiação direta do sol e ao mesmo tempo controlar e reduzir a luz natural penetrante, só consegue ser atingida nos casos em que um estudo bastante aprofundado da incidência solar nesta abertura for feito, seja através de cortes da edificação ou do uso de transferidores solares. Vianna e Gonçalves (2001) informam que, nos países de baixa latitude e que possuem uma abóboda celeste menos luminosa, esta

análise deve ser feita com muita cautela, pois cada fração do céu barrada, com relação a um ponto interior, representa uma grande perda de luminosidade.

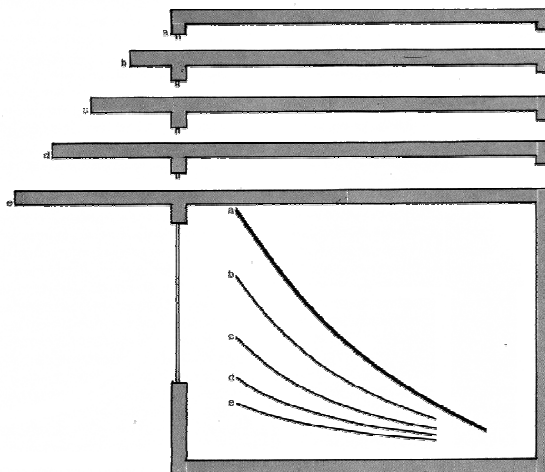


Figura 2: Penetração da luz natural através do uso de beiras. Fonte: ROBBINS (1986)

3.4.7.2 Prateleiras de Luz

As prateleiras de luz são elementos que vêm sendo utilizados desde a época dos faraós egípcios. Sua função é, desde controlar a incidência direta da radiação solar no interior das edificações, como reduzir o brilho que advém do uso da luz proveniente do céu e refletir a luz solar (ROBBINS, 1986).

“As prateleiras de luz são estruturas horizontais adicionadas à parte superior das aberturas laterais (...)”, que acarretam num “maior sombreamento na parte inferior perto da janela, e num aumento das iluminâncias nas partes mais profundas do espaço, por efeito de reflexão de luz difusa pelo teto.” (VIANNA E GONÇALVES, 2007, p.153)

A principal justificativa para seu uso está no fato de proporcionarem uma maior distribuição da luminosidade incidente nas aberturas, fazendo com que a luz natural atinja pontos internos que não seriam atingidos com a existência isolada das aberturas. Além disto, estes elementos podem proporcionar maior conforto lumínico aos seus usuários e reduzir a necessidade de resfriamento, ocasionado pelos ganhos de temperatura, devido, à radiação solar (ROBBINS, 1986).

Conforme imagem abaixo, as prateleiras de luz podem projetar-se para o exterior, para o interior ou para ambas as direções. As projetadas para o interior da edificação proporcionam uma menor penetração da luz, sob quaisquer condições de céu, salvo sob influência da radiação solar direta.

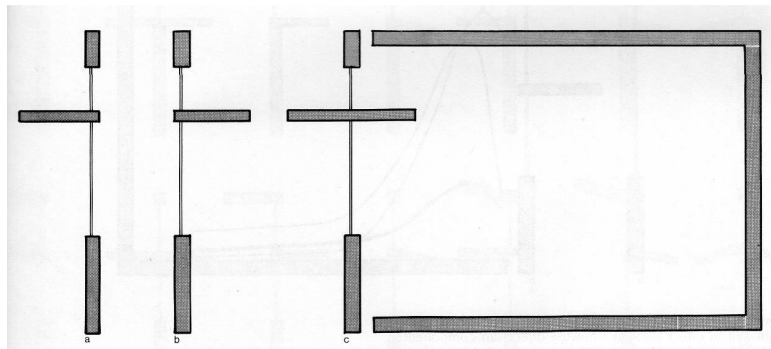


Figura 3: Tipos de prateleira de luz. Fonte: ROBBINS (1986)

Robbins (1986) explica que quando a luz solar direta incide sobre uma prateleira de luz interna, esta irá barrar a incidência direta sobre o interior, porém ela não protegerá o envidraçamento desta radiação, contribuindo, portanto para um maior ganho térmico no interior da edificação.

As prateleiras de luz são dimensionadas conforme os ângulos solares observados no seu sítio de implantação e podem, inclusive, ser projetadas retas, inclinadas ou curvas, de maneira a direcionar os raios solares incidentes. Recomenda-se que o acabamento superior da sua superfície seja de material refletor, como alumínio ou espelho (AMORIM, 2002).

3.5 LUZ ARTIFICIAL

A história da humanidade foi marcada pela tentativa de controle da natureza por parte do homem. Cerca de 500.000 anos A.C o ser humano descobriu como transportar e manter aceso o fogo, que ocorria de maneira espontânea na natureza. Por volta de 20.000 anos A.C, o homem aprendeu a produzir faíscas. Esta produção do fogo, em conjunto com sua manutenção e transporte, foi a primeira forma de gerar luz artificial (TORMANN, 2008).

Após anos utilizando o fogo como principal fonte de luz, no séc. XIX muitos estudos científicos ocorreram, com o intuito de se obter o melhor filamento com capacidade de conduzir a “mágica e poderosa energia invisível – a eletricidade” (TORMANN, 2008 p.24).

A chegada da lâmpada elétrica seria, portanto, um marco na história do homem, revolucionando suas atividades, suas horas de trabalho e lazer.

Ao acender uma lâmpada, a energia elétrica é transformada em outras formas de energia: radiações infravermelhas, ultravioletas e luz visível. Dentre estas, a última é a capaz de sensibilizar a visão humana, através da impressão luminosa e da impressão da cor.

3.5.1 Iluminação Suplementar Artificial

Embora a luz natural seja considerada a principal fonte de luz, em algumas ocasiões a iluminação artificial é necessária. Sua presença, além de ser observada durante a noite e nos locais onde a luz natural não consegue penetrar, é necessária nos momentos em que a disponibilidade de luz natural é insuficiente.

O desafio, portanto, é encontrar soluções projetuais, que façam o melhor aproveitamento da luz natural, em conjunto com a artificial, de forma a proporcionar ambientes corretamente iluminados e energeticamente eficientes. Segundo Vianna e Gonçalves (2001), em edificações não residências, uma solução bem projetada pode gerar economias de 30% a 70% nos gastos energéticos.

Para Laudares e Mueller (2007) e Vianna e Gonçalves (2001), esta economia está diretamente relacionada com a disponibilidade de luz natural, com a localização geográfica e clima do local de implantação, com as características próprias da edificação (forma, volumetria e tipologia das aberturas) e, ainda, com as necessidades de seus usuários. Desta forma, a iluminação suplementar artificial deverá ser projetada de maneira a complementar o sistema de luz natural, iluminando áreas da edificação que a luz natural não atinge e amenizando as variações lumínicas, características do uso desta fonte.

Conforme Robbins (1986), as primeiras etapas de um projeto de iluminação artificial, consiste na análise da função/uso do ambiente, na determinação da quantidade de luz necessária para se desenvolver a atividade requerida e na seleção das fontes de luz apropriadas para a iluminação do plano de trabalho considerado.

Nas etapas seguintes, a luz natural é considerada em conjunto com a artificial, para que haja a correta projeção do sistema de iluminação artificial suplementar e do sistema de controle do funcionamento da luz artificial, em função da luz natural disponível. Portanto, as etapas seguintes são (ROBBINS, 1986 e LAUDARES E MUELLER, 2007):

- Distribuição das luminárias de forma a complementar a luz natural existente e, também, de forma a substituí-la por completo, nos momentos em que sua incidência reduzir ou for inexistente;
- Escolha do tipo da lâmpada mais apropriada à luminária escolhida e que tenha uma temperatura de cor e índice de reprodução de cores que complemente a luz natural disponível no espaço;
- Escolha do reator apropriado ao tipo da lâmpada e sistema de controle;

- Determinação do sistema de controle da luz artificial, que funcione em função da distribuição da luz natural no ambiente;

3.6 GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS

Conforme Vianna e Gonçalves (2001) são nove as principais grandezas relacionadas à iluminação. Algumas podem ser aplicadas tanto à iluminação natural e artificial e outras apenas para a última, conforme demonstrado na figura abaixo:



Figura 4: Principais Grandezas Fotométricas. Fonte: Autora.

3.6.1 Fluxo Energético

Fluxo Energético, também chamado de potência, corresponde à quantidade de energia transportada “por todas as formas de radiação presentes no feixe energético, incluindo a luz visível, a infravermelha e a ultravioleta. Unidade: WATTS (W)” (VIANNA E GONÇALVES, 2001, p.67).

O Fluxo Energético é considerado ao analisar o consumo de energia de um sistema de iluminação. É através da soma das potências das lâmpadas que se obterá a informação de quanta energia está sendo consumida para obter um determinado nível de luminosidade. Neste momento, pode-se fazer uma avaliação da fonte utilizada, sua potência e luminosidade obtida.

3.6.2 Fluxo Luminoso

Fluxo luminoso é a radiação total emitida por uma fonte de luz, dentro dos limites do espectro visível, ou seja, entre os limites de comprimento de onda capazes de produzir estímulos visuais nos seres humanos. Unidade: lumens (lm) (MOREIRA, 1999).

3.6.3 Eficiência Luminosa

Eficiência Luminosa, dada em lúmen/watt, é também conhecida como eficácia ou rendimento. Seu significado pode ser exposto como “a relação entre o fluxo luminoso, em lúmen emitido por uma fonte, e seu fluxo energético (potência) consumido para produzi-lo.” (VIANNA E GONÇALVES, 2001, p.68).

Esta propriedade é de extrema importância ao avaliar o consumo energético das instalações elétricas e ao comparar diferentes lâmpadas. Pois, dependendo do tipo de lâmpada, pode-se obter mais luz, com menor gasto de energia, quesito cada vez mais solicitado nas novas lâmpadas que surgem no mercado.

3.6.4 Intensidade Luminosa

O fato de duas fontes luminosas possuírem iguais potências não indica que ambas emitem a mesma energia em todas as direções. Assim, é sempre importante, além de caracterizar a potência de uma fonte, indicar sua intensidade luminosa em uma dada direção, cuja unidade é a candela (cd) (MOREIRA, 1999).

Para obter esta informação, devem ser realizadas medições nas direções onde se deseja obter este valor, sendo que, cada direção é representada por um vetor, cujo comprimento indica uma determinada intensidade luminosa (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

A partir da união das extremidades de todos os vetores existentes, em um mesmo plano transversal ou longitudinal à lâmpada, é gerada a CDL, curva de distribuição luminosa, que nada mais é que a representação gráfica da intensidade da fonte, em todas as direções.

Conforme Vianna e Gonçalves (2001, p.69): “A intensidade luminosa pode ser associada à lâmpada ou à luminária, sendo, na prática, este segundo caso muito mais útil, pois sempre adotamos uma lâmpada em conjunto com a luminária.”

Na figura abaixo é apresentado um exemplo de curva de distribuição de uma lâmpada, dado geralmente fornecido pelos fabricantes:

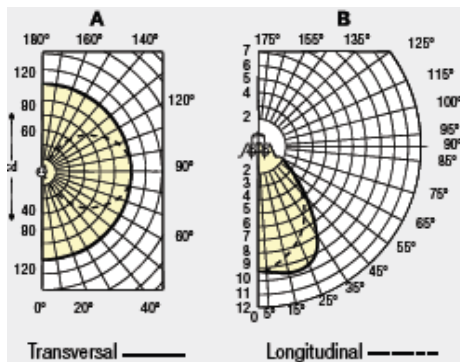


Figura 5: Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal, para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B). Fonte: OSRAM, 2011.

3.6.5 Iluminância

A iluminância é definida como 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 zero” NBR 5413 (ABNT, 1992, p.01). O valor resultante é dado em lumens por m² ou em Lux.

Em outras palavras, a iluminância, também chamada de iluminamento “é o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada” (MOREIRA 1999, p.18).

A expressão matemática utilizada para se obter este valor é a razão entre Fluxo Luminoso (lumens), por unidade de área (m²):

$$E = \frac{\varphi}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

Outra forma de se obter o nível de iluminância sobre uma superfície é através da utilização de um equipamento chamado luxímetro. Este aparelho possui uma fotocélula, que, quando sobreposta a uma superfície e exposta à radiação incidente, mede, em lux, o nível de iluminância do local.

Considerando que o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos considerados dentro de uma área. Assim, utiliza-se uma iluminância média para caracterizar a iluminância daquela área (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

Existem normas que estabelecem valores mínimos de iluminância para ambientes internos, conforme a atividade que é desempenhada no local. A NBR5413 (1992), além de recomendar valores conforme a atividade desenvolvida, usa critérios, como: a idade do usuário, o nível de refletância do plano de fundo da tarefa e a importância que é dada à

precisão e velocidade na atividade desenvolvida. Abaixo, estão expostos alguns valores recomendados para ambientes escolares:

5.3.13 Escolas

- salas de aulas	200 - 300 - 500
- quadros negros	300 - 500 - 750
- salas de trabalhos manuais	200 - 300 - 500
- laboratórios	
. geral	150 - 200 - 300
. local	300 - 500 - 750

Figura 6: Valores de iluminância recomendados pela NBR 5413, para espaços escolares (ABNT, 1992, p.03).

3.6.6 Luminância

Luminância é a luminosidade possível de ser vista através da reflexão dos raios luminosos, em uma superfície. Portanto, Iluminância é a luz incidente sobre as superfícies e objetos e Luminância é a luz refletida nas superfícies e objetos, possível de ser vista. (Figura 9).

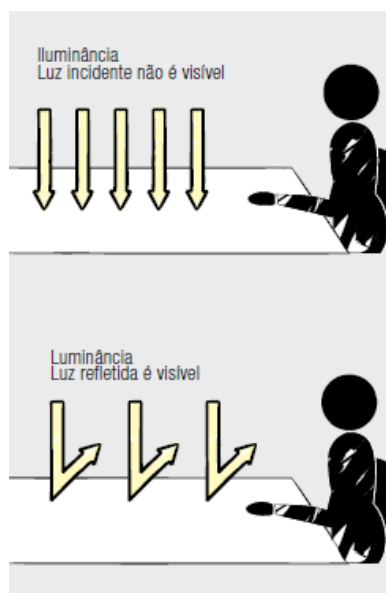


Figura 7: Iluminância e Luminância. Fonte: OSRAM, 2011.

A unidade de Luminância (L) é candela por metro quadrado (cd/m^2) e seu valor pode ser obtido com o uso de um equipamento chamado luminancímetro ou através da fórmula:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: L = Iluminância, em cd/m^2 , I = Intensidade luminosa, em cd , A = área projetada, em m^2 e φ = ângulo considerado, em graus.

A dificuldade encontrada em se obter a intensidade luminosa de um corpo não radiante, através da reflexão, é amenizada através da possibilidade de uso de outra fórmula, que considera o coeficiente de reflexão das superfícies:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão e E = Iluminância sobre essa superfície.

O Coeficiente de Reflexão pode ser encontrado através da razão entre o Fluxo Luminoso Refletido e o Fluxo Luminoso incidente em uma superfície ou em tabelas, cujos valores são dados em função dos materiais e das cores utilizadas (MOREIRA, 1999).

Devido à propriedade de os corpos refletirem a luz diferentemente uns dos outros, uma mesma Iluminância poderá gerar diferentes Luminâncias.

3.6.7 Contraste

Contraste é o nome dado à “diferença relativa de luminâncias entre um determinado objeto e seu entorno” (VIANNA E GONÇALVES, 2001, p.74).

Em ambientes laborativos, altos níveis de contraste não são desejados, pois acabam, muitas vezes, dificultando ou até inibindo a realização de certas atividades. Já, em ambientes de descanso e lazer, sua presença muitas vezes é intencional, por causar diferentes efeitos de luz e sombra, destaque de superfícies e objetos, criando diferentes “atmosferas” dentro de um mesmo espaço. Aos altos níveis de contraste, dá-se o nome de ofuscamento.

Ofuscamento pode ser causado por uma distribuição inadequada das iluminâncias ou pela existência de grandes contrastes. Segundo Hopkinson et al (1966), existem duas maneiras de prejudicar a visão devido à existência do ofuscamento: a primeira está relacionada com a grande intensidade de brilho no campo visual, o qual reduz os contrastes entre os objetos e a segunda, diz respeito à existência de fontes brilhantes no campo visual, em contraste com um fundo mais escuro, causando uma fadiga visual, pelo esforço de adaptação do olho.

Para Mascaró e Mascaró (1991) apud Berti (2009, p.22):

“(...) o ofuscamento pode ainda ser causado de forma direta ou refletida. O ofuscamento direto é causado quando uma fonte de luz de grande luminosidade é introduzida no campo visual do observador (...), já o ofuscamento refletido ocorre quando o observador vê a fonte de luz por meio de reflexão em um objeto de alta refletância.”

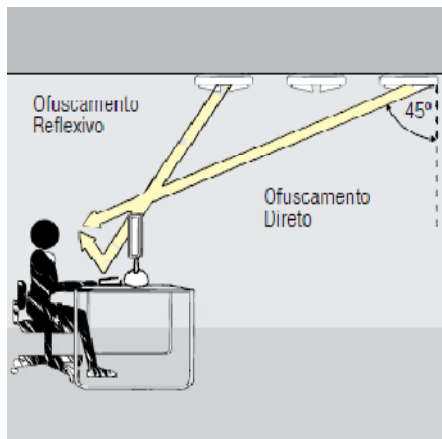


Figura 8: Diferentes formas de ofuscamento. Fonte: OSRAM, 2011.

O ofuscamento pode ser evitado a partir da redução da intensidade da fonte; do uso de uma luminária que redirecione o fluxo luminoso; do posicionamento da fonte luminosa fora do ângulo de visão do usuário (acima de 45°); da utilização de superfícies opacas ou, ainda, através do aumento da luminância do entorno à fonte (ex: pintando as paredes, onde existem janelas) (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

Uma forma de evitar a fadiga visual decorrente do esforço de adaptação que os olhos precisam fazer, ao passar por variações bruscas de sensação de claridade, é harmonizar as luminâncias de piso, parede e teto numa proporção de 1:2:3. Ex: No caso de uma mesa de trabalho, em uma sala de aula, sua superfície deverá ter uma luminância, no máximo, 1/3 inferior à observada no plano de quadro negro.

É importante ressaltar que certo nível de desuniformidade de iluminação é necessário nos ambientes. Um espaço extremamente uniforme acaba gerando relaxamento visual que, após algum tempo, acarreta no que é chamado de “sonolência”, “cansaço”, “indisposição”, etc.

3.6.8 Índice de Reprodução de Cor

Segundo MOREIRA (1999, p.22), Índice de Reprodução de Cor (IRC) “É a medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma fonte de luz.” Sabe-se que a cor de um objeto é determinada pela reflexão de parte do espectro de luz incidente sobre ele. “Isso significa que uma boa Reprodução de Cor está diretamente ligada à qualidade da luz incidente, ou seja, à distribuição equilibrada das ondas constituintes do seu espectro” (OSRAM, 1999, p.29).

A fonte que possui um espectro completo e equilibrado e que melhor reproduz as cores dos objetos é a luz do sol. Esta possui um IRC igual a 100 e, conforme Robbins (1986), serve de

referência para a tomada de valores das demais fontes. Assim, “as lâmpadas com IRC próximo a 100 são as que reproduzem as cores com fidelidade e precisão” (MOREIRA, 1999, p.22).

3.6.9 Temperatura de Cor

Temperatura de Cor é a grandeza que indica a aparência da cor de uma fonte luminosa e tem seu valor dado em Kelvin (K). Esta relação entre cor e temperatura ocorre, pois para se indicar a tonalidade de cor de uma fonte luminosa, esta é comparada à cor irradiada a partir de corpo negro radiador. Assim, conforme a temperatura à que este corpo é exposto, uma tonalidade de cor é emitida (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

A luz amarela, semelhante à de uma lâmpada incandescente, tem sua temperatura de cor em torno de 2.700K, enquanto que uma lâmpada fluorescente, de cor “branca”, tem sua temperatura de cor em torno de 5.000K. Assim, quanto mais branca a luz, maior sua temperatura de cor.

3.7 PROJETO DE ILUMINAÇÃO

Para o desenvolvimento de um projeto de iluminação, todos os conceitos trabalhados neste capítulo irão embasar as decisões dos projetistas. O resultado de um conhecimento aprofundado sobre o tema e da análise detalhada de cada situação apresentada será um projeto bem resolvido, de acordo com as necessidades dos usuários e eficiente, do ponto de vista energético. Para Lopes (2006), o projeto de iluminação é a integração harmoniosa entre o usuário, o ambiente e a fonte luminosa.

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), o primeiro passo de um projeto de iluminação é a definição da função do espaço e das necessidades dos usuários. Conforme o tipo de atividade que será desenvolvida no ambiente, o projeto tomará diferentes rumos. Basicamente, as atividades são divididas em atividades produtivas/laborativas (escolas, escritórios, etc.) ou atividades de lazer/ descanso/ contemplação.

Ao lidar com ambientes produtivos/laborativos podem ser considerados requisitos fundamentais no projeto de iluminação (VIANNA E GONÇALVES, 2001):

- 1º Nível mínimo de iluminância no plano de trabalho (dado obtido junto às normas de iluminação).
- 2º Uniformidade dos níveis de iluminação no plano de trabalho e no ambiente onde está sendo realizada a atividade.

- 3º Inexistência de contrastes excessivos e reflexos indesejáveis, no plano de trabalho e entorno imediato à atividade.

Já, ao tratar de ambientes onde não serão desenvolvidas atividades laborativas, como na maior parte dos cômodos de uma casa, de uma igreja ou de um shopping, este controle do nível de iluminação no local não é seguido tão à risca e a presença de certa “desuniformidade” proporciona aos ambientes efeitos lumínicos, que os tornam interessantes, agradáveis e criativos, através do uso de contrastes, de efeitos de luz e sombra.

De forma a atender às necessidades acima, o projetista irá elaborar o projeto luminotécnico da edificação conforme a presença, ou não, da luz natural no recinto. Quando a luz natural for presente, as decisões levarão em consideração a forma com que esta penetra no espaço, com o intuito de se fazer o seu melhor aproveitamento. Já, para os períodos noturnos ou nos locais onde a luz natural não é presente, as fontes de luz artificial deverão cumprir com a função de iluminar adequadamente o espaço. Para isto, fatores como a correta reprodução das cores dos objetos e ambientes iluminados e a escolha criteriosa dos aparelhos de iluminação e tipos de lâmpada serão questões presentes nas tomadas de decisão dos projetos de iluminação, também chamados de projetos luminotécnicos (MOREIRA, 1999).

3.7.1 O projeto de iluminação em edificações escolares

O projeto de iluminação em edificações escolares deve ter como premissa básica atender às necessidades lumínicas de seus usuários, para desenvolver as atividades a que serão submetidos. “A boa iluminação, juntamente com a boa acústica, conforto térmico e ventilação, será parâmetro fundamental para o bom aprendizado e rendimento dos alunos” (VIANNA E GONÇALVES, 2001). Segundo Wu e Ng (2003), o uso da luz natural no interior das edificações escolares sempre foi almejado e preferido. Os autores consideram que esta preferência ocorre tanto devido à variação da luz natural ao longo do dia, como à visualização do exterior, que proporciona além de uma “liberdade visual”, o contato com uma paisagem em constante mudança. Porém, devido a esta variação da luz natural, o sistema de iluminação artificial se faz necessário.

Assim, após fazer uma análise aprofundada do sítio de implantação da edificação e das condições climáticas do local, devem ser observados os níveis de luminância das superfícies, níveis de Iluminância, as zonas luminosas e as mudanças na distribuição da luminosidade através de aberturas e elementos de controle da luz, para, então, verificar de que maneira o sistema de iluminação artificial irá complementar e/ou substituir a luz natural (IESNA, 2000). Devido às edificações escolares geralmente disporem as salas de aula ao

longo de uma circulação, as aberturas geralmente se posicionam nas laterais. De forma a se obter uma maior distribuição da luminosidade, é recomendado que estas aberturas sejam simétricas e estejam em paredes opostas. Outra maneira de incrementar a distribuição desta luminosidade é através da utilização de prateleiras de luz e de aberturas zenitais, que devem ser cuidadosamente projetadas e ter fácil manutenção.

Porém, deve-se evitar a penetração da radiação solar direta sobre as superfícies, o que causa ofuscamentos e prejuízos à visibilidade dos usuários. Para isto, faz-se uso de brises móveis ou fixos, cortinas, persianas ou, até mesmo, vegetação. Também, deve-se ter cuidado na escolha dos materiais de revestimento dos planos de trabalho e das cores das superfícies adjacentes.

Quanto à escolha do sistema de iluminação artificial, este deverá complementar e substituir o sistema de iluminação natural, de forma eficiente. Desde a escolha e disposição das lâmpadas, luminárias e controles deverão ser feitas em etapa de projeto e conforme as necessidades de cada espaço. Um fator importante de ser observado é a necessidade de controle das luminárias, conforme sua posição e a forma com que a luz natural se distribui no ambiente; em geral, luminárias próximas às janelas deverão ter controle de acionamento independente das demais, devido à luminosidade próxima destas aberturas ser mais elevada que nos outros pontos do interior da edificação (ROBBINS, 1986).

3.8 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO LUMÍNICO

A avaliação do desempenho lumínico de uma edificação consiste em uma análise geral das condições de iluminação, seja ela natural e/ou artificial, de um espaço conforme as atividades que são desenvolvidas no seu interior, as necessidades de seus usuários e a eficiência energética do conjunto. Este tipo de avaliação tem sido utilizada na aferição das condições lumínicas das edificações e na análise de diferentes soluções projetuais.

Uma das questões importantes, dentro de uma avaliação de desempenho lumínico, diz respeito aos níveis de iluminação obtidos no interior das edificações e que podem ser previstos ou medidos através de diversos métodos. Entre estes, encontram-se os métodos gráficos e matemáticos, as simulações com modelos físicos reduzidos (maquetes) e a modelagem matemática através das simulações computacionais (LAUDARES E MUELLER, 2007). Alguns métodos sugeridos pela Norma NBR 14215 (2004) também são utilizados, tanto ao projetar um novo espaço, como avaliar um já existente.

Os métodos gráficos e matemáticos possibilitam a análise de diferentes soluções para um mesmo projeto, por considerar, tanto a contribuição da iluminação natural e artificial e,

também, por possibilitar análises para um longo período de tempo. Porém é uma ferramenta pouco atrativa aos projetistas, devido à sua complexidade e tempo exigido para sua utilização (CHRISTAKOU, 2004).

Em contrapartida, os modelos físicos reduzidos são facilmente utilizados pelos arquitetos e engenheiros. A precisão dos seus resultados será conforme a precisão dos detalhes presentes no modelo reduzido, que pode ter, desde a volumetria, mobiliário e materiais de revestimento mimetizados. Sendo a escala da maquete reduzida, neste tipo de ferramenta a influência da luz artificial não pode ser analisada.

A modelagem matemática, através das simulações computacionais, tem se apresentado como uma ferramenta bastante interessante e promissora. Para LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA (1997), na área de projeto e manutenção de edifícios o uso destes modelos está sendo mais freqüente e vem auxiliando em decisões relativas ao projeto, operação e manutenção do edifício. Porém, seu uso ainda é limitado no Brasil, ao contrário do que acontece em países mais desenvolvidos. Segundo uma pesquisa realizada pelo IRC (Institute of Research in Construction), junto a 185 profissionais de 27 países (sendo 20% do Canadá, 20% dos EUA e 12% da Alemanha), destes, 91% respondeu que incluem aspectos da luz natural em seus projetos, sendo que, destes, 79% utilizam a simulação computacional como apoio ao projeto (CHRISTAKOU, 2004).

Hoje estão disponíveis aos projetistas diversos softwares de simulação, que buscam facilitar o processo do projeto luminotécnico, no que diz respeito ao cálculo em si e no estudo ágil e preciso de edificações de volumetrias complexas (LIMA E CHRISTAKOU, 2007).

Segundo Toledo (2008), estes programas possibilitam simular o desempenho de iluminação natural em um espaço devido a incorporarem algoritmos¹ de cálculo para iluminação natural e modelos de distribuição de luminâncias do céu. Como resultado, estas ferramentas fornecem tanto valores numéricos como imagens fotorrealísticas.

A norma NBR15215-4 (ABNT, 2004) expõe alguns métodos de verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos, aplicáveis, tanto em ambientes reais, como em modelos físicos de escala reduzida. Estes métodos destacam-se, principalmente, para a avaliação do desempenho lumínico de edificações já existentes.

No caso das medições de iluminância, faz-se uso de um aparelho chamado luxímetro que, ao expor sua fotocélula, faz medições de iluminância. Estas medições são realizadas sobre

50_____

¹"Conjunto de regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema num número finito de etapas" (CHRISTAKOU, 2004, p. 102).

os planos de interesse (geralmente o plano de trabalho) conforme uma malha recomendada e em diferentes horários e dias.

Já, nas medições de luminância, são avaliadas as condições de brilho da superfície de trabalho do usuário e do seu entorno. Para isto, são realizadas medições na área central e adjacente à atividade visual. Para se obter estes valores é utilizado um equipamento denominado luminancímetro.

3.8.1 Avaliação de desempenho lumínico em edificações escolares

A avaliação do desempenho lumínico de uma edificação escolar vai ao encontro, tanto das preocupações atuais referentes à sustentabilidade e à eficiência energética, quanto à verificação do atendimento às necessidades físicas e psicológicas de seus usuários.

Devido às atividades visuais nos ambientes escolares serem intensas e requererem de um nível de iluminação constante para suas atividades, observa-se nesta tipologia de edificação, um considerável consumo de energia decorrente do uso do sistema de iluminação artificial. Portanto, projetar e avaliar uma edificação escolar quanto ao seu desempenho lumínico é de grande importância.

Bogo e Pereira (1998) relacionam alguns estudos a respeito da economia energética resultante de edificações bem projetadas e que fazem um uso adequado das fontes de luz natural e artificial. A exemplo pode-se citar o estudo de Gates e Wilcox (1984), que indicou uma economia em iluminação superior à 90% para salas de aula, de três cidades dos Estados Unidos, que fizeram um uso otimizado da luz natural. Segundo Wu e Ng (2003), os estudos à respeito da iluminação de ambientes escolares já ocorriam na década de 70 e vêm ocorrendo até os dias de hoje, associando, cada vez mais, o uso da luz natural ao melhor desempenho físico e mental de seus usuários. Em 1992, foi desenvolvido um estudo junto à oitenta e oito estudantes suecos do ensino fundamental. Estes alunos, de oito anos de idade, foram monitorados ao longo de um ano e os pesquisadores constataram uma considerável correlação entre os níveis de luz natural à que os alunos eram expostos e os níveis hormonais e comportamentais destes alunos. Assim, concluiu-se que salas sem a presença da luz natural, podem aborrecer os usuários e afetar diretamente sua habilidade de concentração, assim como impactar no crescimento corporal e na saúde dos alunos.

Outro estudo, também interessante, foi o realizado nos Estados Unidos em 1999 com mais de 21.000 alunos. Neste estudo, os resultados revelaram que as crianças aprendem melhor e mais rápido quando expostas à luz natural (HESCHONG et al, 2002). Assim, a avaliação de desempenho lumínico em ambientes escolares vai além da análise dos níveis de iluminação obtidos no interior da edificação. Este fator, em conjunto com a análise de

diversos fatores relacionados às características lumínicas do recinto, acaba por resultar em um ambiente adequado, ou não, às atividades escolares.

Devido ao espaço escolar em que se observa maior permanência e necessidades visuais serem as salas de aula, estes ambientes têm sido avaliados em diversos estudos de forma à verificar suas condições lumínicas e eficiência energética, qualificar seus projetos, propor melhorias e, ainda, servir de referência para outros projetos preocupados em obter um melhor desempenho lumínico. Como exemplo destes trabalhos, estão os desenvolvidos por Ramos e Porto (2006), Gemelli (2009) e Ochoa (2010) que buscaram analisar e monitorar as características lumínicas de uma ou mais salas de aula. A partir de seus estudos de caso, as escolas foram avaliadas e contribuições foram feitas tanto às comunidades escolares específicas, como ao conhecimento à cerca de como fazer um uso otimizado da luz natural em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Neste item, é apresentado o método de pesquisa utilizado neste trabalho através da descrição da estratégia de pesquisa, do delineamento do processo, da apresentação das etapas deste estudo e da caracterização do objeto de estudo e das ferramentas de análise lumínica utilizadas.

4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Existem diversas maneiras de fazer pesquisas. Conforme o tipo de questão da pesquisa, o controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais efetivos e o foco que é dado sobre a contemporaneidade, uma estratégia ou outra de pesquisa será a mais indicada, demonstrando vantagens e desvantagens em relação às demais (YIN, 2003).

Segundo Yin (2003), as principais estratégias de pesquisa são os estudos de caso, experimentos, levantamentos, pesquisas históricas e análise de informações em arquivos.

Neste trabalho a estratégia utilizada é um estudo de caso. Segundo Yin (2003), no estudo de caso, o foco da pesquisa está em um fenômeno contemporâneo, que ocorre na vida real e de pouco controle por parte do investigador. Segundo Ochoa (2010), para isto ocorrer, o estudo de caso utiliza, em geral, seis variedades de coleta de evidências: documentação, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante, artefatos físicos. Nesta pesquisa, as principais fontes de informações foram as documentações, as observações diretas, as entrevistas e as medições técnicas.

Através deste estudo de caso, pretende-se avaliar, de forma qualitativa, o desempenho lumínico de uma edificação escolar, construída a partir de estratégias sustentáveis e bioclimáticas. Considera-se esta análise qualitativa, devido aos resultados não se basearem apenas na avaliação das medições realizados in-loco e das simulações do ambiente construído, mas também na efetividade das decisões projetuais e nas características físicas e construtivas da escola.

A escola, objeto de estudo deste trabalho, teve seu projeto arquitetônico auxiliado por uma equipe de alunos do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da

UFRGS, sob supervisão do professor Miguel A. Sattler. Esta edificação tem sido “fonte” de conhecimento, não apenas aos seus usuários diretos, como aos mestrandos no PPGEC, através de estudos, monitoramentos e avaliações sob diversas perspectivas.

Assim, os resultados obtidos nesta pesquisa irão, tanto contribuir na difusão do conhecimento a respeito do desempenho lumínico em edificações escolares com princípios sustentáveis e bioclimáticos, como irão contribuir para o conhecimento interno do NORIE/PPGEC, e da própria comunidade escolar, a respeito das características lumínicas da escola e das possíveis alterações a serem implementadas na edificação, de forma a melhorar o desempenho lumínico do espaço escolar e o conforto visual dos usuários.

Para finalizar, este trabalho fará recomendações acerca das principais variáveis que influenciam no desempenho lumínico de salas de aula, servindo assim, de base para tomada de decisões de futuros projetos, onde um maior controle da luminosidade interna é requerida e essencial para o bom desempenho das atividades de seus usuários.

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O desenvolvimento desta pesquisa, ilustrado na Figura 11, se processará em quatro etapas: caracterização, aplicação, análise e considerações finais.

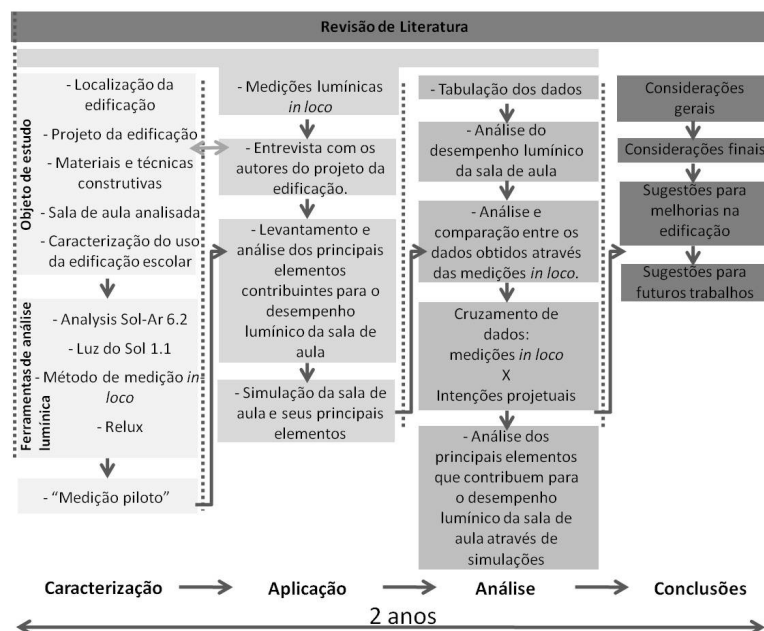


Figura 9: Delineamento da pesquisa.

A etapa de revisão de literatura embasou o tema deste estudo e todas as etapas de seu desenvolvimento. Buscou-se, assim, compreender o papel da iluminação na avaliação do

desempenho do ambiente construído e sua relação com eficiência energética e sustentabilidade. Através desta revisão, obteve-se uma visão aprofundada das características da luz natural, da importância do seu uso e sua influência nos ambientes escolares, destacando o papel do projetista, como facilitador do aproveitamento desta luminosidade no interior das edificações. Para compreender, de modo geral, todo o sistema de iluminação e de que maneira a luz natural pode ser complementada pela artificial; esta última foi abordada através de seus principais componentes e sistemas.

Assim como a Revisão de Literatura, as medições lumínicas ocorreram ao longo de mais de uma etapa. Considerando as medições terem sido realizadas em datas próximas aos solstícios de inverno (22 de junho) e de verão (22 de dezembro) e ao equinócio de outono (21 de março), esta etapa transcorreu durante as etapas iniciais deste estudo, finalizando na etapa de análise. Já, os demais passos percorridos neste estudo distribuíram-se nas seguintes etapas:

Primeira etapa: Caracterização - Caracterizou-se, tanto o objeto de estudo desta pesquisa, a sala de aula, como as ferramentas utilizadas nas análises lumínicas da edificação.

Ao indicar o objeto de estudo, fez-se uma análise de suas características; apresentou-se o projeto, a localização e implantação da edificação escolar, de forma a compreender, tanto suas características climáticas, como aquelas decorrentes de sua orientação solar. Realizaram-se estudos exploratórios e visitas *in loco*, para observação dos materiais e técnicas empregadas, assim como as características de ocupação desta edificação.

Quanto às ferramentas de análise lumínica, foram caracterizadas conforme sua aplicação na análise do desempenho lumínico do ambiente construído. Apresentaram-se, desde ferramentas simples, como as utilizadas para análise da incidência da radiação solar sobre as edificações, como as mais complexas, utilizadas na simulação do ambiente construído e no teste de diferentes soluções, sob diferentes condições de uso. Apresentou-se o método de medição *in loco*, recomendado pela NBR 15215-4 (ABNT, 2004).

Ainda nesta etapa, foi realizada uma “medição piloto”. Esta medição foi objetivada com vistas a uma maior familiarização do pesquisador para com a metodologia de medição lumínica *in loco* e com o uso dos equipamentos utilizados na medição.

Segunda etapa: Aplicação - A sala de aula foi analisada destacando seus principais elementos e características determinantes ao conforto lumínico. Para isto foram realizadas visitas *in loco* e utilizadas algumas ferramentas de análise lumínica, descritas na etapa anterior. A medição *in loco* foi realizada em datas próximas aos solstícios de verão e inverno

e equinócio de outono, sendo sua primeira medição, em dezembro de 2009 e a última, junho de 2010.

Considerando os resultados de desempenho lumínico serem, na maioria das vezes, decorrentes das decisões projetuais, coletou-se informações junto aos projetistas da edificação, para posterior análise e comparação com os resultados de desempenho lumínico da edificação.

Terceira etapa: Análise - Nesta etapa, os resultados dos estudos e das medições lumínicas realizadas na etapa anterior foram tabulados, analisados e comparados.

Primeiramente, apresentaram-se os resultados a respeito da sala de aula e dos elementos que contribuem para o desempenho lumínico da edificação.

Após, foram expostos os resultados de cada medição *in loco* realizada. Considerando o volume de informações, os dados foram organizados da seguinte forma:

- Medições externas:
 - Apresentaram-se imagens, com as condições de céu durante os momentos da medição, e um gráfico, com os respectivos valores de iluminância externa.

- Medições internas:
 - Apresentaram-se tabelas dos diversos horários em que as medições foram realizadas, com a indicação dos valores de iluminância obtidos, ponto a ponto da malha, sobre a superfície das mesas dos alunos, com apenas a influência da luz natural, e, após, com a contribuição do sistema de iluminação artificial. O mesmo foi feito para os valores obtidos sobre a superfície do quadro branco.
 - O ganho obtido com o uso da iluminação artificial, em cada medição, foi demonstrado através de um gráfico.
 - Após, foi realizada uma comparação entre os coeficientes de uniformidade obtidos ao longo do dia de medição.
 - Por fim, de forma a facilitar a visualização e correlacionar os valores obtidos, mapeou-se as iluminâncias, em conjunto com o Fator de Luz Diurna, obtido nos 35 pontos da malha utilizada e, ainda, foi analisado o comportamento do DF sobre três pontos analisados, ao longo do dia de medição.

Os resultados individuais obtidos de cada medição foram relacionados e comparados entre si, conforme os dados elencados acima, obtendo-se um panorama do desempenho lumínico da edificação. Após, este foi comparado com as intenções projetuais dos autores da edificação, de forma a verificar o atendimento às suas recomendações, assim como elencar alguns quesitos, que não foram considerados em projeto.

Para finalizar esta etapa de análise, foram destacados os principais elementos determinantes do desempenho lumínico da edificação. Estes foram analisados e simulados através de softwares de simulação. A partir destas simulações puderam ser testadas algumas alterações a serem implementadas na edificação, de forma a melhorar o seu desempenho lumínico.

Quarta etapa: Conclusões – Primeiramente foram realizadas considerações gerais à respeito deste trabalho, onde se buscou retomar os objetivos desta pesquisa e demonstrar de que forma que foram atendidos. Após, foram feitas considerações finais a respeito do desempenho lumínico em edificações escolares, principalmente naquelas projetadas e construídas a partir dos princípios da sustentabilidade e da arquitetura bioclimática. Foram feitas considerações a respeito das ferramentas de análise lumínica e sobre a importância e impacto das decisões projetuais no desempenho lumínico das edificações. Por fim sugeriram-se possíveis melhorias para a sala de aula e para futuros trabalhos a serem realizados.

4.3 CARACTERIZAÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes à caracterização do objeto de estudo deste trabalho e à caracterização das ferramentas de análise lumínica utilizadas neste estudo.

4.3.1 Caracterização do objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é uma sala de aula de uma edificação escolar. A escola, o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, será apresentada e descrita de modo a caracterizar sua localização, seu projeto, seus materiais e técnicas construtivas e sua ocupação.

4.3.1.1 Localização da edificação escolar

Conforme apresentado na Figura 12, a edificação escolar situa-se no município de Feliz, no estado do Rio Grande do Sul, a 80 km de Porto Alegre.

O município está situado no Vale do Caí, encosta inferior do Nordeste do estado, no limiar da Serra Gaúcha. Possui ligação direta com as rodovias estaduais RS 122 e RS 240 e com a rodovia federal BR116.

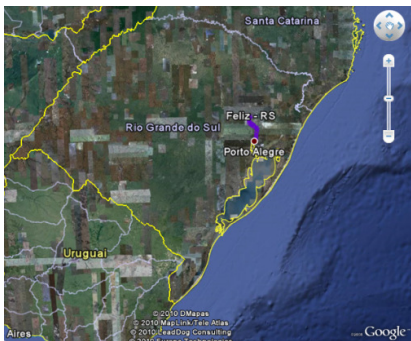


Figura 10: Mapa de localização do município de Feliz. (Fonte: Adaptado de Google Maps).

4.3.1.2 Sítio de implantação da edificação escolar

A edificação escolar está localizada no limite da malha urbana do município de Feliz, na latitude $29^{\circ}27'20''S$ e longitude $51^{\circ}17'34''O$. O terreno possui uma área de $62.000m^2$, tendo 75 metros de largura e 825 metros de comprimento. O acesso principal à escola é dado através da Rua Princesa Izabel, conforme apresentado na Figura 13.



Figura 11: Vista aérea da edificação escolar. (Fonte: Adaptado de Google Maps)

Observa-se que grande parte do terreno é coberta por uma massa de vegetação nativa. À priori do desenvolvimento do projeto para a edificação, esta vegetação foi identificada conforme seu porte e espécie, para então ser considerada e preservada no ato de projetar (FEPVARC, 2002 apud SILVA, 2009).

4.3.1.3 Características climáticas da cidade de Feliz - RS

O município possui clima subtropical, sua temperatura média é de $20^{\circ}C$ e a direção dos ventos predominantes é sul e sudeste.

Devido à proximidade e relativização quanto ao posicionamento em termos de latitude com a cidade de Porto Alegre, foram utilizados os dados disponíveis sobre as características climáticas desta cidade para caracterizar o município de Feliz.

Tubelo (2011) realizou análises comparativas entre dados meteorológicos coletados no município de Feliz, ao longo de um ano, e os registros disponíveis à respeito de Porto Alegre. O autor afirma que, a apropriação dos dados de Porto Alegre para caracterizar a cidade de Feliz, é possível, com algumas ressalvas, principalmente, à respeito das variações de temperatura, que são influenciadas pela proximidade, ou não, deste municípios às massas de água. Aponta, assim, que Feliz registra uma maior amplitude nas temperaturas ambientais exteriores. Tubelo (2011) ressalta que, devido aos dados coletados em sua pesquisa terem sido coletado durante apenas 1 ano, maiores estudos seriam necessários, para, assim, fornecer uma base de dados à respeito das características climáticas da cidade de Feliz.

Tabela 1: Tabela resumo de dados.

Cidade	Lat (s)		Long. (W.Gr.)			Alt. (m)							
Porto Alegre	30		51,1			47							
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Pressão Atmos (hPA)	1008	1009	1010	1012	1014	1015	1016	1014	1014	1011	1009	1008	1011,5
Temperatura Média (°C)	24,6	24,7	23,1	20,1	16,8	14,3	14,5	15,3	16,8	19,2	21,3	32,2	19,5
Temperatura Máxima (°C)	30,2	30,1	28,3	25,2	22,1	19,4	19,7	20,4	21,8	24,4	26,7	29	24,8
Temperatura Mínima (°C)	20,5	20,8	19,3	16,3	13	10,7	10,6	11,5	13,1	15	17	18,9	15,6
TempMáx Absoluta (°C)	39,1	37,9	38,1	34,6	32,6	31,5	32,9	34,9	35,8	36,5	39,8	39,2	39,8
TempMín Absoluta (°C)	11,4	12,6	9,6	6,8	3,3	0,7	1,2	1,1	2,2	6,2	8,7	11,4	0,7
Precipitação Total (mm)	100	109	104	86,1	94,6	133	122	140	140	114	104	101	1347,4
Precip-Máx em 24h (mm)	59,4	110	92,9	89,3	61,6	139	66,7	98,8	95	74,8	68	84,9	138,8
Evaporação Total (mm)	120	101	96,8	73	54,8	45,1	49,8	57,1	68,3	92	101	124	983
Umidade Relativa (%)	71	74	75	77	81	82	81	79	78	74	71	69	76
Insolação Total (horas)	239	208	201	180	166	136	149	151	151	202	217	245	2244,6
Nebulosidade (0-10)	5,3	5,1	5,5	5,1	5,5	5,8	5,7	5,8	6	5,6	5,4	5	5,5

Fonte: Normais Climatológicas (1961-1990), Brasília, 1992, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia. Programa Climaticus 4.2. (<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>)

4.3.1.4 Projeto da edificação escolar

O Centro de Educação Profissional do Vale do Caí - Escola de Feliz - nasceu da necessidade de suprir a carência de mão-de-obra qualificada na região do Vale do Caí. Sua fundação criadora, a FEPVARC – Fundação de Educação Profissional do Vale do Rio Caí, busca, através da educação, inserir os alunos no mercado de trabalho, contribuir na sua formação e estimular o empreendedorismo, contribuindo, desta forma, para o

desenvolvimento crítico e social dos profissionais como cidadãos (FEPVARC, 2002 apud SILVA, 2009).

Conforme apresentado no trabalho de Silva (2009), a fundação criadora da instituição delineou alguns princípios, que não apenas embasou o projeto pedagógico, como o projeto arquitetônico da edificação escolar. São eles: orientar as ações da Escola para o desenvolvimento sustentável da região, focada na preservação e conscientização ambiental; contribuir, permanentemente, para o desenvolvimento do espírito associativo dos produtores da região; pautar todas as atividades focadas no espírito ético e moral e preservar as tradições culturais dos imigrantes e colonizadores da região.

Em 2002, após já existir um primeiro projeto para a edificação, o Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), foi contatado para contribuir no desenvolvimento deste projeto, visto a experiência e conhecimento deste grupo com projetos que visem à sustentabilidade.

Assim, um novo projeto foi desenvolvido pelos arquitetos da empresa Krebs Arquitetos Associados: Lisandra Fachinello Krebs, Haiderose Gauer, Daniela Payeras e Carlos Krebs. Como colaboradores deste projeto estão os alunos da disciplina de Projetos Regenerativos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. As diretrizes gerais elaboradas para o projeto são: máxima eficiência no uso de recursos existentes; funções múltiplas para cada elemento introduzido; considerar a natureza como um modelo; interação com os educadores ambientais desde o planejamento do projeto; abertura de espaços da escola, como auditórios, áreas de visita, trilhas e outros para a comunidade local; e respeito à cultura e características sociais locais.

Conforme dados obtidos no memorial descritivo do projeto executivo da escola, as principais características físicas da edificação seriam (KREBS, 2003):

- Localização no limite da malha urbana do município de Feliz;
- Três pontos de acesso, sendo um Principal (Pórtico de Acesso) e dois secundários;
- Guaritas para controle em todos os acessos;
- Conjunto de prédios (Atividades Fim) distribuídos no sentido longitudinal do terreno – respeitando a topografia do local e a vegetação de porte, abrigando Salas de Aula, Laboratórios e a Unidade de Ensino e Produção (Cozinha Experimental);

- Núcleo Central (Atividades Meio), contando com o Bloco da Administração, o Auditório com 195 (cento e noventa e cinco) lugares possíveis e a Biblioteca;
- Praça Cívica junto ao Acesso Principal;
- Vinte Espaços de Convívio, representando, cada qual, um dos vinte municípios mantenedores da Fundação de Educação Profissional do Vale do Rio Caí, com totens informativos e vegetação característica da cidade que identifica, distribuídos longitudinalmente ao longo do percurso peatonal (“Caminho do Sol”) no terreno;
- Circulação protegida (“Caminho da Chuva”), interligando os Blocos A, B, C, o Núcleo Central e os Blocos D e E, pela ordem;
- Estacionamento com controle de ingresso e saída de veículos;
- Estação de tratamento prévio (antes do descarte final) de resíduos sólidos e depósito de materiais químicos;
- Torre de Observação (mirante);
- Horta, Praça das Hortas, Espirais de Ervas e Temperos;
- Paisagismo útil;
- Emprego de Telhados-Vivos (Telhados Verdes);
- Leito de escoamento das águas pluviais;
- Aproveitamento das águas pluviais; e
- Tratamento de resíduos líquidos.

No ano de 2004, o projeto executivo estava completo, porém a verba angariada era um pouco mais de um terço da prevista para a construção. Dada esta situação, a equipe de projetistas e demais envolvidos no processo tiveram de priorizar alguns espaços a construir.

No ano de 2007, a Escola foi inaugurada, com parte de seu projeto executado. Atualmente, estão edificadas os blocos C, D, E e a guarita de acesso via Rua Princesa Isabel (Figuras 14 e 15). A área administrativa e biblioteca encontram-se temporariamente no bloco C, já, no bloco D, estão as salas de aula e no bloco E, os laboratórios.

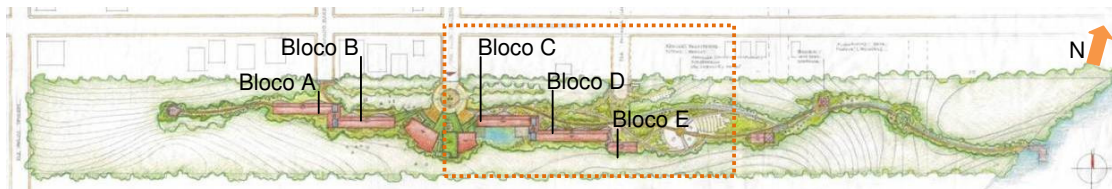


Figura 12: Projeto de Implantação da escola de Feliz.



Figura 13: Vista panorâmica da Escola (Fonte: SILVA, 2009)

4.3.1.5 Caracterização da intenção dos projetistas

De forma a complementar a análise do projeto da edificação e proporcionar maior embasamento para a aferição do alcance ou não das intenções projetuais, quanto ao conforto lumínico, buscaram-se informações junto aos projetistas da edificação.

Para isto, foi realizada uma entrevista (Apêndice 1) com o arquiteto Carlos Krebs, um dos autores do projeto desta edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas.

Nesta entrevista, buscou-se compreender as decisões projetuais tomadas, com vistas a um maior conforto lumínico para a edificação. Realizaram-se questionamentos a respeito do dimensionamento das aberturas, da prateleira de luz e, ainda, sobre o sistema de iluminação artificial, composto pelas luminárias, lâmpadas e circuitos.

Observou-se que, o sistema de iluminação natural foi basicamente decorrente de exigências normativas, devido às soluções adotadas para se obter um maior conforto térmico na edificação. Para a equipe de projeto, a iluminação seria um item mais “contornável”, que as questões relativas ao conforto térmico. Ou seja, não foi dispensada uma atenção especial às questões relativas ao conforto lumínico.

Para o arquiteto, a disposição dos blocos com esquadrias nas fachadas norte e sul, além de favorecer a ventilação cruzada, possibilitou que fossem mais exploradas as questões relativas à iluminação. Um exemplo disto é a existência da prateleira de luz, junto às janelas superiores da edificação, que, além de serem responsáveis pela exaustão do ar quente, foram projetadas de forma a incrementar a luminosidade no interior da edificação. Para o

entrevistado, esta prateleira além de refletir a luz incidente para o forro da edificação e deste para as áreas menos iluminadas, têm a função de barrar a penetração da radiação solar direta através das janelas superiores.

Para o dimensionamento da prateleira de luz foi utilizado o Programa de Gráfico Solar, da Universidade do Oregon, além do próprio desenho, via CAD, com o uso do VectorWorks 8.

Quanto ao sistema de iluminação artificial, foi projetado por um engenheiro eletricista, que teve como recomendações, além de atender aos níveis de iluminação exigidos por norma, a disposição das luminárias em três “linhas” (circuitos) e a utilização de luminárias para lâmpadas fluorescentes tubulares, de desempenho superior à média do que o mercado oferecia no momento e com um custo-benefício razoável.

Outro fator exposto pelo projetista é que no projeto luminotécnico não foi prevista uma iluminação específica para o quadro, tampouco a possibilidade de emprego de iluminação para telão e projetor – algo que hoje, segundo o arquiteto, certamente seria considerado.

4.3.1.6 Materiais e técnicas construtivas empregadas

Desde a etapa de concepção do projeto; até a execução da edificação, houve o cuidado permanente de priorizar o emprego de materiais e técnicas regionais, com menor impacto ambiental. Concomitante a esta prática, as técnicas empregadas buscaram otimizar os parâmetros de conforto ambiental, através do projeto arquitetônico e de medidas construtivas, como o do uso da iluminação e ventilação natural, captação e aproveitamento de água da chuva e reflorestamento com espécies florais nativas (SILVA, 2009).

- **Paredes e Pintura**

As paredes externas da edificação são de alvenaria dupla (tipo Eckert) portante, de tijolos maciços, com dimensões 21x10x5 cm (comprimento x largura x altura). Suas faces externas são aparentes e recebem pintura com hidrofugante (Figura 16a), enquanto as faces internas são revestidas com reboco e pintadas com tinta PVA (Figura 16b).

As divisórias internas da escola foram executadas em alvenaria de tijolos maciços, revestidos com chapisco, reboco, argamassa, cerâmica ou pintura. Foi feita com tinta PVA, nas salas de aula, e tinta epóxi, no interior dos laboratórios.

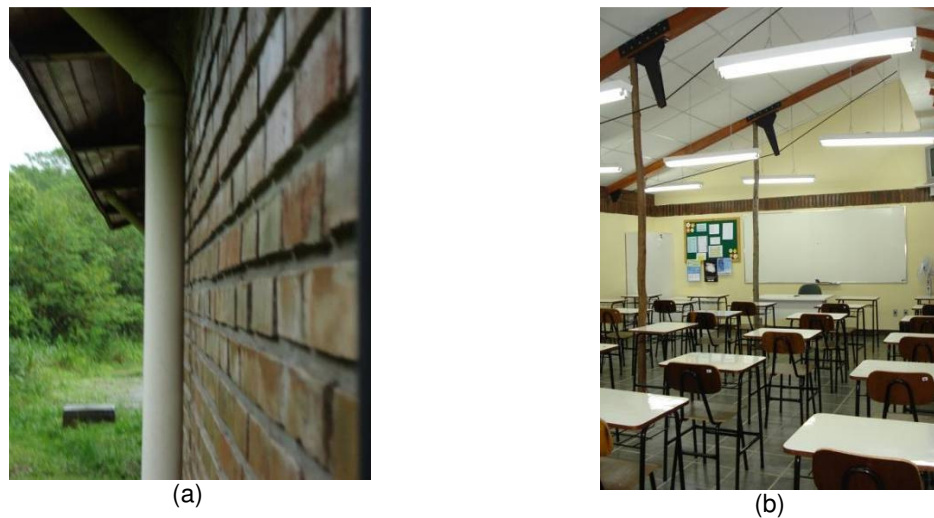


Figura 14: Tratamento das paredes externas (a) e internas da edificação (b).

- **Piso**

No piso externo foram utilizados tijolos maciços, dispostos em módulos com padrão “escama de peixe”, com borda externa de arremate em tijolos maciços dispostos em cutelo (Figura 17a).

O piso interno foi executado em placas cerâmica (eco-cerâmica), nas dimensões de 40x40cm PEI IV e 11x23cm (Figura 17b). Nas soleiras, utilizou-se basalto serrado.

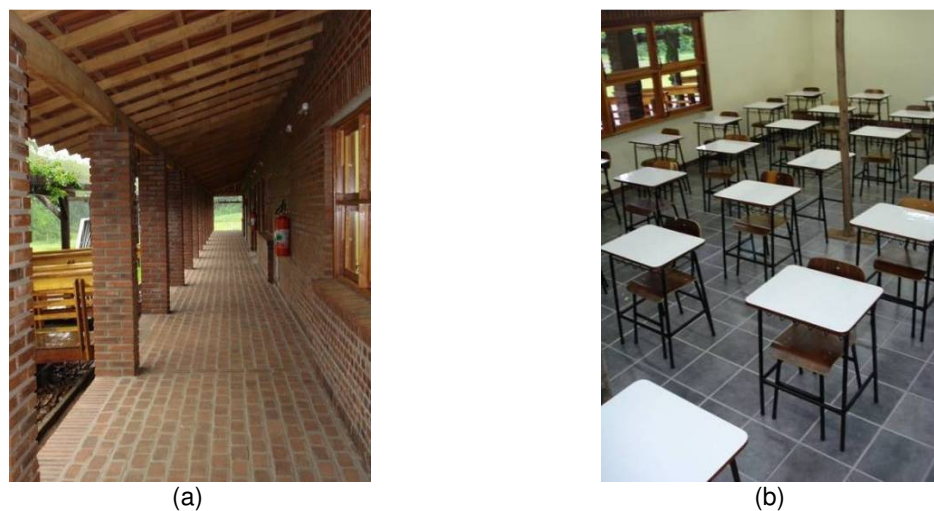


Figura 15: Tratamento do piso externo (a) e interno da edificação (b).

- **Esquadrias e vidros**

As janelas são de madeira de eucalipto de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*) com sistema basculante. Possuem um vidro simples de 3 milímetros e espera para um segundo vidro externo.

As portas são de Madeira Semi-Oca, em madeira de eucalipto de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*).



Figura 16: Esquadrias e vidros da edificação.

- **Forro e cobertura**

O telhado que cobre os blocos é de duas águas desencontradas (Figura 19), sendo uma, menor, voltada ao Norte e cobrindo a circulação externa (Figura 20a) e outra, maior, voltada para o Sul e cobrindo as Salas de Aula e Laboratórios (Figura 20b). Este desencontro das águas foi projetado para permitir o efeito de ventilação cruzada (efeito chaminé) e o uso de prateleiras de luz, junto às esquadrias superiores das salas de aula e laboratórios.



Figura 17: Telhado de águas desencontradas.



(a)



(b)

Figura 18: “Água norte” do telhado, protegendo a circulação externa (a). “Água Sul” cobrindo as salas de aula e proporcionando a ventilação cruzada por efeito chaminé e a utilização de prateleira de luz (b).

Para a estrutura de sustentação dos telhados foi utilizada madeira de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*); já, para o forro, placas de fibra mineral foram dispostas de forma regular, acompanhando o caimento do telhado. Com o intuito de contribuir para a climatização natural da edificação, foram colocadas chapas de alumínio reutilizado (chapa de *offset*), entre o forro e as telhas (Figura 21).



Figura 19: Detalhe da utilização de chapas de alumínio (offset) entre o forro e as telhas.

4.3.1.7 Sala de aula analisada

A sala de aula escolhida para ser estudada neste trabalho encontra-se no centro do bloco D e possui características físicas bastante semelhantes às demais deste bloco (Figura 22).

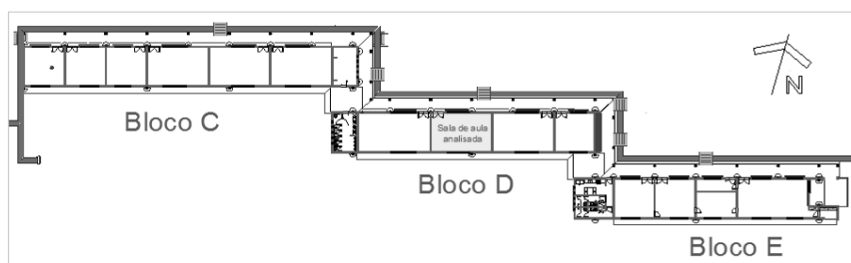


Figura 20: Localização da sala de aula analisada.

O acesso à sala de aula é dado através de uma circulação coberta, existente ao longo da fachada norte da escola (Figura 23). Esta circulação, além de ligar este bloco aos demais, protege a fachada contra a radiação solar direta.



Figura 21: Localização da sala de aula analisada.

Junto à fachada sul (Figura 24), a sala de aula não apresenta nenhum tipo de proteção, apenas uma massa de vegetação a uma distância aproximada de 5 metros.



Figura 22: Fachada Sul.

A área útil da sala de aula em questão é de 54m² (6 metros de largura x 9 metros de comprimento). Devido à inclinação do forro de cobertura, o pé-direito vai de 2,55m no seu ponto mais baixo, localizado junto à fachada Sul, até 4,58m no seu ponto mais elevado, junto à fachada Norte.

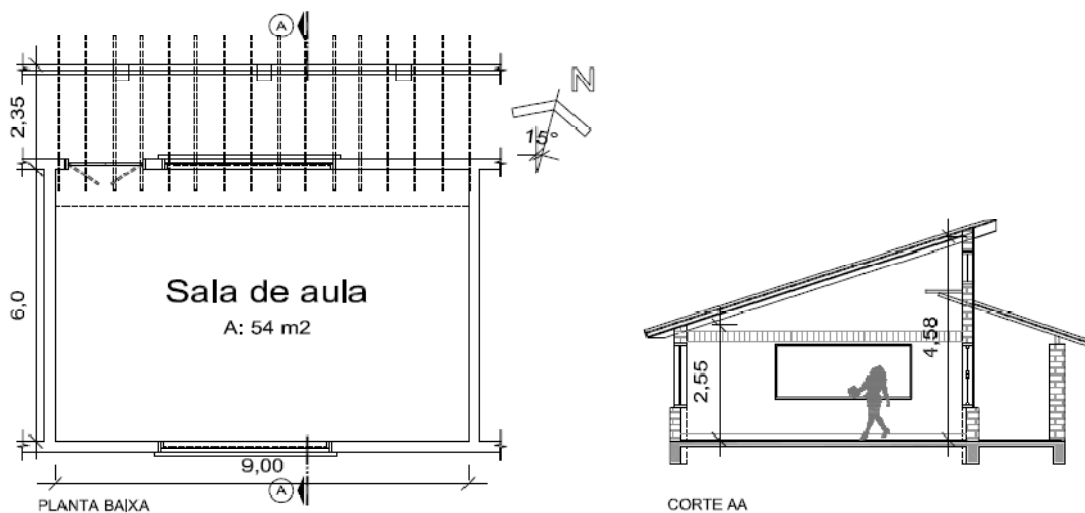
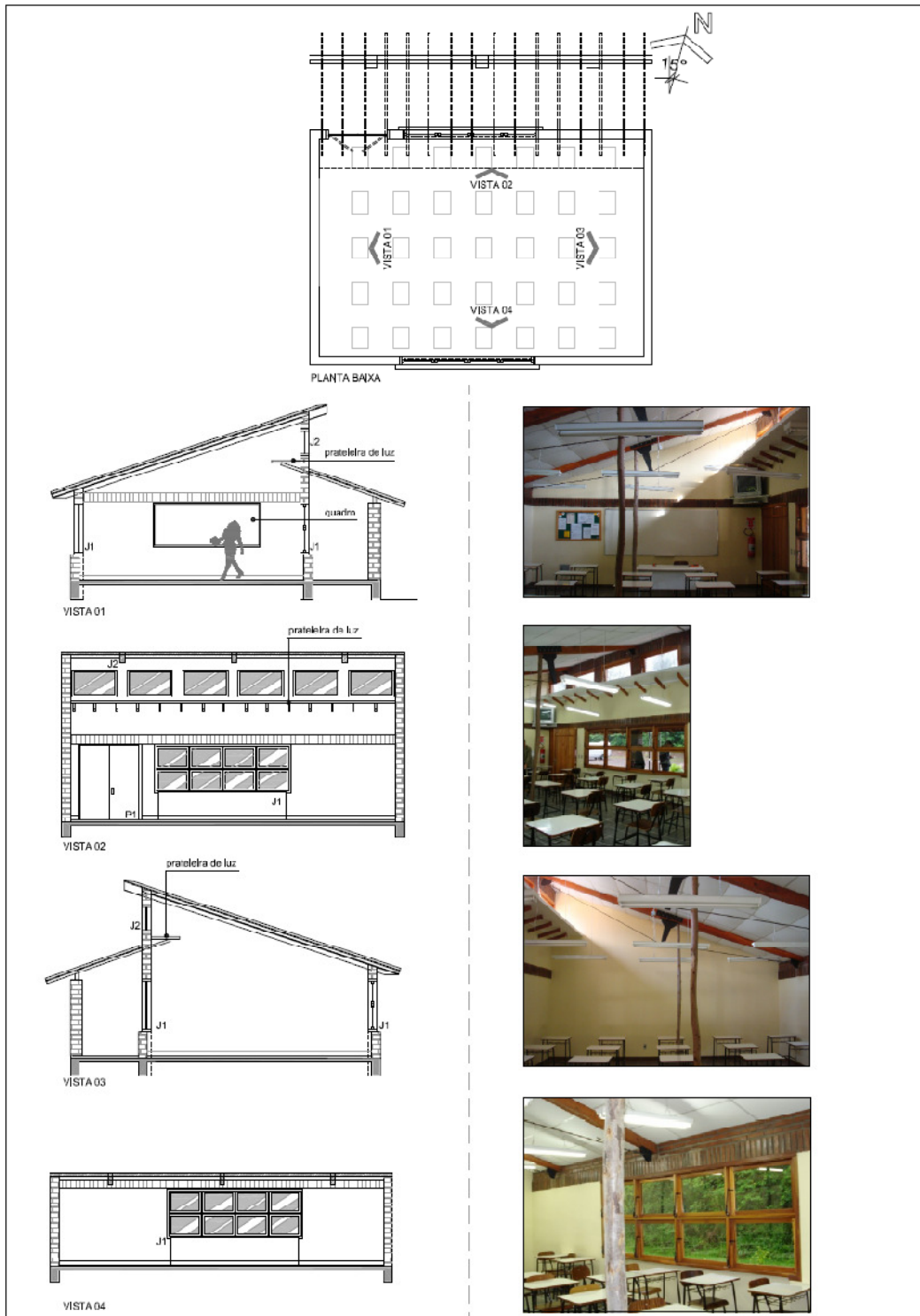


Figura 23: Planta baixa e corte da sala de aula analisada.

Na tabela abaixo são apresentadas vistas e imagens internas da sala de aula demonstrando os elementos que a compõem.

Tabela 2: Vistas e imagens da sala de aula analisada.



Na vista 1, observa-se que o quadro destinado ao uso do professor está localizado na parede oeste da sala de aula. Este quadro possui cor branca, superfície lisa relativamente

brilhosa. Assim como as demais paredes, a parede onde está fixado o quadro é de cor clara e possui uma faixa decorativa de tijolos aparentes (salvo a parede leste).

Junto à parede norte (vista 2), está localizada a porta de acesso, executada em duas folhas de madeira; a janela baixa, que faz comunicação com a circulação coberta; e a janela alta, que contribui, tanto para a iluminação quanto para a ventilação da sala de aula.

A parede leste (vista 3) é “cega”, não possui aberturas e assim, como a oeste, faz divisa com as demais salas do bloco.

Na fachada sul, encontra-se outra janela de altura baixa, com as mesmas dimensões da localizada na fachada norte. Através desta abertura pode-se visualizar o maciço de vegetação, existente à cerca de 5 metros da edificação.

O mobiliário que compõe a sala de aula são as classes, cadeiras e um armário auxiliar. As classes são de fórmica, alto brilho, na cor branca, e possuem sua estrutura de ferro pintado de preto. As cadeiras, de estrutura semelhante às classes, possuem assento e encosto de madeira.

O forro inclinado, executado em placas de fibra mineral e, temporariamente, apoiado por escoras de madeira, devido a um problema estrutural, serve para a fixação e suspensão das luminárias.

4.3.1.8 Caracterização do uso da edificação escolar

Desde o final das obras da edificação, em 2007, a escola tem funcionado, mesmo que parcialmente construída. Até a data da última visita à escola (21 de junho de 2010), contava com um quadro técnico de 08 professores, um quadro administrativo de 02 servidores e 03 estagiários que, em conjunto, coordenam as atividades de duas turmas. Uma turma era de 30 alunos e a outra, de 26 alunos, ambas compostas por estudantes de faixa etária de 18 a 40 anos.

O funcionamento da escola dá-se no turno da tarde e da noite. No entanto, no instante, as aulas estavam sendo ministradas somente no turno da noite.

4.3.2 Caracterização das ferramentas de análise lumínica

A seguir serão caracterizadas as ferramentas utilizadas na análise do desempenho lumínico da sala de aula. Primeiramente, serão abordadas aquelas utilizadas na análise da incidência da radiação solar na edificação, na análise das aberturas e prateleiras de luz existentes e na análise do sistema de iluminação artificial. Posteriormente, será abordado o método de medição *in loco*, utilizado para verificar as condições de iluminação interna da edificação e,

posteriormente, será apresentado o software utilizado na simulação da sala de aula e na análise e teste dos principais componentes influentes no seu desempenho lumínico.

A escolha destas ferramentas se deu conforme a facilidade de acesso às mesmas, por parte do público em geral, e devido ao seu reconhecimento e validação junto à comunidade de pesquisadores, no campo do conforto ambiental.

4.3.2.1 Analysis SOL-AR 6.2

Para analisar a luz solar incidente pelo caminho do céu visível, através das esquadrias da sala de aula analisada, foram utilizados dados obtidos junto ao software Analysis SOL-AR 6.2 (LABEE,2009).

Este programa, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina, e disponível no Banco Internacional de Objetos Educacionais do Ministério da Educação (<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/7584>), permite a obtenção da carta solar de uma latitude específica e, ainda, auxilia no projeto e análise das proteções solares propostas, através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos, para qualquer ângulo de orientação.

Para as cidades existentes no seu banco de dados, o programa também proporciona informações a respeito da frequência de ocorrência e da velocidade média dos ventos para cada estação do ano e em oito orientações (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO).

Para a utilização do software são necessários os seguintes dados de entrada: latitude do local e ângulos das proteções horizontais e verticais.

Os resultados gerados neste programa são basicamente visuais e decorrem da análise de gráficos, como os abaixo ilustrados:

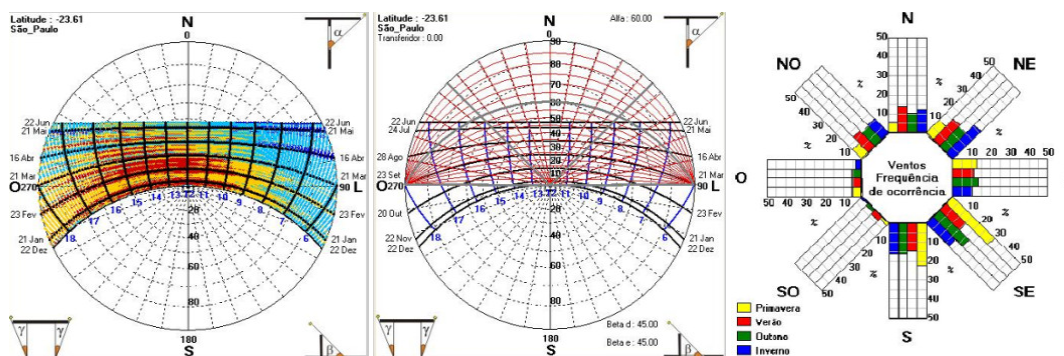


Figura 24: Exemplo de gráficos gerados a partir do Programa SOL-AR 6.2

4.3.2.2 Luz do Sol 1.1

De forma a considerar as obstruções externas existentes, foi utilizado o programa Luz do Sol 1.1 (RORIZ, 1995), disponibilizado pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>).

Este programa estima o Calor e Luz provenientes do Sol. Além de fornecer cartas solares, transferidores auxiliares e gráficos de radiação solar, possibilita a geração de gráficos, a respeito da incidência solar sobre as superfícies internas de uma edificação, para qualquer data, hora e azimute solar, levando em consideração a latitude do local, nebulosidade, posição e tamanho das aberturas, elementos de proteção solar e, ainda, a existência de barreiras externas. A interface do programa é bastante simples e os resultados basicamente visuais, conforme se pode observar abaixo:

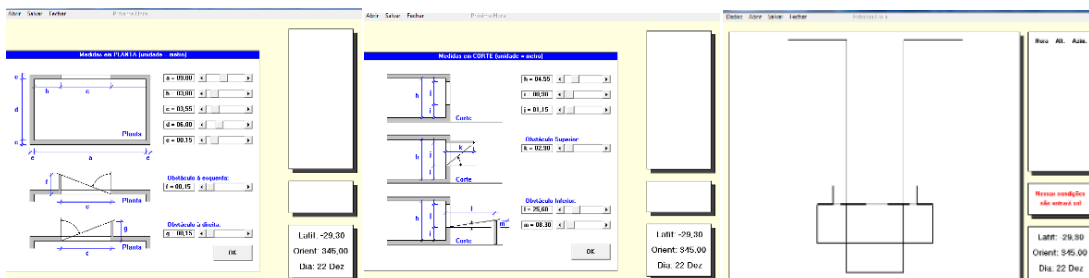


Figura 25: Interface e gráficos do programa Luz do Sol 1.1

4.3.2.3 Método de medição *in loco*

Devido à luz natural poder ser quantitativamente manipulada, através da análise das iluminâncias internas e da relação destas com um valor obtido externamente à edificação (o chamado fator de luz natural ou daylight factor), o método utilizado nesta pesquisa buscou a medição e obtenção destes valores. Para isto, foi utilizado, como referência, o método de medições de iluminância em ambientes reais, proposto pela Norma Brasileira NBR 15215-4 (ABNT, 2004).

Este método, ao avaliar as condições de iluminação natural do ambiente construído, leva em consideração as condições de céu real e, por isso, recomenda que as medições sejam realizadas em diferentes horas do dia (de duas em duas horas, a partir do horário de expediente) e em diferentes épocas do ano (em um dia próximo ao solstício de verão e em um dia próximo ao solstício de inverno).

Neste estudo as medições ocorreram, tanto nos dias próximos aos solstícios de inverno e verão (22 de dezembro e 21 de junho), como em uma data próxima ao equinócio de outono

(18 de março de 2010). Quanto aos horários das medições, estas ocorreram durante o período de funcionamento da escola e de duas em duas horas: às 8:00 horas, 10:00 horas, 12 horas, 14 horas, 15:30 horas e 17:00.

Um dos procedimentos recomendados pela NBR 15215-4 (ABNT, 2004), é a consideração da quantidade de luz no ponto e plano de trabalho onde a tarefa é executada, seja ele horizontal, vertical ou em qualquer outro plano. Assim, de maneira a caracterizar a iluminância nos planos de trabalho da sala de aula analisada, foram considerados pontos sobre as classes e o quadro.

A quantidade de pontos considerados também foi definida conforme o recomendado pelo método de medição de iluminâncias em ambientes reais (ABNT, 2005). Segundo este, a quantidade de pontos é obtida em função da largura (L), comprimento (C) e distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela (Hm):

$$K = \frac{C \cdot L}{Hm \cdot (C+L)} \quad (\text{Eq. 4})$$

A partir do resultado obtido na equação acima, recorreu-se à tabela abaixo, onde a quantidade mínima de pontos a serem medidos foi definida e distribuída, equidistantemente, em uma malha. Esta malha deve estar afastada, no mínimo, 50 centímetros das paredes:

Tabela 3: Quantidade mínima de pontos a serem medidos.

K	Nº de Pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: NBR 15215-4 (ABNT, 2005)

Devido ao valor de K obtido, com base no exposto acima, ser maior que 2 e menor que 3, utilizou-se, neste estudo uma malha de 35 pontos (Figura 28). A altura do plano de trabalho considerada nesta medição foi a altura da mesa dos alunos, ou seja, 75cm acima do nível do piso interno das salas de aula.

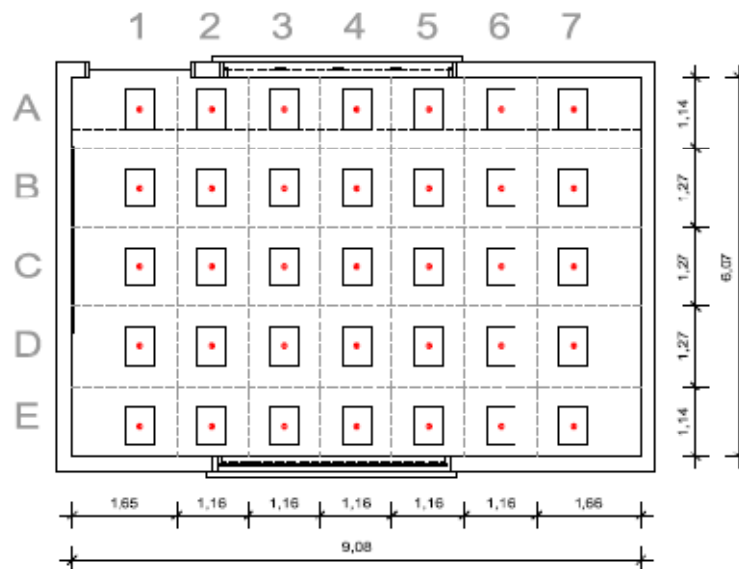


Figura 26: Malha de pontos sobre as mesas dos alunos.

De forma a avaliar a contribuição do sistema de iluminação artificial para os níveis de iluminância da sala de aula, utilizou-se a mesma malha supracitada. Quanto ao quadro, foram considerados cinco pontos distribuídos na sua superfície, como demonstrado na figura abaixo:

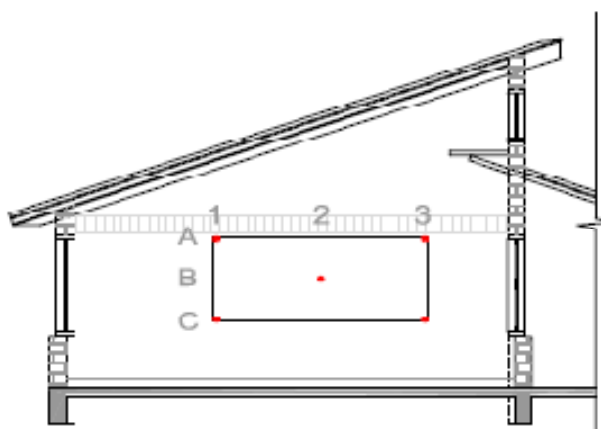


Figura 27: Pontos sobre a superfície do quadro negro.

Para se obter uma melhor caracterização do desempenho lumínico desta sala de aula, além das medições internas, foram realizadas medições externas. Desta forma as medições ocorreram da seguinte forma:

Em cada hora foi feito um conjunto de medições de iluminância. Primeiramente, realizava-se uma medição externa e depois se partia para a medição, ponto-a-ponto, da malha

demonstrada anteriormente (sobre as classes e sobre o quadro). Após, realizava-se novamente uma medição externa para, então, acender as luzes internas e realizar, novamente, as mesmas medições sobre os planos de trabalho.

Importante ressaltar que, assim como recomendado na norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005), houve o cuidado constante no nivelamento da fotocélula e na não incidência de sombras geradas pela posição das pessoas com relação a esta. Isto foi obtido com a colocação da fotocélula sobre a superfície de trabalho e com o “agachamento” do indivíduo que efetuava a medição.

Desta forma, duas pessoas foram necessárias durante as medições: uma para fazer as medições e outra para anotá-las na folha de medição (Apêndice B).

Quanto ao aparelho empregado para as medições, foi utilizado o Luxímetro Digital Portátil modelo LX13308 (Figura 22), recentemente adquirido e calibrado. Este aparelho indica a Iluminância, em lux, em uma escala que vai de 0 à 200.000 lux (duzentos mil lux).



Figura 28: Luxímetro Digital Portátil modelo LX13308

Segundo orientações da norma NBR 15215-4 (ABNT, 2004), ao realizar as medições de iluminância externa na condição mais desobstruída possível, o sensor foi protegido da incidência direta de raios solares. Para realizar esta proteção, utilizou-se um dispositivo para sombreamento do mesmo.

- **“Medição piloto”**

A “medição piloto” foi realizada no dia 15 de outubro de 2009. Neste dia, foram realizadas algumas medições com vistas à familiarização do pesquisador para com o método de medição e com o manuseio do luxímetro.

Devido ao método de medição ter sido ajustado depois daquela data, os resultados obtidos naquela ocasião se tornaram pouco representativos e tiveram, assim, que ser excluídos desta avaliação e, portanto, não estão expostos nesta pesquisa.

4.3.2.4 Relux

De maneira a analisar a sala de aula e alguns de seus elementos conformadores, foi utilizado o software de simulação Relux, desenvolvido pela empresa Suíça Relux Informatik AG.

Através do uso desta ferramenta, buscou-se simular a sala de aula e analisar alguns elementos que se destacaram na avaliação do seu desempenho lumínico, como a prateleira de luz existente e o sistema de iluminação artificial. Assim, a partir das simulações, pôde-se testar e simular estes componentes, sob diversas condições de uso.

Segundo Christakou (2004), para se justificar o uso de ferramentas de simulação em projetos de iluminação, estes softwares devem permitir: a análise da distribuição da luz, através da visualização do ambiente; a previsão do Fator de Luz Diurna, no interior da edificação; a determinação dos níveis de iluminância em pontos específicos e sob diferentes condições de céu; a avaliação dos índices de conforto visual; a previsão de potencial de economia de energia, pelo uso da luz natural; o controle de penetração dos raios solares e a visualização da dinâmica do comportamento da luz solar e a avaliação da interação entre a luz e o espaço arquitetônico.

Desta forma, a escolha do software Relux se baseou no atendimento dos fatores acima mencionado e, ainda, na facilidade de acesso a esta ferramenta, que pode ocorrer através do seu download gratuito na internet (www.relux.biz) e, no seu reconhecimento junto à comunidade de pesquisadores, como ferramenta de simulação de luz natural e artificial, que considera tanto as características físicas da edificação, como o seu local de implantação, orientação solar e existência de obstruções externas.

Em um estudo comparativo entre softwares de simulação de luz natural, Christakou (2005) destacou pontos negativos e positivos de cada uma destas ferramentas e considerou o Relux um programa adequado para ser utilizado por projetistas de iluminação, devido à sua interface, precisão, confiabilidade e possibilidade de resultados.

Conforme recomendado por Amorim e Christakou (2009), os resultados de simulação de iluminação natural podem ser validados através da comparação dos dados obtidos na simulação, com aqueles obtidos no edifício real. Desta forma, foram feitas simulações para todas as datas em que foram realizadas medições in loco e sob as diferentes condições de céu possibilitadas pelo software, encoberto padrão CIE e claro padrão CIE. Os resultados indicaram a simulação do dia 22 de dezembro, sob condição de seu encoberto, a mais próxima do medido in loco. Este fato pode ser justificado devido à condição do céu ter permanecido encoberta ao longo do dia de medição, diferente das demais que foram

realizadas sob céu claro e que sofrem maior influência da radiação solar direta e de variações na sua luminosidade. Porém, é importante ressaltar que a comparação direta dos valores simulados com aqueles obtidos *in loco* deve ser realizada com cautela, devido às características do céu real e do simulado dificilmente serem semelhantes.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos quanto ao desempenho lumínico da sala de aula estudada. Inicialmente, serão apresentados os elementos conformadores da sala de aula, que contribuem para este desempenho e os resultados das medições lumínicas *in loco*. Após, os resultados serão analisados, comparados e relacionados com as intenções projetuais dos autores da edificação e, por fim, alguns elementos serão abordados e algumas alterações serão propostas e testadas.

5.1 A SALA DE AULA

A seguir, alguns elementos serão apresentados e analisados, conforme suas características e propriedades que influenciam no desempenho lumínico da sala de aula em estudo.

5.1.1 Esquadrias

As esquadrias de madeira de reflorestamento (*Eucalyptus saligna*), detalhadas na tabela abaixo, localizam-se, tanto na fachada Sul, como na fachada Norte. Como pode se observar na Vista 1, junto à fachada sul está localizado um módulo de 8 janelas basculantes (J1), com peitoril de 76cm, largura de 381cm e altura de 137cm. Já, na fachada norte, Vista 4, encontram-se: a porta (P1) de acesso à sala de aula, executada em duas folhas de 82cm x 210cm, um módulo de 8 janelas (J1) basculantes, com medidas similares à da fachada sul, e 6 janelas (J2) basculantes de 139cmx87cm, à uma altura de 352cm.

Tabela 4: Tipologia das aberturas

Esquadria	Tipo	Dimensões Lxh/peitoril (cm)	Desenho vista frontal
J1	Basculante	381x137/ 76	<p>Diagrama de uma janela basculante J1 com dimensões e materiais especificados. O diagrama mostra uma janela com 8 panos (2x4) e um peitoril. As dimensões são: largura total de 381 cm (com 76 cm de peitoril) e altura total de 137 cm. Os materiais são madeira de eucalipto de reflorestamento e vidro simples de 3mm.</p> <p>Legenda: Madeira de eucalipto de reflorestamento Vidro simples (3mm)</p> <p>Dimensões detalhadas no diagrama: - Largura total: 381 cm (com 76 cm de peitoril) - Altura total: 137 cm - Largura de cada pano: 78 cm - Largura do peitoril: 76 cm - Altura de cada vidro: 49 cm - Espaçamento entre panos: 6 cm</p>

Esquadria	Tipo	Dimensões Lxh/ peitoril (cm)	Desenho vista frontal
J2	Basculante	139x87/ 352	
P1	Abrir (2 folhas)	117x216	

É através destas aberturas que a luz, seja ela direta ou difusa, penetra no interior da sala de aula analisada.

5.1.1.1 Luz difusa através das esquadrias

Ao considerar dois pontos da sala de aula, um, sobre uma classe próxima à fachada sul e outro, sobre uma classe próxima da fachada norte, puderam-se realizar as seguintes análises a respeito da luz difusa presente no interior da sala de aula:

- Componente do céu (SC) - Conforme pode ser observado na Figura 31, a parcela de céu visível através da esquadria da fachada sul é pequena, devido à existência de uma barreira de vegetação a 5 metros da edificação. Enquanto, junto à fachada norte, a SC através da esquadria alta é considerável, ao contrário do que ocorre na janela baixa desta mesma fachada que, por ser protegida por um grande beiral, não possui visibilidade do céu.
- Componente de reflexão externa (ERC) - A existência de uma vegetação abundante - próximo à fachada sul e a extensa área verde no perímetro da edificação, faz com que a ERC seja composta principalmente pela reflexão da luz incidente nestas superfícies.
- Componente de reflexão interna (IRC) - Depende diretamente da capacidade de reflexão e das condições de uso/manutenção das superfícies existentes no interior dos ambientes, como o piso, teto e parede. No caso da sala de aula analisada, a prateleira de luz existente na fachada norte e as classes também são responsáveis por uma parcela da componente de reflexão interna.

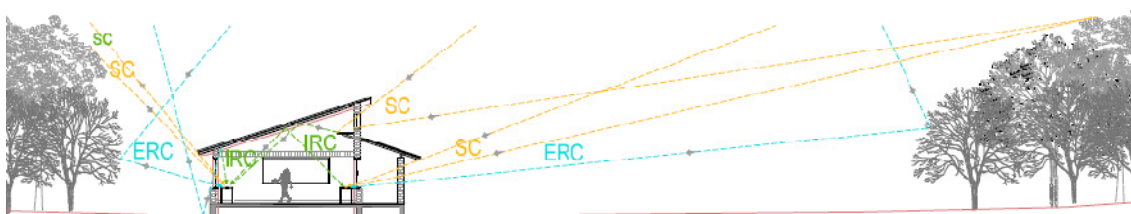


Figura 29: Esquema da incidência da luz natural, através das esquadrias da sala de aula analisada, sobre dois pontos considerados: um próximo à fachada norte e outro próximo à fachada sul.

5.1.1.2 Luz solar direta através das esquadrias

Luz solar direta é a luz que chega diretamente do sol, quando não há cobertura de nuvens. Esta penetra através das aberturas e, depende tanto da latitude geográfica do local, da parcela de céu visível no ponto considerado, como da altura solar, correspondente a cada hora e data do ano.

Para analisar a luz solar incidente pelo caminho do céu visível, através das esquadrias da sala de aula analisada, foram utilizados dados obtidos junto ao software Analysis SOL-AR 6.2 (<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>), e, de forma a considerar as obstruções externas existentes, foi utilizado o programa Luz do Sol 1.1, disponibilizado pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>).

Abaixo, encontram-se os resultados obtidos através da utilização destes softwares na análise individual de cada abertura da sala de aula. Nesta análise, a posição e dimensão de cada janela, os elementos de proteção solar (beiras) e as obstruções externas (maciços de vegetação) foram considerados.

- Janelas superiores (J2) - Através das janelas superiores localizadas na fachada norte, a radiação solar penetra, principalmente, no período da tarde dos equinócios de primavera e outono, durante todo o dia do solstício de inverno e, em nenhum horário do solstício de verão. Este fato ocorre devido, no verão, a altura solar ser maior e fazer com que o beiral que protege estas aberturas ser mais eficiente, ao contrário do que ocorre no inverno, quando a altura solar é mais baixa e o beiral não é capaz de proteger a abertura contra a incidência da radiação solar direta.

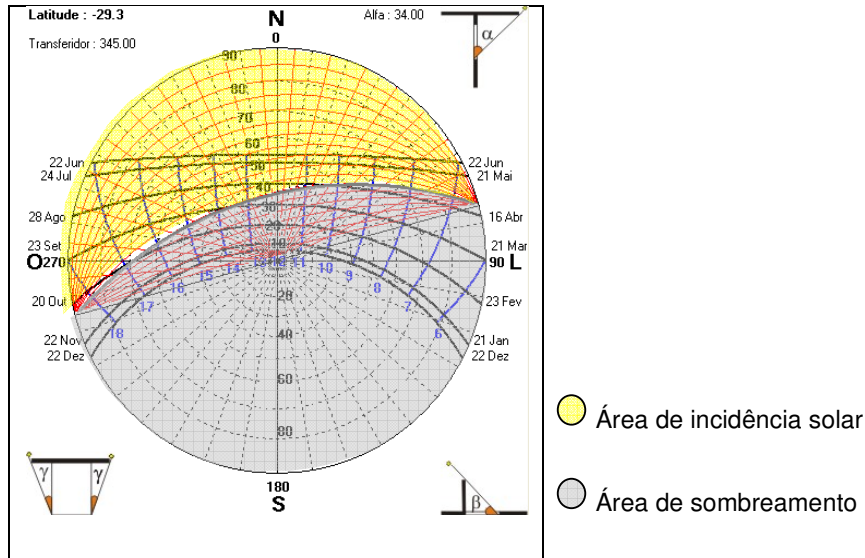


Figura 30: Carta solar da sala de aula analisada, com visualização da incidência solar direta sobre a esquadria superior da fachada norte. Fonte: Analysis Sol – Ar 6.2 (<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>).

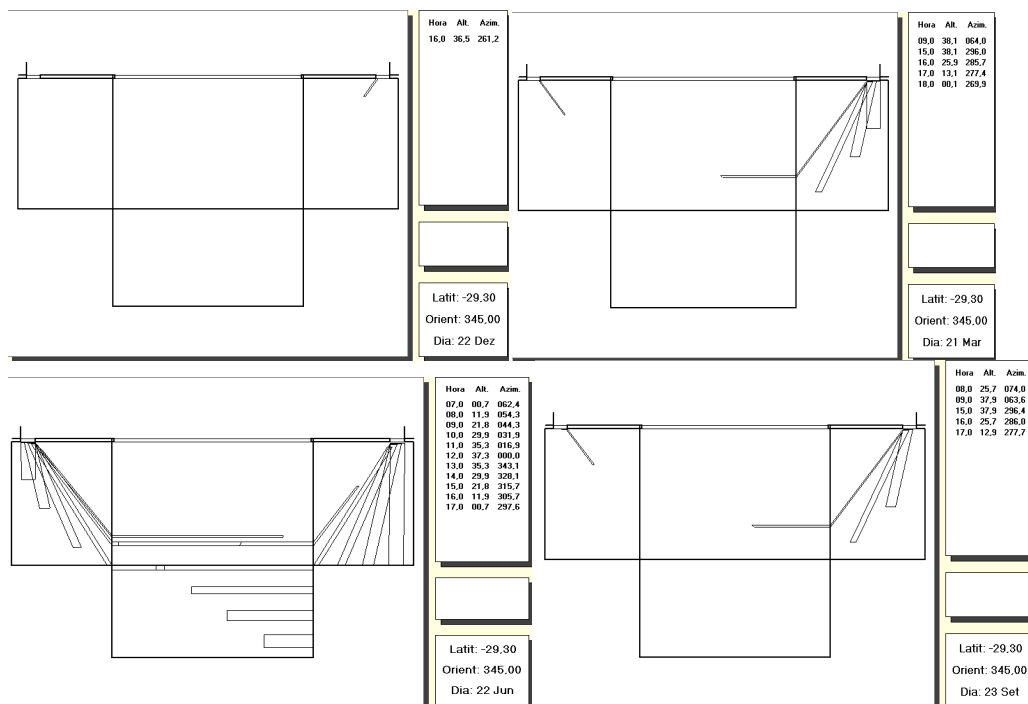


Figura 31: Gráficos com indicação da incidência da radiação solar direta, através da esquadria alta da fachada norte, sobre as superfícies internas da sala de aula nos equinócios de primavera e outono e nos solstício de inverno e verão, considerando a projeção do beiral. (<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>)

- Janela inferior (J1 / norte) Através da esquadria com peitoril de 76cm, localizada na fachada norte e protegida por um grande beiral, a incidência solar ocorre basicamente no -

final da tarde dos equinócios de primavera e outono e a partir das 15 horas do solstício de inverno, conforme apresentado na figura a seguir.

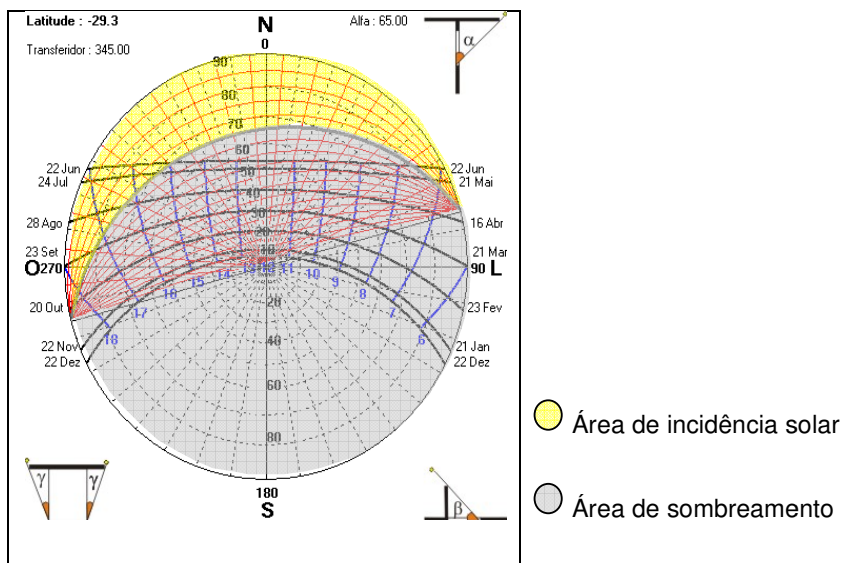
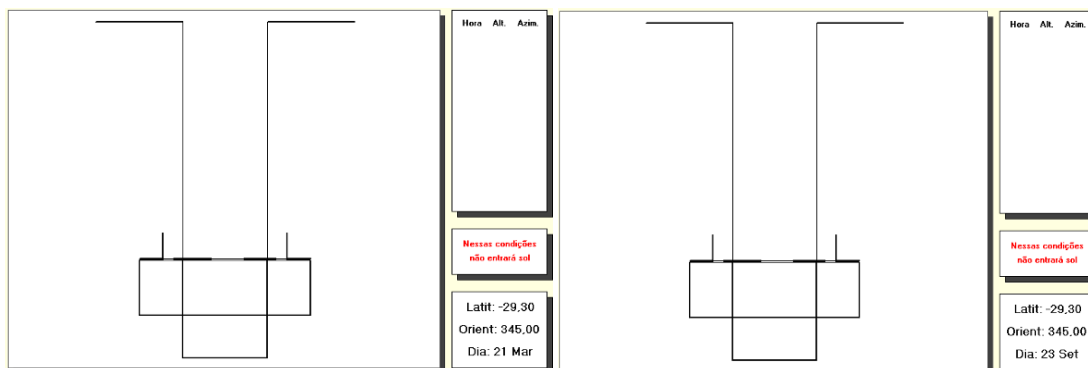


Figura 32: Carta solar da sala de aula analisada, com visualização da incidência solar direta sobre a esquadria inferior da fachada norte. Fonte: Analysis Sol – Ar 6.2 (<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>).

Porém, conforme observado em visitas *"in loco"* e confirmado através da utilização do software Luz do Sol, a existência de uma massa de vegetação, a 25 metros da edificação e a reduzida altura solar presente nos equinócios de primavera, outono e solstício de inverno, faz com que esta incidência de radiação solar direta, através da janela baixa da fachada norte, não seja percebida no interior da sala de aula (Figura 35).



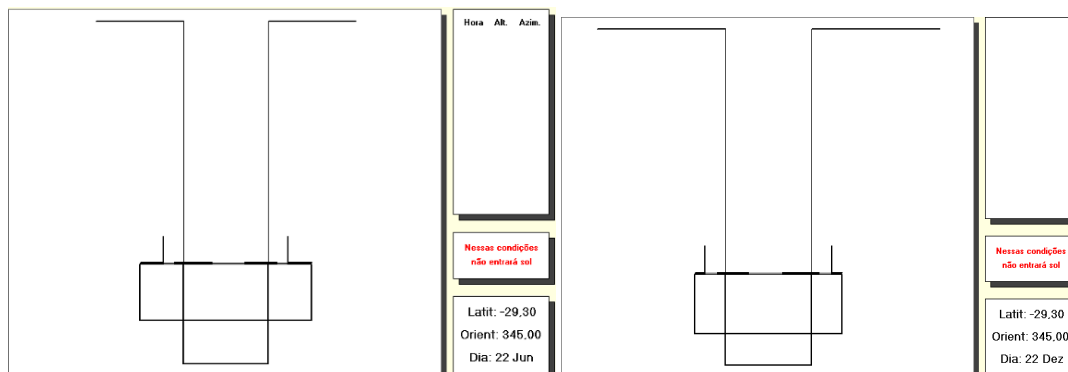


Figura 33: Gráficos com indicação da incidência da radiação solar direta, através da esquadria baixa da fachada norte, sobre as superfícies internas da sala de aula nos equinócios de primavera e outono e nos solstícios de inverno e verão, considerando o beiral e a barreira de vegetação externa. (<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>)

- Janela inferior (J1 / sul) - Ao analisar a janela localizada na fachada sul, observa-se que a luminosidade que penetra através desta esquadria é basicamente composta pela luz difusa proveniente da parcela de céu visível e pela componente de luz refletida no entorno. Já a parcela de luz solar direta, além de ser pouco expressiva nesta orientação solar, é barrada pela vegetação existente à 5 metros da edificação e pela projeção do beiral. Desta forma, a incidência da radiação solar direta ocorre apenas até as 9 horas da manhã do solstício de verão.

Caso esta vegetação inexistisse, haveria a penetração da radiação solar direta nas primeiras horas da manhã do solstício de inverno e equinócios de primavera e outono e no final da tarde do solstício de verão, conforme demonstra figura abaixo:

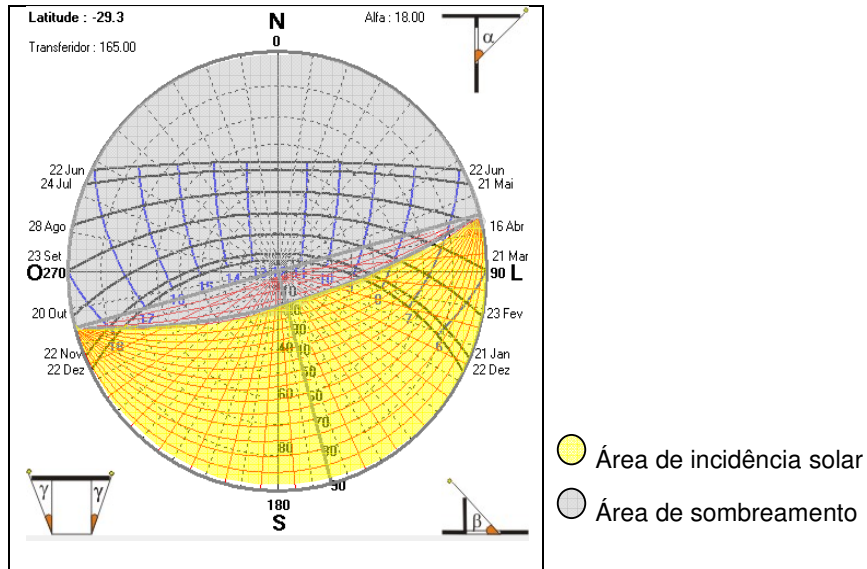


Figura 34: Carta solar da sala de aula analisada, com visualização da incidência solar direta sobre a esquadria da fachada sul. Fonte: Analysis Sol – Ar 6.2 (<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>)

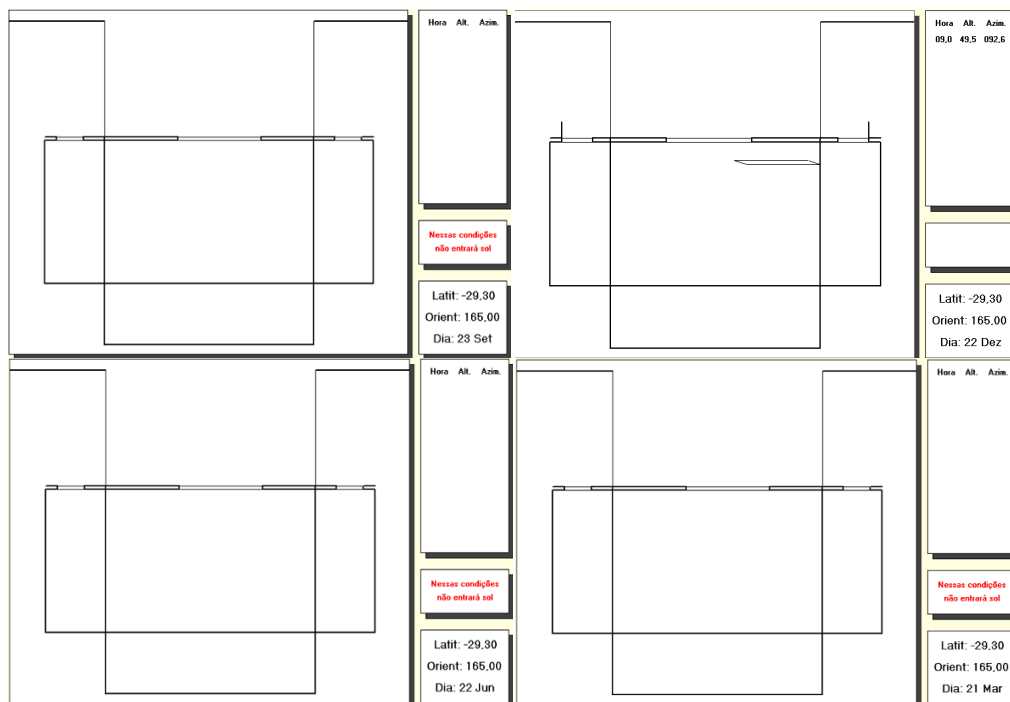


Figura 35: Gráficos com indicação da incidência da radiação solar direta através da janela baixa da fachada sul, sobre as superfícies internas da sala de aula nos solstícios de inverno e verão e nos equinócios de primavera e outono, considerando o beiral e a barreira de vegetação externa (<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>)

Na figura 38, um esquema geral mostra como ocorre a incidência da radiação solar direta através das esquadrias da sala de aula analisada, considerando os máximos e mínimos da altura solar, as proteções solares e as obstruções externas:

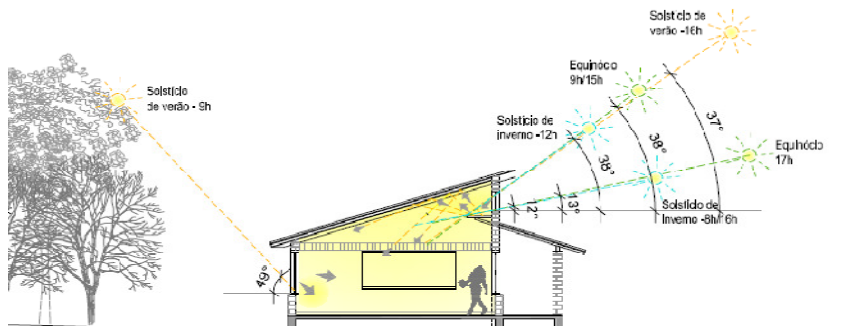


Figura 36: Esquema da incidência da radiação solar direta no interior da sala de aula.

Devido às esquadrias detalhadas e analisadas acima influenciarem, tanto na iluminação, quanto na ventilação natural da sala de aula, cabe aqui fazer um breve comentário a respeito do funcionamento do sistema de ventilação proposto.

A ventilação da sala de aula analisada é basicamente cruzada, ou seja, a localização de esquadrias, tanto na fachada norte, como na sul, facilita a circulação do ar através da sala. A localização de janelas superiores, junto à fachada norte, em conjunto com a incidência dos ventos predominantemente vindos do sudeste, busca facilitar a exaustão do ar quente através do chamado “efeito chaminé” e contribui para o conforto térmico do ambiente. (Figura 39).

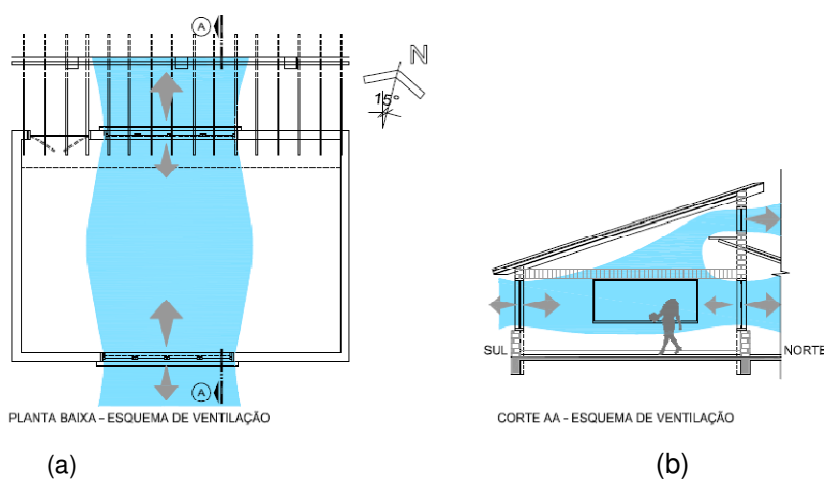


Figura 37: Esquema da ventilação cruzada (a) e por “efeito chaminé” (b) no interior da sala de aula.

Até a última visita à escola (dia 21 de junho de 2010), o uso das janelas superiores, como exaustor do ar quente da sala, não estava ocorrendo devido à inexistência de um dispositivo de abertura destas esquadrias, ao alcance dos usuários. Assim, a área de ventilação da sala de aula estava sofrendo grandes perdas, sem falar da conseqüente diminuição de conforto térmico para seus usuários.

Para finalizar a análise das esquadrias, estas terão suas áreas efetivas de iluminação e ventilação avaliadas, conforme as exigências do Código de Obras da Prefeitura Municipal de Feliz. O Artigo 89 deste código define que “a área dos vãos de iluminação e ventilação abertas para o exterior não poderá ser, para cada compartimento, inferior 1/5 da área útil do compartimento, quando este for destinado à permanência prolongada” (FELIZ, 1997, p.22 e 23).

Tabela 5: Relação das áreas de esquadria e de iluminação com relação à área de piso da sala de aula em análise.

Área de piso	Área de esquadria	Área efetiva de iluminação	Exigência do código de obras de Feliz/RS		e/p	e/p (%)	i/p	i/p (%)
P	e	i		(%)				
54m ²	15,94m ²	10,46m ²	1/5	20%	3/5	29%	1/5	20%

Conforme apresentado acima, tanto a relação da área de esquadria, como a área de iluminação efetiva, com relação à área de piso da sala, apresentam-se dentro do exigido no município, demonstrando percentagens da ordem de 29% e 20% respectivamente.

5.1.2 Prateleira de luz

Sob as janelas superiores da fachada norte da sala de aula analisada, existe uma prateleira de luz, de nove metros de extensão, por oitenta centímetros de largura. Esta prateleira foi projetada com o intuito de difundir a luz difusa e direta penetrante, através da janela superior da fachada norte e, ainda, impedir que radiação solar direta, cause ofuscamentos indesejados. Esta difusão da luz é dada a partir da reflexão da luz nas superfícies da prateleira e teto e depende das características de reflexão destas superfícies, assim como das condições de limpeza das mesmas. Na sala de aula analisada, tanto a prateleira de luz, como o forro, possuem superfícies claras, o que facilita a reflexão da luz; porém, observou-se um acúmulo de pó bastante considerável na superfície da prateleira, o que prejudica bastante o desempenho deste elemento.

Na sala de aula analisada observou-se um sombreamento na zona abaixo da sua localização e um aumento de iluminância nas partes mais profundas da sala, este fato

ocorre devido à janela abaixo da prateleira de luz ser protegida por um grande beiral, o que faz com que a luminosidade incidente seja barrada e o nível de iluminação desta zona seja baixo. Durante as visitas *in loco* este fato pôde ser observado, conforme apresentado na Figura 40.



Figura 38: Sombreamento causado pela prateleira de luz.

Através da simples análise visual das imagens acima, pode-se questionar a real eficácia destes elementos, enquanto potencializadores da iluminação natural no interior da sala de aula.







5.1.3 Refletâncias das superfícies internas

Devido à luz natural presente no interior das edificações ser, em parte, composta pela luz que entra através das aberturas e chega à um ponto em análise, após sua reflexão nas superfícies internas, é de grande relevância o conhecimento das características das superfícies internas de um espaço: o piso, as paredes e o teto. No caso da sala de aula analisada, algumas outras superfícies foram consideradas, como a da prateleira de luz, responsável pela reflexão da luz incidente através da esquadria superior da fachada norte, e as das classes dos alunos e quadro, superfícies nas quais a atividade principal é desenvolvida.

É importante ressaltar que em um ambiente de longa permanência e onde são executadas tarefas visuais intensas, o tratamento que é dado às superfícies internas, além de influenciar na reflexão da luz, irá contribuir para a existência de ofuscamento, devido ao contraste excessivo entre superfícies claras e escuras, brilhantes e opacas.

Com base na bibliográfica consultada, na tabela a seguir são apresentados os coeficientes de reflexão das paredes, piso, teto, prateleira de luz, classes e quadro da sala de aula em análise:

Tabela 6: Refletância aproximada das superfícies da sala de aula analisada

Superfície		Material/Cor	Coefficiente de reflexão (%)
Teto		Placa de fibra mineral branca	80%
Parede		Pintura amarela claro	70%
Piso		Cerâmica cinza escuro	25%
Prateleira de luz		Madeira com pintura branca	50%
Classes		Fórmica branca alto brilho	95%
Quadro		Fórmica branca, alto brilho	95%

Fonte: PEREIRA E SOUZA, 2005 e MASCARÓ, s/d apud VIANNA, 2007.

Com base no exposto no quadro acima, pode-se verificar que, no geral, as superfícies são claras, possibilitando uma boa reflexão da luz, salvo o piso de cor cinza. Porém, devido à parcela de luz refletida na superfície do piso ser a menos importante, numa análise geral, a cor utilizada não representa um problema.

Porém, uma maior atenção deve ser dada às superfícies de trabalho. Devido ao material de revestimento do quadro e das classes possuir um elevado nível de reflexão, ser liso e

brilhoso, foi observado *in loco* a presença de ofuscamentos indesejados nestas superfícies, o que acarreta em desconforto visual e dificuldade na realização das atividades por parte dos usuários da sala de aula.

5.1.4 Componentes do sistema de iluminação artificial

De forma a complementar a iluminação natural e possibilitar o uso da edificação no período noturno, o sistema de Iluminação artificial existente na sala de aula analisada é composto por 12 luminárias. Estas estão dispostas em quatro fileiras de três luminárias, sendo que, cada uma destas fileiras tem acionamento independente das demais, conforme ilustrado na figura a seguir:

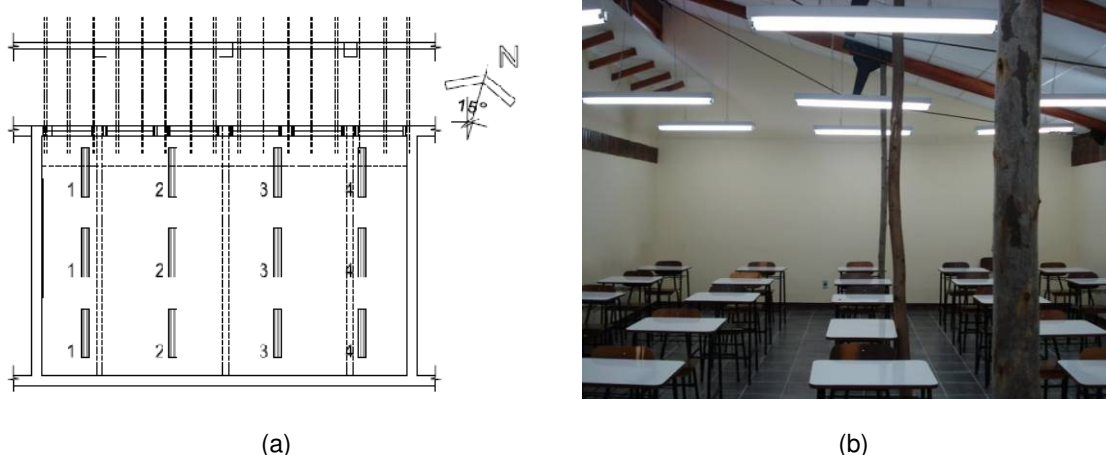

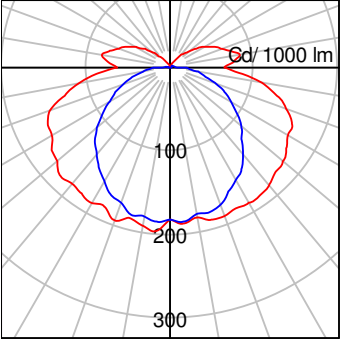


Figura 39: Localização das luminárias na sala de aula, com indicação dos circuitos de acionamento.

Cada luminária está instalada a uma altura de 2,47m do nível do piso e possui as seguintes características:

<p>Foto da luminária:</p> 	<p>Tipo da luminária: Luminária basicamente composta pelo receptáculo da lâmpada, não possui nenhum tipo de difusor, refletor ou lente</p> <p>Distribuição do fluxo luminoso: A forma com que este equipamento distribui o fluxo luminoso da lâmpada é “direta”, conforme demonstrado na curva fotométrica ao lado.</p> <p>Nº de lâmpadas por luminária: 02</p> <p>Tipo de Lâmpada: Fluorescente tubular T8 (lâmpada de descarga)</p>
<p>Curva fotométrica da luminária:</p>	

 <p>Fonte: Lumisoft (2011)</p>	<p>Potência de cada lâmpada:40W</p> <p>Fluxo luminoso de cada lâmpada: 2.500lm</p> <p>Temperatura de Cor:6.100K</p> <p>Índice de reprodução de cores: 70-79</p> <p>Equipamento auxiliar: Reator eletrônico</p> <p>Consumo total (lâmpadas + reator):78W/h</p> <p>Rendimento da luminária: 94%</p> <p>Fluxo luminoso total: 5.000lm – 6% = 4.700lm</p>
---	---

A partir da análise das informações acima e da análise visual das superfícies da sala de aula, observa-se que o tipo de luminária utilizada não é a ideal para este ambiente de trabalho. A exposição direta das lâmpadas, sem nenhum tipo de difusor ou refletor, causa ofuscamento aos usuários, seja pela visualização direta das fontes de luz, seja pela sua reflexão nas superfícies do quadro e classes.

Outro fator a ser observado é a disposição dos circuitos. Nota-se que o projeto elétrico não levou em consideração a presença da luz natural e a sua variação ao longo do dia. Esta situação poderia ter sido amenizada dispondo as luminárias em circuitos paralelos a estas fachadas, de forma a complementar a luminosidade natural e gerar maior economia no uso destas fontes consumidoras de energia.

Devido ao sistema, composto pelas duas lâmpadas e o reator, consumir 78W/h, foi feita uma estimativa do consumo de energia desta luminária, quando ligada pelo período de uma hora. O valor obtido foi de 0,07kWh, o correspondente à R\$0,026 reais (CEEE, 2011).

Considerando um cenário em que todas as luminárias estejam ligadas, o consumo, por hora, será de R\$0,312 reais; o correspondente à R\$2,49 reais, no caso de se utilizar o sistema de iluminação artificial ligado durante 8 horas. Estes valores devem ser considerados ao analisar o consumo de energia da sala de aula e a economia resultante da existência de circuitos independentes e projetados de acordo com as necessidades lumínicas do recinto.

Para analisar se o sistema de iluminação artificial existente supre as necessidades de iluminação da sala de aula nos horários em que a luz natural é inexistente, foi realizado um cálculo através do método dos lumens (Apêndice C). A partir deste cálculo, observou-se que a iluminância média obtida sobre a superfície de trabalho dos alunos é de cerca de 584lux e está acima do mínimo recomendado por norma (500 lux).

Pode-se observar, na figura abaixo, a homogeneidade resultante da distribuição das luminárias na sala de aula. Este gráfico foi obtido junto ao software do fabricante da luminária utilizada, que obtém seus resultados a partir do método dos lúmens e considera, tanto os dados do ambiente analisado, como da luminária escolhida.

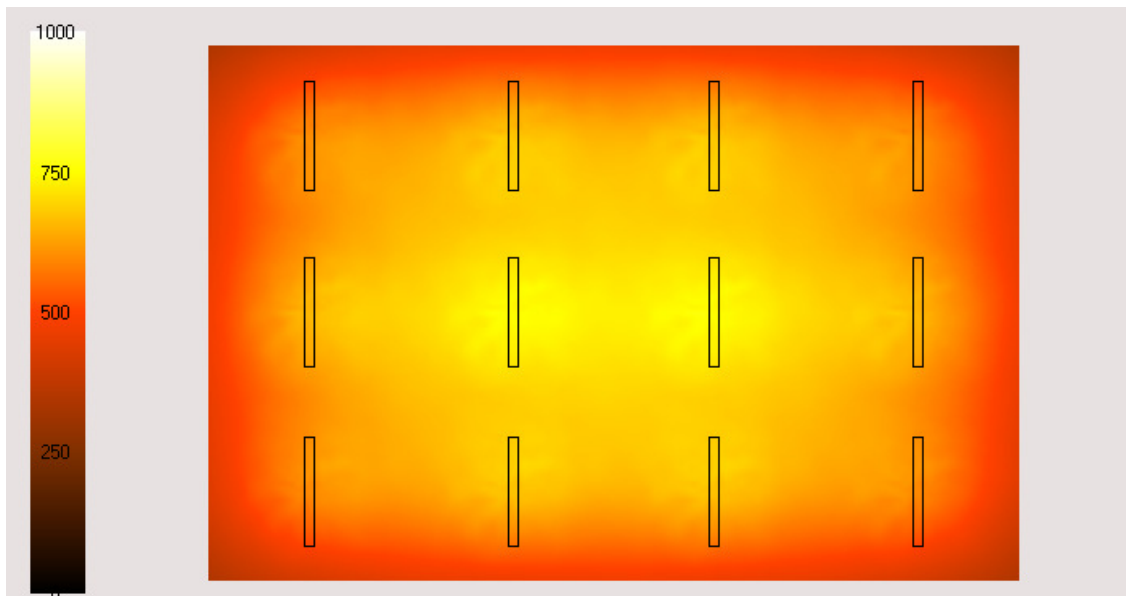


Figura 40: Distribuição das iluminâncias. Fonte: Lumisoft (2011)

Portanto, a iluminação artificial da sala de aula foi dimensionada corretamente, porém foi pensada e projetada de forma geral e homogênea. Seu projeto não considerou a presença e a distribuição da luz natural, não priorizou superfícies importantes de trabalho, como o quadro branco, e desconsiderou as situações diversas de uso deste espaço, como em dias de palestra e apresentações de trabalho, nas quais poderia haver diferentes soluções de iluminação.

5.2 MEDIÇÕES *IN LOCO*

A seguir serão apresentados os resultados das medições lumínicas, realizadas em datas próximas aos solstícios de verão e inverno e ao equinócio de outono.

5.2.1 Análise dos resultados: Solstício de Verão

Os resultados obtidos para o Solstício de Verão são decorrentes das medições lumínicas realizadas no dia 22 de dezembro de 2009.

Neste dia o céu permaneceu parcialmente nublado, com uma maior concentração de nuvens no período da manhã e alguns períodos de sol pela tarde. Na figura abaixo,

visualiza-se as imagens de uma pequena parcela do céu, registradas em cada horário de medição:

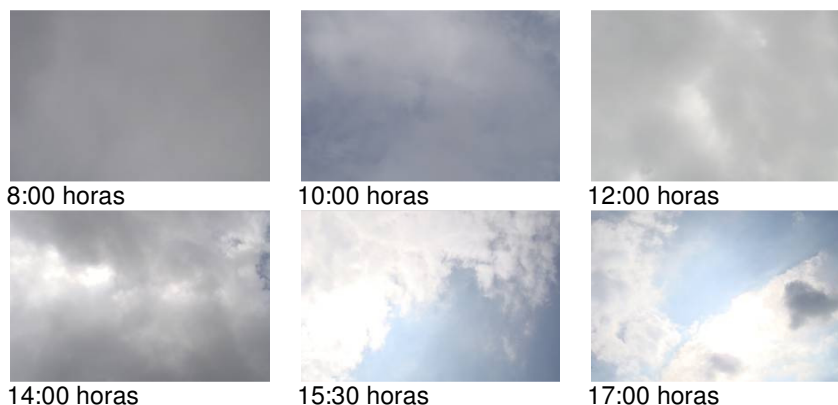


Figura 41: Condições do céu registradas no dia 22 de dezembro de 2009.

Abaixo estão expostos os valores de iluminância externa, obtidos em cada horário de medição. Para a obtenção destes valores, foram realizadas medições sobre um plano horizontal e com a fotocélula protegida da incidência direta da radiação solar, conforme recomendado pela norma brasileira NBR15215-4 (ABNT, 2004).

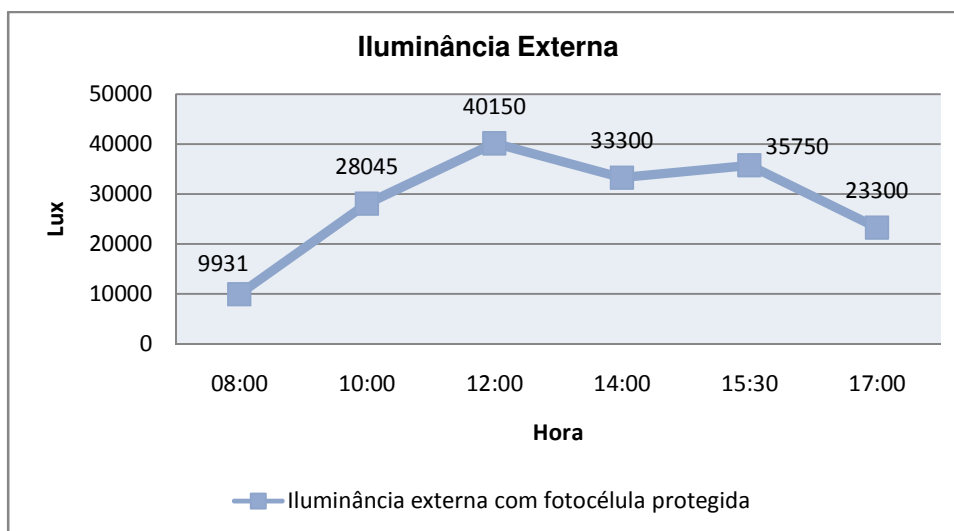


Figura 42: Gráfico com os valores de iluminância externa, obtidos na medição do dia 22 de dezembro de 2009.

No período da manhã, observaram-se os menores valores de iluminância externa, devido à maior concentração de nuvens nestes horários. Ao chegar ao meio dia, foi encontrado o maior registro de iluminância (40.150 lux), mesmo havendo certa concentração de nuvens no céu. Após este horário a iluminância permaneceu relativamente constante e ao redor dos 30.000 lux, enquanto que, na última medição, realizada às 17:00 horas, houve um

decréscimo de cerca de 10.000 lux, fato que pode ser atrelado à menor altura solar correspondente a este horário.

As medições internas foram realizadas sobre dois planos de trabalho distintos e sob duas condições de uso: com apenas iluminação natural e com o uso desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

O primeiro plano, que fornece uma visão geral sobre as condições de iluminância no interior da sala de aula, é o que considera uma malha de 35 pontos, a uma altura de 75 cm, ou seja, é o plano das classes dos alunos. Esta malha foi pré-definida, conforme indicado na Norma NBR15215-4 (ABNT 2004) e exposto no capítulo referente à caracterização do método de medição. O outro plano considerado é o do quadro negro, que teve 5 pontos de sua superfície analisados.

5.2.1.1 Medições sobre o plano de trabalho: classes

Nas tabelas a seguir estão identificados os valores de iluminância obtidos ao longo do dia 22 de dezembro de 2009, correspondentes àqueles encontrados sobre as classes dos alunos, dispostas em uma malha de 35 pontos, sob influência apenas da luz natural e sob influência desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 22/12/2009 Hora: 8:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	28	60	90	79	60	32	29
B	47	62	64	59	47	44	39
C	45	48	49	46	45	41	36
D	48	55	58	62	56	48	40
E	70	225	500	475	367	51	38
iluminância média [lux]							90
coeficiente de uniformidade							0,31

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 22/12/2009 Hora: 08:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	274	335	394	367	388	398	371
B	404	426	459	453	458	463	439
C	452	455	478	441	488	480	460
D	441	460	470	456	476	470	453
E	395	512	769	801	760	442	415
iluminância média [lux]							463
coeficiente de uniformidade							0,59

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 22/12/2009 Hora: 10:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	61	124	178	160	138	76	69
B	109	134	141	135	117	106	96
C	102	110	114	110	108	99	86
D	108	128	144	147	136	113	93
E	157	732	1285	1117	830	154	95
iluminância média [lux]							217
coeficiente de uniformidade							0,28

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 22/12/2009 Hora: 10:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	312	414	457	442	452	440	416
B	485	515	543	533	532	522	498
C	519	527	560	521	558	544	518
D	511	541	567	560	563	540	506
E	495	978	1822	1651	1515	527	471
iluminância média [lux]							616
coeficiente de uniformidade							0,51

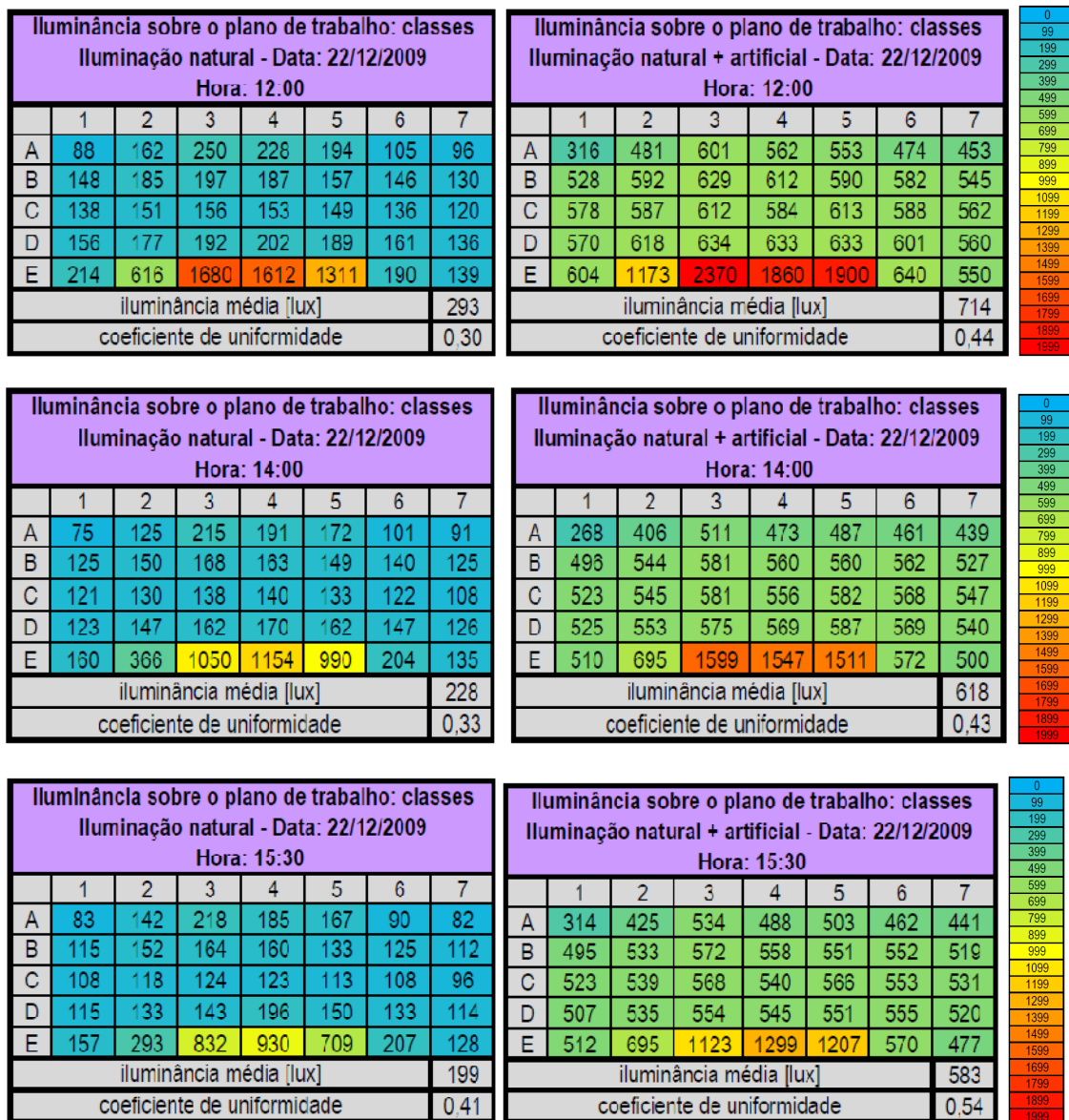


Figura 43: Iluminância sobre os planos de trabalho (classes), ao longo do dia 22 de dezembro de 2009, sob influência apenas da luz natural e em conjunto desta com o sistema de iluminação artificial.

Observou-se, de forma geral, que, os menores valores, são os localizados sobre os pontos A1 e A7, posicionados junto à fachada norte e afastados da janela localizada nesta fachada. Quanto aos maiores valores, estão localizados junto à janela da fachada Sul, nos pontos E3, E4 e E5, devido a não haver nenhum tipo de proteção solar para esta esquadria, a parcela de céu visível, correspondente a cada um destes pontos, é considerável e responsável por estes elevados valores.

Ao analisar cada horário de medição, foi identificada algumas semelhanças entre as medições das 8:00 e 17:00 horas e entre as medições das 10:00, 12:00 e 15:30 horas. A

medição das 12:00 horas pode ser caracterizada como a de maiores valores registrados, tanto sob influência apenas da luz natural, como desta em conjunto com a iluminação artificial.

Quanto ao primeiro e último horário de medição foram encontrados valores bastante baixos de iluminância sob influência apenas da luz natural. Sob esta condição, a iluminância média das 8:00 horas foi 90 lux, das 17:00 horas foi 202 lux e, apenas, 8,57% dos pontos analisados obtiveram valores acima dos 300 lux recomendados por norma. . Porém esta situação é contornada no momento do acionamento da iluminação artificial, onde todas as médias de iluminância ficaram acima do recomendado, e assim como todos os pontos da malha, salvo o ponto A1, que registrou os valores de 274 lux, às 8:00 horas e 282 lux, às 17:00 horas.

Nas medições das 10:00 horas, 12:00 horas e 15:30 foram registrados valores baixos sob condição de iluminação natural, atingindo uma média de 217 lux, 228 lux e 199 lux, respectivamente. Porém, deve-se ressaltar que esta média tem seu valor elevado devido à contribuição dos altos valores registrados junto à janela da fachada sul, assim, dos pontos analisados, 88,57% não atingiram as médias registradas para as 10:00 horas e 12:00 horas e 85,7% para às 15:30 horas. Ao realizar as mesmas medições sob influência do sistema de iluminação artificial nota-se que há um aumento de cerca de 170% nos níveis de iluminância, porém é mantida esta discrepância entre os valores mais altos e mais baixos. As médias encontradas, sob esta condição de medição, são de 616 lux, às 10:00 horas, 618 lux, às 14:00 horas e 583 lux, às 15:30 horas. O único ponto que não atingiu os 300 lux, recomendados por norma, foi o ponto A1, às 14:00 horas, que registrou 268 lux.

A medição das 12:00 horas registrou os maiores valores, sob as duas condições de medição. Sob influência apenas da luz natural, sua média foi de 293 lux, quase atingindo o mínimo de 300 lux, recomendado em norma, e ao analisar seus pontos, individualmente, pôde-se constatar a presença de valores bastante baixos, como de 88 lux, no ponto A1 e valores bastante altos, como o de 1680 lux, junto à fachada sul, sendo assim, apenas 11,42% dos pontos analisados atingiram a média de 293 lux. Já, ao considerar a influência do sistema de iluminação artificial, os valores de iluminância sofreram um aumento de 144% e mantiveram-se todos acima do mínimo recomendado por Norma. No ponto A1 registrou-se 316 lux, enquanto no ponto E3 registrou-se 2370 lux. A média sob esta condição foi de 714 lux.

Ao analisar a contribuição do sistema de iluminação artificial nos níveis de iluminância sobre as classes da sala de aula analisada, o gráfico abaixo demonstra um comparativo entre as

iluminâncias médias obtidas e o ganho alcançado com o uso do sistema de iluminação artificial:

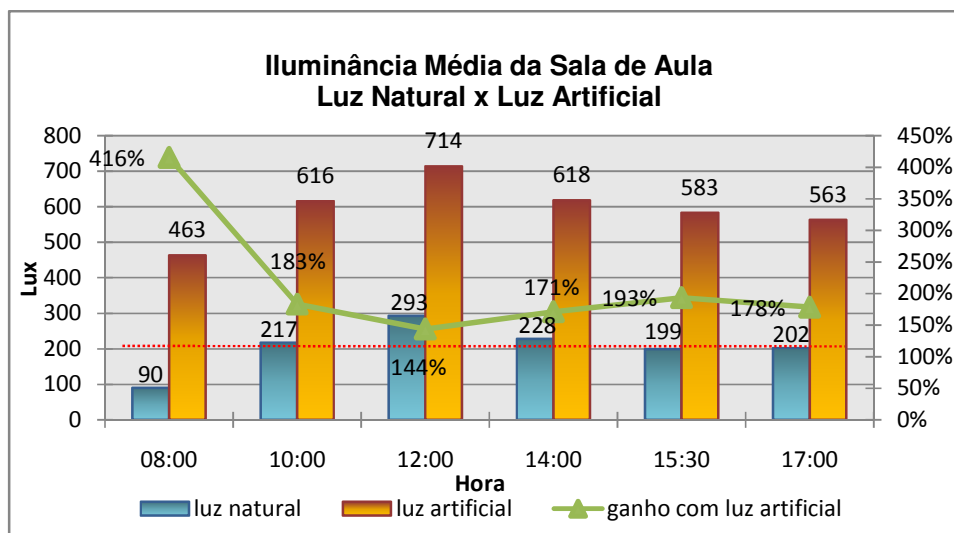


Figura 44: Iluminância média da sala de aula nos diferentes horários de medição e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial no dia 22 de dezembro de 2009.

Percebe-se, a partir das análises e do gráfico comparativo, que o sistema de iluminação artificial contribui de forma considerável nos níveis de iluminância obtidos no interior da sala de aula, podendo-se destacar a contribuição da luz artificial na iluminação da sala de aula no horário das 8:00 horas, onde a presença da luz natural era bastante reduzida.

Ressalta-se que, em um mesmo horário de medição, a contribuição do sistema de iluminação artificial é excessiva em alguns pontos, ao mesmo tempo em que se faz necessária em outros, e, a impossibilidade de se acionar apenas parte deste sistema acarreta na existência de níveis bastante altos de iluminância e num gasto energético desnecessário.

Outro dado que pode ser obtido através das medições de iluminância e que também foi exposto nos quadros da Figura 45, é o coeficiente de uniformidade. Este coeficiente indica o quão bem a iluminância está distribuída no interior do ambiente, em cada horário de medição, e pode ser calculada a partir da relação entre o menor valor de iluminância e a iluminância média obtida em cada conjunto de medições. Quanto mais próximo de 1 (um) for o valor obtido, melhor será a “uniformidade” da iluminância no interior do recinto. Assim, nas medições realizadas no solstício de verão, sob influência apenas da luz natural, os coeficientes de uniformidade variaram de 0,28 a 0,41 e nas medições sob influência da luz natural e artificial os valores variaram de 0,43 a 0,59.

Os reduzidos coeficientes de uniformidade registrados podem ser atribuídos à grande disparidade existente entre alguns valores de iluminância obtidos no interior da sala de aula, decorrentes das características físicas do ambiente (posição das classes com relação às aberturas, existência de obstruções externas) e da distribuição e intensidade da luz na abóboda celeste, conforme horário do dia. Observou-se que alguns pontos são críticos, seja pela luminosidade precária, como no caso dos pontos A1, A6 e A7, localizados junto à fachada norte e sob a prateleira de luz, seja pela luminosidade em excesso, como no caso dos pontos localizados junto à janela da fachada sul e sem nenhum tipo de proteção solar, permitindo que a componente de céu visível seja bastante considerável e responsável por ofuscamentos indesejados.

Na figura abaixo são apresentados os coeficientes de uniformidade, sob influência apenas da luz natural, e desta em conjunto com a artificial:

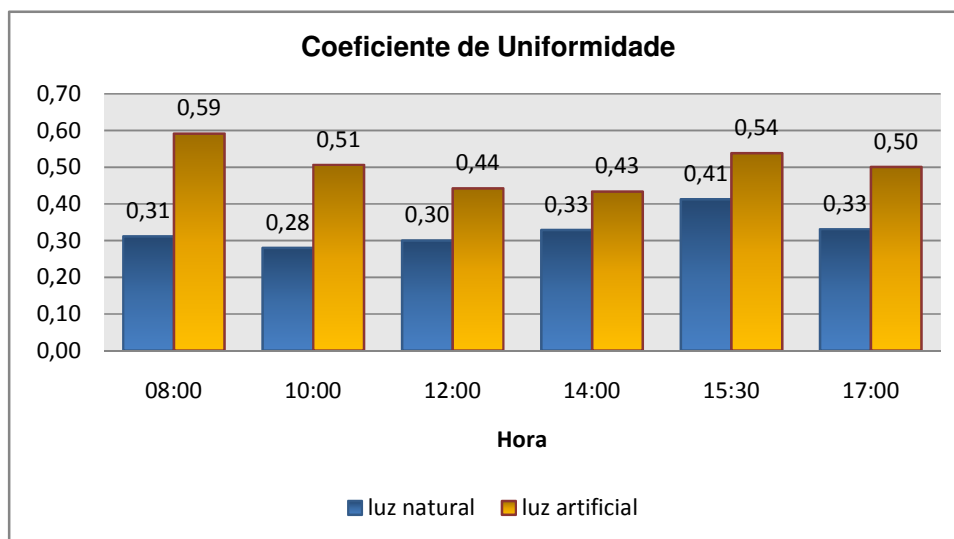


Figura 45: Coeficiente de Uniformidade obtido nas medições realizadas no dia 22 de dezembro de 2009, sob influência apenas da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

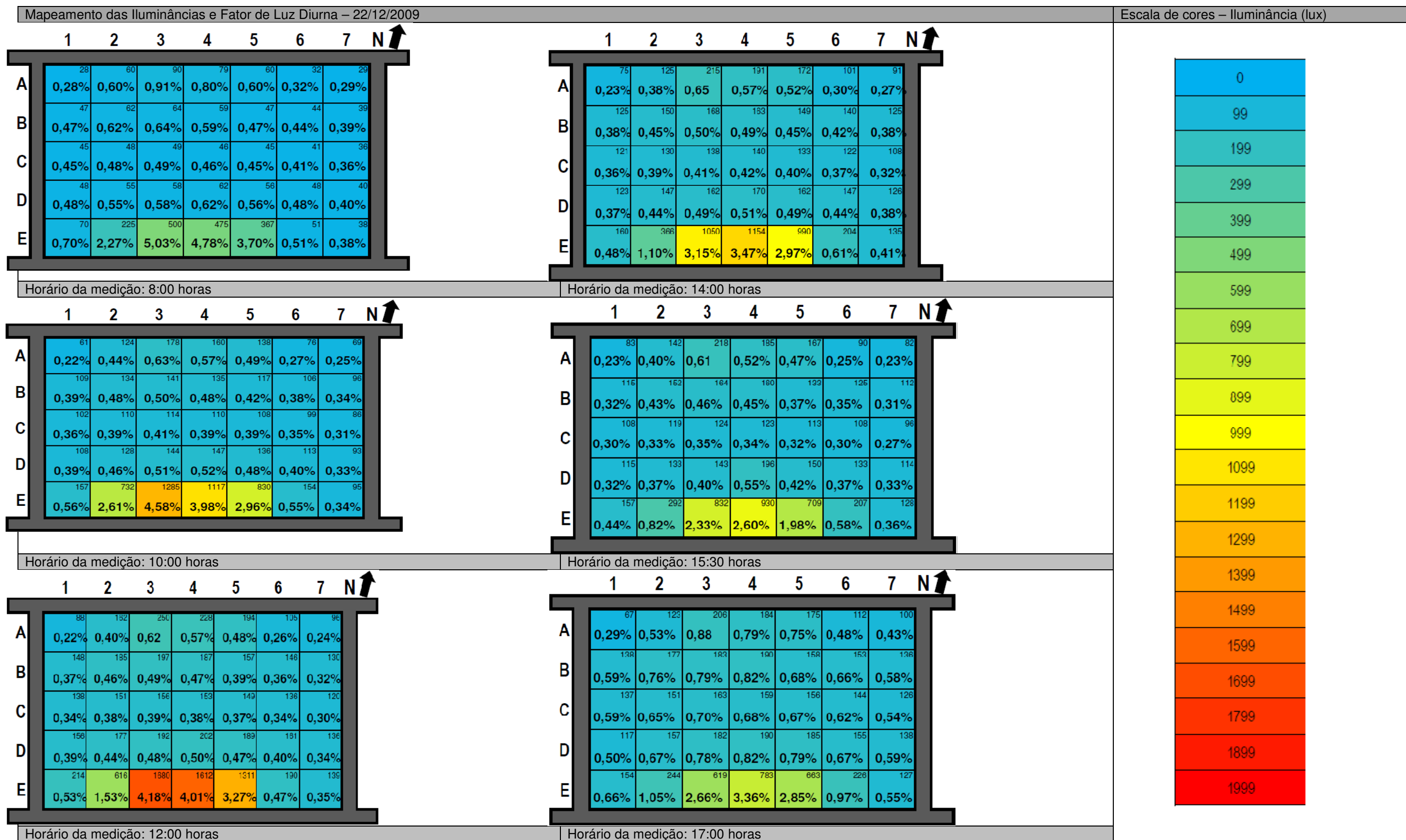
Observa-se que houve um incremento no coeficiente de uniformidade durante as medições sob influência da luz natural, em conjunto com a artificial. Isto se dá, basicamente, por ocasião de uma melhor distribuição da luz no interior do recinto, principalmente quando esta é pouca e má distribuída. Como exemplo, pode-se citar a medição das 8:00 horas, na qual a presença a luz natural era reduzida e foi observado o maior coeficiente de uniformidade (0,59).

Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna

Outra forma de descrever a presença da luz natural no interior das edificações é através do chamado Fator de Luz Diurna. Este Fator é obtido a partir da relação da iluminância devida à luz natural no interior da edificação, e o simultâneo valor de iluminância externa obtido. Como, no dia das medições, o céu da cidade de Feliz não apresentou as características do céu encoberto padrão CIE, o fator de luz diurna não será constante.



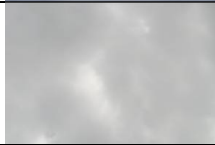



Desta forma, organizou-se o Mapeamento das Iluminâncias da sala de aula analisada através de uma escala de cores e seus respectivos Fatores de Luz Diurna.

Tabela 7: Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna ao longo do dia de medição, referente ao Solstício de Verão.



A partir da tabela acima se observa que, assim como a Iluminância, o Fator de Luz Diurna possui seus maiores valores próximo às esquadrias e tem seu valor aumentado e diminuído, conforme a variação da Iluminância no ponto analisado. Em geral, os menores registros ocorreram no perímetro da sala de aula e afastados das janelas, como, por exemplo, os pontos A1 e A7, que registraram DF de 0,22% e 0,23% respectivamente. Já os maiores valores foram aqueles junto às janelas das fachadas Norte e Sul, como o ponto 3E, que registrou DF de 5,03%. Para analisar o comportamento do Fator de Luz Diurna sobre um mesmo ponto e sob diferentes condições de céu, a tabela abaixo demonstra a comparação entre os Fatores de Luz Diurna registrados ao longo do dia de medição sobre três pontos distintos da malha analisada:

Tabela 8: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna encontrados no Solstício de Verão para um mesmo ponto ao longo do dia de medição e sob diferentes condições de céu e iluminância externa.

Ponto Horário	A4	C4	E4	Iluminância Externa	Céu
8:00 horas	0,80%	0,46%	4,78%	9.931 lux	
10:00 horas	0,57%	0,39%	3,98%	28045 lux	
12:00 horas	0,57%	0,38%	4,01%	40.150 lux	
14:00 horas	0,57%	0,42%	3,47%	33.300 lux	
15:30 horas	0,52%	0,34%	2,60%	35.750 lux	
17:00 horas	0,79%	0,68%	3,36%	23.300 lux	

Observa-se que as medições realizadas sob condições de céu parecidas (parcialmente nublada) obtiveram valores de Fator de Luz Diurna bastante próximos. Este dado se aproxima do referenciado em bibliografia, onde, sob condições de Céu CIE, o valor do Fator de Luz Diurna se mantém constante. Lembrando que o céu CIE se caracteriza por ser encoberto, possuindo, portanto, características, relativamente, semelhantes ao céu observado nas primeiras medições do dia 22 de dezembro de 2009.

Outro dado observado é que, nas medições sob condições de céu semelhantes e valores de iluminância externa próximos, um valor de DF em torno de 1% seria o correspondente ao nível de iluminância mínimo recomendado por norma, ou seja, 300 lux. Porém, este valor foi raramente atingido, demonstrando a pouca contribuição da luz natural na obtenção de uma luminosidade adequada dentro da sala de aula analisada.

5.2.1.2 Medições sobre o plano de trabalho: quadro branco

O outro plano de trabalho analisado sob o ponto de vista lumínico é o quadro branco da sala de aula. Abaixo estão expostos os valores de iluminância obtidos sobre a superfície deste quadro, sob influência, apenas, da luz natural e sob influência desta, em conjunto com a Iluminação artificial.

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 22/12/2009 Hora: 08:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 22/12/2009 Hora: 08:00			
	1	2	3		1	2	3
A	69		31	A	432		355
B		34		B		400	
C	32		21	C	281		285
iluminância média [lux]			37	iluminância média [lux]			351

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 22/12/2009 Hora: 10:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 22/12/2009 Hora: 10:00			
	1	2	3		1	2	3
A	164		77	A	536		427
B		84		B		437	
C	73		71	C	328		321
iluminância média [lux]			94	iluminância média [lux]			410

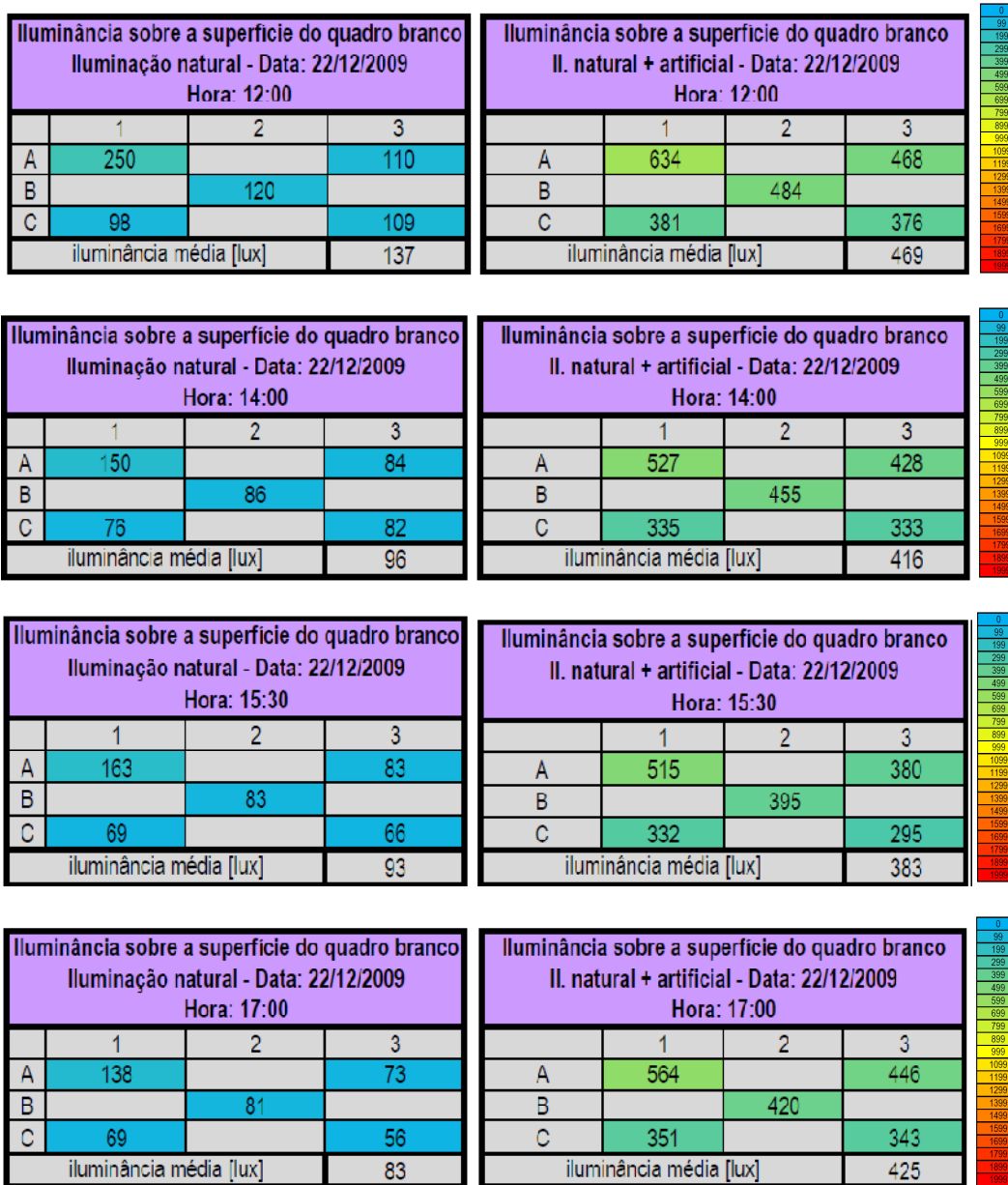


Figura 46: Iluminância sobre a superfície do quadro branco, ao longo do dia 22 de dezembro de 2009, sob influência apenas da luz natural e, desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Desta forma, os valores de iluminância obtidos sobre o quadro branco, sob influência apenas da luz natural, não atingiram os 500 lux recomendados por norma. Os valores de iluminância média obtidos ficaram em torno dos 90 lux.

Enquanto, ao acionar o sistema de iluminação artificial, há um incremento significativo nos níveis de iluminância; porém, os valores obtidos ainda ficaram abaixo do recomendado. As médias obtidas foram ao redor dos 400 lux.

No gráfico a seguir, observa-se a contribuição do sistema de iluminação artificial para os níveis de iluminância obtidos junto à superfície do quadro branco:

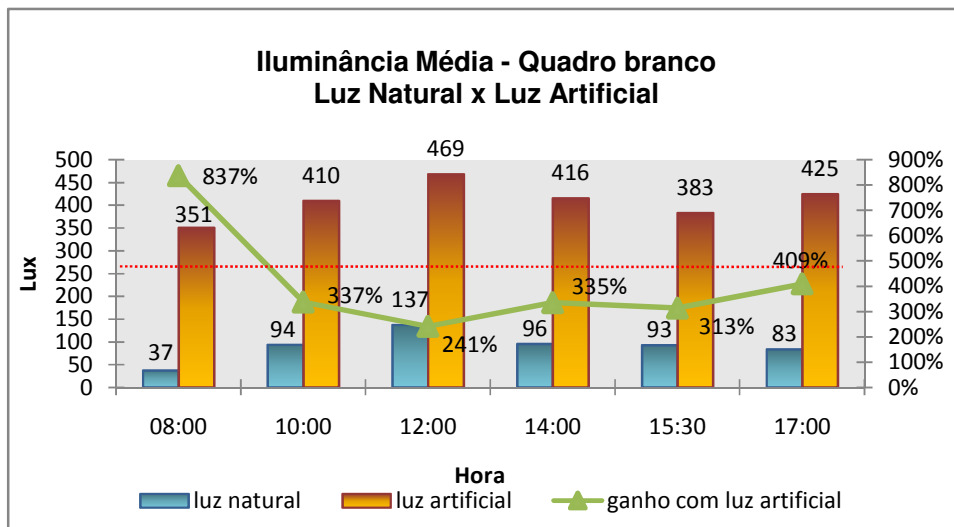


Figura 47: Iluminância média sobre a superfície do quadro branco nos diferentes horários de medição, do dia 22 de dezembro de 2009, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial.

Assim, a iluminação artificial contribuiu significativamente para a iluminação do quadro branco, mesmo não atingindo o nível mínimo de iluminância recomendado. Na medição das 8:00 horas esta contribuição foi bastante elevada, de 837%, enquanto que nas demais medições este valor ficou ao redor dos 300%.

5.2.2 Análise dos resultados: Equinócio de Outono

A medição referente ao Equinócio de Outono ocorreu no dia 18 de março de 2010. Ao longo deste dia o céu permaneceu claro e com poucas nuvens, conforme demonstra a figura:



Figura 48: Condições do céu, registradas no dia 18 de março de 2010.

Para cada horário de medição foi realizada uma medição de iluminância externa. Conforme recomendado pela NBR15215-4 (ABNT, 2004), esta medição foi obtida sobre um plano horizontal e com a fotocélula do luxímetro protegida da incidência da radiação solar direta.

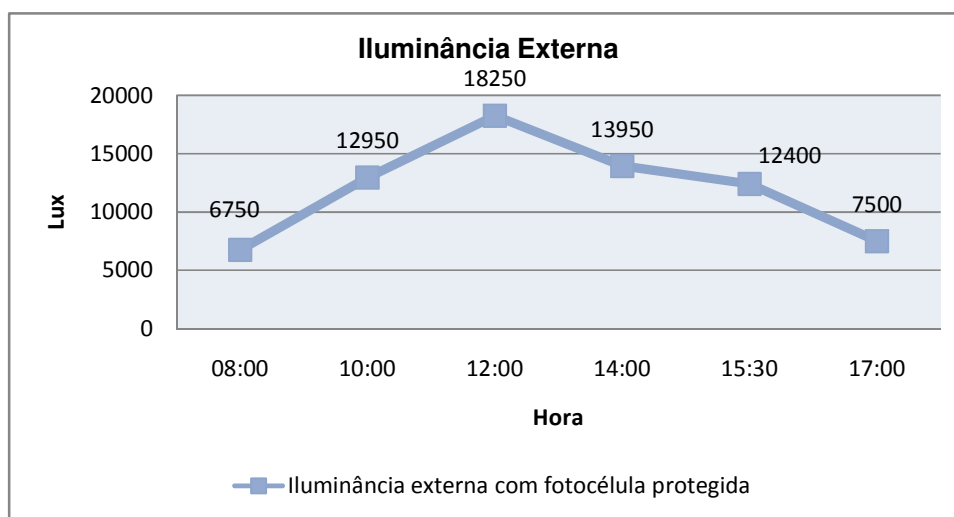


Figura 49: Gráfico com os valores de iluminância externa, obtidos na medição do dia 18 de março de 2010.

Analisando o gráfico acima, pode-se observar que os valores de iluminância obtidos ao longo do dia cresceram, linearmente, até o meio dia, onde se obteve um valor de 18.250 lux, e deste horário em diante decresceu, obtendo o valor de 7.500 lux, às 17:00 horas. Obtiveram-se valores bastante aproximados, tanto entre as medições das 8:00 e das 17:00 horas, como das 10:00, 14:00 e 15:30 horas.

5.2.2.1 Medições sobre o plano de trabalho: classes

Demonstram-se, abaixo, os valores de iluminância obtidos sobre a malha de 35 pontos, situada sobre o plano de trabalho dos alunos e dimensionada conforme recomendado pela NBR15215-4 (ABNT, 2004). Serão apresentados, tanto os valores obtidos sob influência apenas da luz natural, como desta sendo complementada pelo sistema de iluminação artificial.

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 18/03/2010 Hora: 8:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	65	108	143	142	129	76	71
B	129	138	142	136	119	108	99
C	111	120	127	126	122	111	103
D	110	127	139	145	135	117	101
E	154	389	558	579	384	157	113
iluminância média [lux]							161
coeficiente de uniformidade							0,40

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 18/03/2010 Hora: 08:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	372	520	560	568	590	608	585
B	701	727	762	754	750	749	702
C	749	763	809	777	809	786	775
D	733	756	788	772	789	769	723
E	694	891	1059	988	947	732	682
iluminância média [lux]							735
coeficiente de uniformidade							0,51

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 18/03/2010 Hora: 10:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	91	148	226	203	191	117	107
B	160	191	202	202	178	159	146
C	157	172	184	179	175	155	139
D	144	167	196	205	187	150	123
E	171	367	609	524	436	168	120
iluminância média [lux]							201
coeficiente de uniformidade							0,45

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 18/03/2010 Hora: 10:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	417	559	655	610	642	643	615
B	734	766	820	804	803	793	752
C	780	812	862	830	859	830	814
D	763	810	848	826	849	804	755
E	718	885	1080	997	936	768	712
iluminância média [lux]							776
coeficiente de uniformidade							0,54

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 18/03/2010 Hora: 12:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	110	193	281	258	226	148	131
B	203	248	264	258	227	206	187
C	198	222	241	240	226	198	186
D	181	229	257	271	241	190	162
E	206	377	551	590	583	201	157
iluminância média [lux]							247
coeficiente de uniformidade							0,45

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 18/03/2010 Hora: 12:00							
	1	2	3	4	5	6	7
A	437	619	711	692	701	700	664
B	785	840	907	890	893	870	819
C	849	867	936	906	928	889	864
D	801	860	906	895	905	849	793
E	722	895	1103	1086	994	790	733
iluminância média [lux]							831
coeficiente de uniformidade							0,53

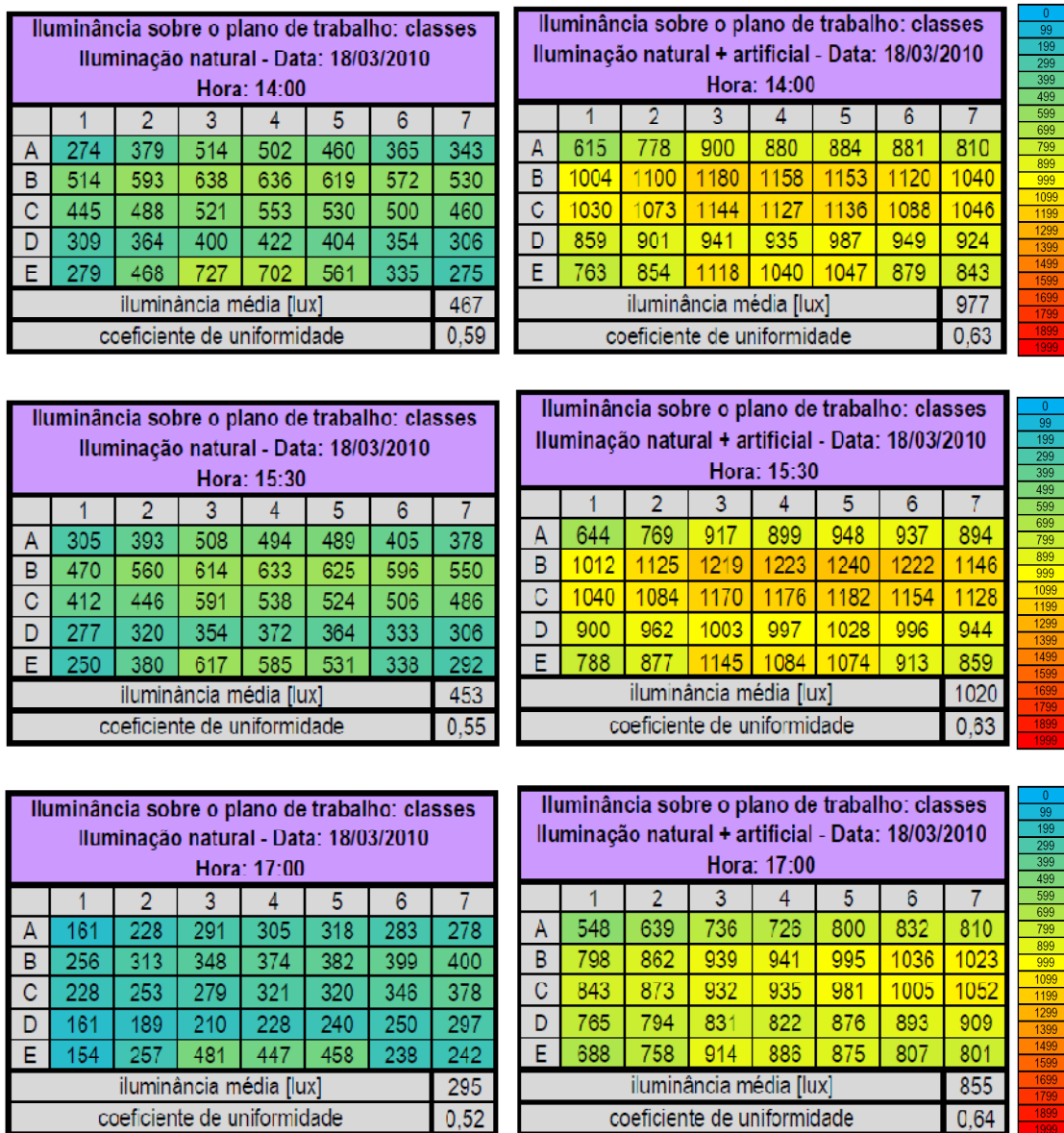


Figura 50: Iluminância sobre os planos de trabalho (classes), ao longo do dia 18 de março de 2010, sob influência apenas da luz natural, e em conjunto desta com o sistema de iluminação artificial.

Tanto sob influência apenas da luz natural, como desta em conjunto com a artificial, os pontos com maiores valores de iluminância observados foram aqueles situados junto à janela da fachada sul. Os demais pontos, situados mais ao centro da sala de aula analisada, obtiveram valores relativamente próximos, e aqueles situados no perímetro da sala de aula e afastados das janelas registraram os menores valores.

Esta situação pode ser justificada pela inexistência de um elemento de proteção junto à fachada sul, o que faz com que os planos situados junto à esquadria desta fachada tenham seus níveis de iluminância incrementados pela parcela de céu visível a partir destes pontos. Enquanto, a fachada norte, possui uma prateleira de luz em toda sua extensão, que proporciona certo sombreamento sobre as classes situadas abaixo dela, além de ser protegida por um grande beiral, que impede a incidência da radiação solar direta através da janela situada nesta fachada.

Quanto às medições sob influência apenas da luz natural, apenas às 14:00 e 15:30 horas obtiveram médias acima dos 300 lux recomendados por norma. Nestas medições, 91,43% dos pontos analisados obtiveram valores de iluminância acima de 300 lux. Os pontos que não atingiram o mínimo recomendado, são: E1 e E7, em ambos horários, e, ainda, o ponto A1, na medição das 14:00 horas.

Às 17:00 horas a média obtida foi de 295 lux, sendo que 57,14% dos pontos analisados ficaram acima de 300 lux. Nas demais medições, das 8:00 horas, 10:00 horas e 12:00, 88,57% dos pontos ficaram abaixo de 300 lux

Sob influência da luz artificial, em conjunto com a natural, todos os pontos e médias de iluminância ficaram acima do recomendado, variando de 735 lux, às 8:00 horas, à 1020 lux, às 15:30. Porém, a partir do exposto na figura anterior, a maioria dos pontos analisados obteve valores extremamente altos e desnecessários de iluminância. Este fato, além de ocasionar um gasto energético desnecessário, causa desconforto visual aos seus usuários devido à luminosidade em excesso.

No gráfico a seguir pode-se visualizar o incremento nos níveis de iluminância média, ocasionado pelo uso da luz artificial:

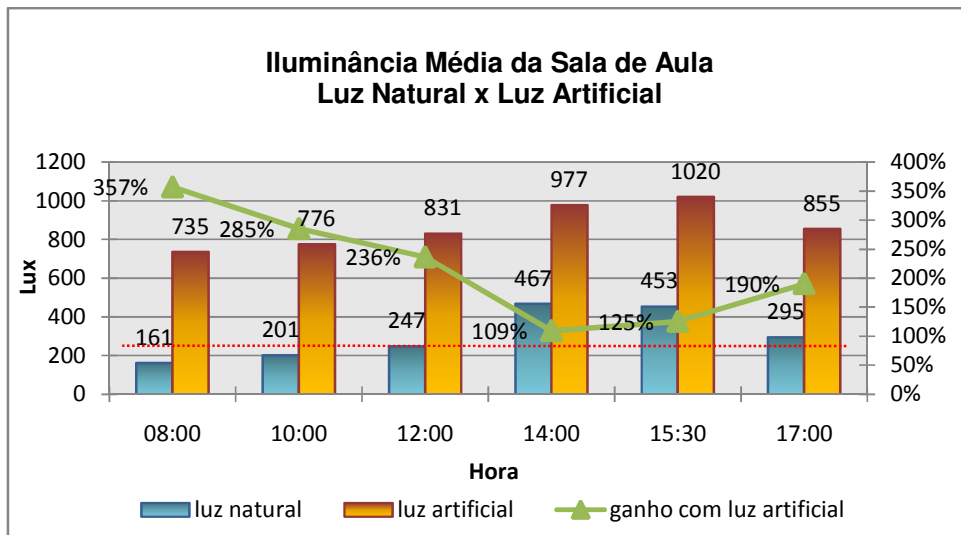


Figura 51: Iluminância média da sala de aula, nos diferentes horários de medição, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial, no dia 18 de março de 2010.

O gráfico expõe claramente a contribuição do sistema de iluminação artificial para as médias de iluminância obtidas para cada medição.

Quanto menor a presença da luz natural, maior será a contribuição do sistema de iluminação artificial. Este fato pode ser exemplificado através do ganho de 357%, ocorrido às 8:00 horas, horário no qual a iluminância média obtida apenas com a luz natural foi de 161 lux e, a partir do ganho ocasionado pela luz artificial, atingiu uma média de 735 lux.

Com o intuito de analisar a maneira com que a luz se distribui no interior da sala de aula, expõe-se os Coeficientes de Uniformidade, obtidos para cada horário de medição, com e sem a influência da luz artificial:

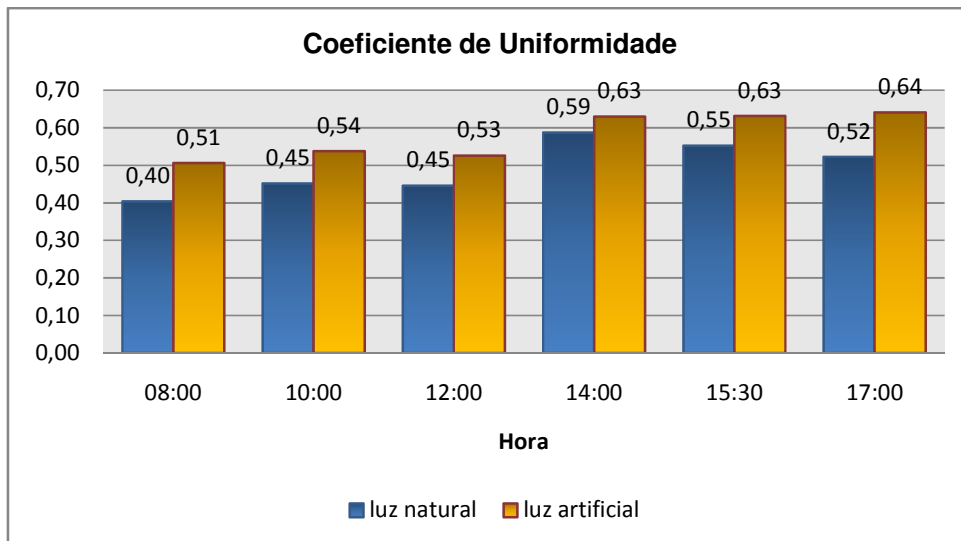


Figura 52: Coeficiente de Uniformidade, obtido nas medições realizadas no dia 18 de março de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Então, os Coeficientes de Uniformidade obtidos sob influência da luz natural variaram de 0,40 a 0,59, já os valores obtidos sob influência do sistema de iluminação artificial variaram de 0,51 a 0,64. Em ambas as medições os valores foram relativamente baixos, sendo que este pequeno aumento decorrente da presença da luz artificial pode ser justificado por uma pequena melhora na distribuição da luz no interior do recinto.

Os baixos valores de Coeficiente de Uniformidade obtidos são decorrentes da existência, concomitante, de pontos muito iluminados, como é o caso dos situados junto à janela da fachada sul, e de pontos iluminados precariamente, como o ponto A1, situado na fachada norte e afastado da janela.

Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna

A seguir será apresentado o Mapeamento das Iluminâncias da medição ocorrida no Equinócio de Outono e os respectivos valores de Fator de Luz Diurna (DF), obtidos para cada ponto da malha analisado.

O mapeamento foi realizado através de uma escala de cores sobre a malha de pontos analisados e os valores de Fator de Luz Diurna (DF) são dados como uma porcentagem da luz natural, disponível no momento da medição e obtida sobre o plano de trabalho considerado.

Tabela 9: Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna ao longo do dia de medição, referente ao Equinócio de Outono.



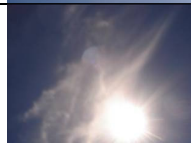

Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna – 18/03/2010							Escala de cores – Iluminância (lux)		
Horário da medição: 8:00 horas									
	1	2	3	4	5	6	7	N	
A	65 0,96%	108 1,60%	143 2,12%	142 2,10%	129 1,91%	78 1,13%	71 1,05%		0
B	129 1,91%	188 2,04%	142 2,10%	190 2,01%	119 1,76%	108 1,60%	99 1,47%		99
C	111 1,64%	120 1,78%	127 1,88%	128 1,87%	122 1,81%	111 1,64%	103 1,53%		199
D	110 1,63%	127 1,88%	180 2,06%	145 2,15%	135 2,00%	117 1,73%	101 1,50%		299
E	154 2,28%	389 5,76%	558 8,27%	579 8,58%	384 5,69%	157 2,33%	113 1,67%		399
Horário da medição: 14:00 horas									
	1	2	3	4	5	6	7	N	
A	274 1,96%	379 2,72%	514 3,68%	502 3,60%	480 3,30%	365 2,62%	343 2,46%		499
B	514 3,68%	593 4,25%	638 4,57%	636 4,56%	619 4,44%	572 4,10%	530 3,80%		599
C	445 3,19%	488 3,50%	521 3,73%	553 3,96%	530 3,80%	500 3,58%	460 3,30%		699
D	309 2,22%	364 2,61%	400 2,87%	422 3,03%	404 2,90%	354 2,54%	306 2,19%		799
E	279 2,00%	488 3,35%	727 5,21%	702 5,03%	561 4,02%	335 2,40%	275 1,97%		899
Horário da medição: 10:00 horas									
	1	2	3	4	5	6	7	N	
A	91 0,70%	148 1,14%	226 1,75%	203 1,57%	191 1,47%	117 0,90%	107 0,83%		999
B	160 1,24%	191 1,47%	202 1,56%	202 1,56%	178 1,37%	159 1,23%	148 1,13%		1099
C	157 1,21%	172 1,33%	184 1,42%	179 1,38%	175 1,35%	155 1,20%	139 1,07%		1199
D	144 1,11%	167 1,29%	198 1,51%	205 1,58%	167 1,44%	150 1,16%	123 0,95%		1299
E	171 1,32%	367 2,83%	609 4,70%	524 4,05%	436 3,37%	188 1,30%	120 0,93%		1399
Horário da medição: 15:30 horas									
	1	2	3	4	5	6	7	N	
A	305 2,46%	393 3,17%	508 4,10%	494 3,98%	489 3,94%	405 3,27%	378 3,05%		1499
B	470 3,79%	560 4,52%	614 4,95%	603 5,10%	625 5,04%	596 4,81%	550 4,44%		1599
C	412 3,32%	448 3,60%	591 4,77%	538 4,34%	524 4,23%	508 4,08%	466 3,92%		1699
D	277 2,23%	320 2,58%	354 2,85%	372 3,00%	364 2,94%	333 2,69%	306 2,47%		1799
E	250 2,02%	380 3,06%	617 4,98%	585 4,72%	531 4,28%	398 2,73%	282 2,35%		1899
Horário da medição: 12:00 horas									
	1	2	3	4	5	6	7	N	
A	110 0,60%	133 1,06%	281 1,54%	258 1,41%	226 1,24%	146 0,80%	131 0,72%		1999
B	203 1,11%	246 1,36%	204 1,45%	258 1,41%	227 1,24%	200 1,13%	187 1,02%		
C	198 1,08%	222 1,22%	241 1,32%	240 1,32%	226 1,24%	196 1,08%	188 1,02%		
D	181 0,99%	220 1,25%	257 1,41%	271 1,48%	241 1,32%	190 1,04%	162 0,89%		
E	208 1,13%	377 2,07%	551 3,02%	590 3,23%	583 3,19%	201 1,10%	157 0,86%		
Horário da medição: 17:00 horas									
	1	2	3	4	5	6	7	N	
A	161 2,15%	228 3,04%	291 3,88%	305 4,07%	318 4,24%	233 3,77%	278 3,71%		
B	256 3,41%	313 4,17%	348 4,64%	374 4,99%	382 5,09%	399 5,32%	400 5,33%		
C	228 3,04%	253 3,37%	279 3,72%	321 4,28%	320 4,27%	346 4,61%	378 5,04%		
D	161 2,15%	189 2,52%	210 2,80%	220 3,04%	240 3,20%	250 3,33%	267 3,96%		
E	154 2,05%	257 3,43%	481 6,41%	447 5,96%	458 6,11%	238 3,17%	242 3,23%		



A partir da análise das figuras acima, pode-se observar que os valores de DF variam, assim como a iluminância, possuindo seus maiores valores junto à janela da fachada sul, pontos E3, E4 e E5, e seus menores valores no perímetro da sala de aula e afastados das janelas, como é o caso dos pontos A1 e E1.

O maior valor de Fator de Luz Diurna obtido foi o de 8,58%, no ponto E4, às 8:00 horas da manhã, enquanto que o menor registro, de 0,60%, ocorreu às 12:00 horas sobre o ponto A1. Estes valores obtidos ratificam o exposto na revisão bibliográfica, quando, sob condição de céu claro, os maiores valores de DF ocorrem quando a altura solar é mais baixa e os menores quando o sol está à pino. Justifica-se, quanto maior a altura solar, maior serão as reflexões e menor será a contribuição da luz natural na iluminação do interior do recinto, assim como, quando a altura solar é baixa, sua difusão pela abóboda celeste é maior e pode contribuir de forma mais efetiva na iluminação interna das edificações.

A fim de confirmar o exposto acima e analisar um mesmo ponto ao longo do dia de medição, a seguir serão considerados: três pontos da malha, iluminância externa e a imagem do céu correspondente.

Tabela 10: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna encontrados no Equinócio de Outono, para um mesmo ponto ao longo do dia de medição, e sob diferentes condições de céu e iluminância externa.

Ponto \ Horário	A4	C4	E4	Iluminância Externa	Céu
8:00 horas	2,10%	1,87%	8,58%	6.750lux	
10:00 horas	1,57%	1,38%	4,05%	12.950 lux	
12:00 horas	1,41%	1,32%	3,23%	18.250 lux	
14:00 horas	3,60%	3,96%	5,03%	13.950 lux	

Ponto \ Horário	A4	C4	E4	Iluminância Externa	Céu
15:30 horas	3,98%	4,34%	4,72%	12.400lux	
17:00 horas	4,07%	4,28%	5,96%	7.500 lux	

Verifica-se que o céu permaneceu claro ao longo do dia e os valores de DF variaram conforme a posição solar, iluminância externa, localização do ponto analisado no interior do recinto e o horário da medição.

A partir da tabela acima se pode verificar que o céu permaneceu claro ao longo do dia e com uma pequena concentração de nuvens no período da tarde. Desta forma, ao contrário do que ocorre com o céu padrão CIE, houve uma grande variabilidade nos valores de DF obtidos para um mesmo ponto analisado.

5.2.2.2 Medições sobre o plano de trabalho: quadro branco

Nos quadros abaixo estão expostos os valores de iluminância obtidos sobre os cinco pontos situados sobre o quadro branco e sob duas condições de medição. A primeira medição foi realizada sob influência apenas da luz natural e a segunda sob influência desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 18/03/2010 Hora: 08:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 18/03/2010 Hora: 08:00			
	1	2	3		1	2	3
A	176		77	A	747		644
B		95		B		640	
C	93		79	C	476		352
iluminância média [lux]			104	iluminância média [lux]			572

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 18/03/2010 Hora: 10:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 18/03/2010 Hora: 10:00			
	1	2	3		1	2	3
A	222		120	A	805		622
B		136		B		723	
C	126		87	C	442		495
iluminância média [lux]			138	iluminância média [lux]			617



Figura 53: Iluminância sobre a superfície do quadro branco, ao longo do dia 18 de março de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Pode-se considerar que nas medições sob influência apenas da luz natural, nenhuma média e nenhum ponto analisado individualmente atingiu os 500 lux recomendados por norma. Sendo que o menor valor registrado, de 77 lux, ocorreu às 8:00 no ponto A3 e o maior ocorreu sobre este mesmo ponto, às 14:00 horas, ao atingir o valor de 328 lux.

Ao acionar o sistema de iluminação artificial, todas as médias ficaram acima dos 500 lux. Porém, assim como na medição sob influência apenas da luz natural, houve uma diferença considerável entre pontos analisados em um mesmo horário. Como exemplo, pode-se citar a medição das 14:00 horas, que obteve 929 lux sobre o ponto B2, ao mesmo tempo em que obteve o mínimo de 505 lux sobre o ponto C3.

Este fato merece ser destacado devido a evidenciar a existência de pontos mais iluminados que outros, o que pode acarretar na existência de contrastes excessivos e ofuscamentos indesejados.

No gráfico a seguir pode-se visualizar a contribuição do sistema de iluminação artificial na iluminação da superfície do quadro branco:

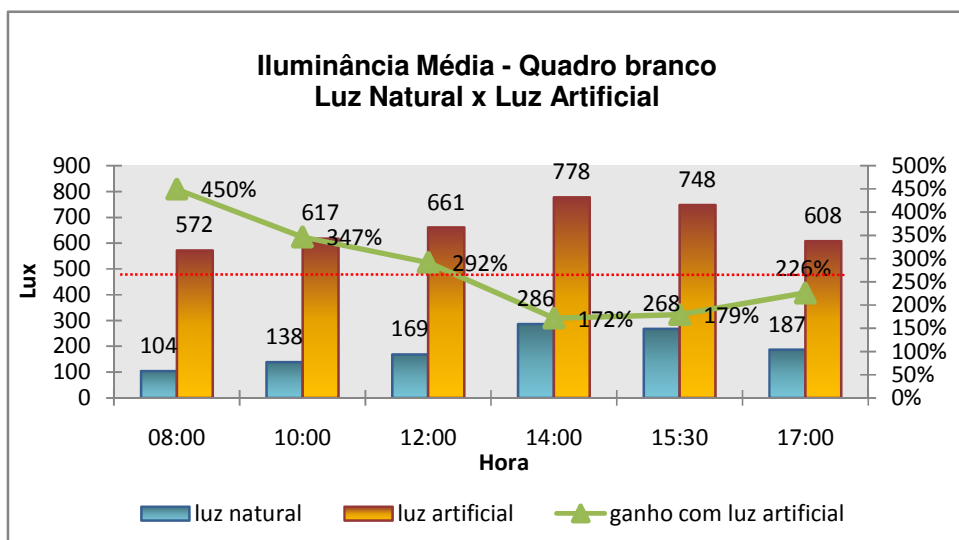


Figura 54: Iluminância média sobre a superfície do quadro branco nos diferentes horários de medição, do dia 18 de março de 2010, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial.

Observa-se, a partir dos dados acima, que a iluminação artificial foi responsável pela adequação dos níveis de iluminância obtidos sobre a superfície do quadro branco àqueles recomendados por norma. Assim, o ganho com luz artificial chegou a 450% na medição das 8:00 horas, aumentando em cerca de 468 lux a iluminância média deste horário. Para os demais horários o aumento da iluminância média também foi em torno de 400 à 500 lux.

5.2.3 Análise dos resultados: Solstício de Inverno

A medição referente ao Solstício de Inverno ocorreu ao longo do dia 21 de junho de 2010.

Neste dia o céu permaneceu predominantemente claro e com poucas nuvens. A partir das 15 horas e 30 minutos houve uma maior concentração de nuvens e ao redor das 17 horas o sol já estava se pondo.



Figura 55: Condições do céu registradas no dia 21 de junho de 2010.

Para cada horário em análise, foram medidas as iluminâncias externas em um plano horizontal e com a fotocélula protegida (conforme recomendado por norma). Os resultados podem ser observados na figura, a seguir:

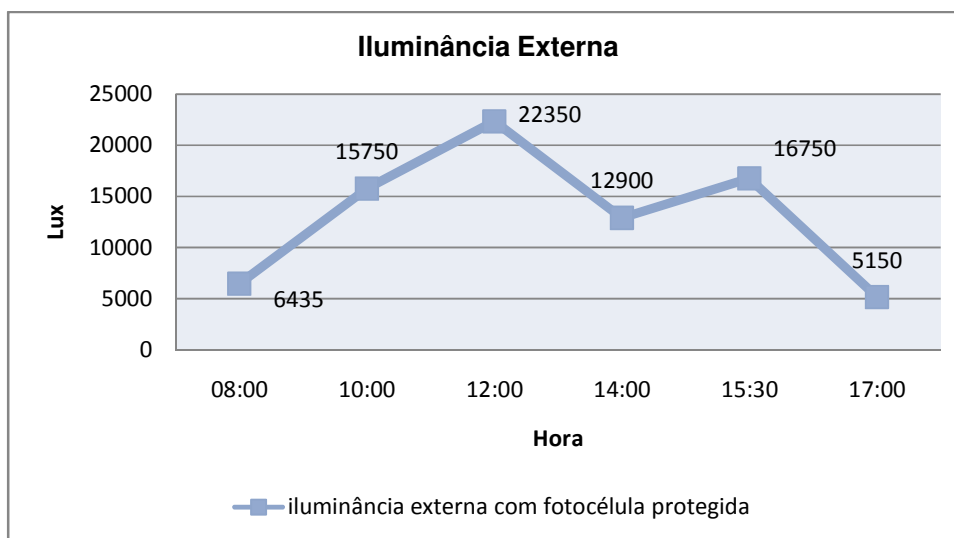


Figura 56: Gráfico com os valores de iluminância externa, obtidos na medição do dia 21 de junho de 2010.

O maior valor de iluminância externa ocorreu às 12:00 horas, ao atingir o valor de 22.350 lux e os menores às 8:00 e 17:00 horas, horários próximos ao nascer e pôr do sol, onde se obtiveram valores de 6.435 lux e 5.150 lux, respectivamente. As demais medições registraram valores ao redor dos 14.000 lux.

5.2.3.1 Medições sobre o plano de trabalho: classes

Serão demonstrados os valores de iluminância obtidos ao longo do dia, sobre a malha de 35 pontos, sob influência apenas da luz natural e sob influência desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 21/06/2010 Hora: 8:00								<table border="1"> <tr><td>0</td></tr><tr><td>99</td></tr><tr><td>199</td></tr><tr><td>299</td></tr><tr><td>399</td></tr><tr><td>499</td></tr><tr><td>599</td></tr><tr><td>699</td></tr><tr><td>799</td></tr><tr><td>899</td></tr><tr><td>999</td></tr><tr><td>1099</td></tr><tr><td>1199</td></tr><tr><td>1299</td></tr><tr><td>1399</td></tr><tr><td>1499</td></tr><tr><td>1599</td></tr><tr><td>1699</td></tr><tr><td>1799</td></tr><tr><td>1899</td></tr><tr><td>1999</td></tr></table>	0	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999	1099	1199	1299	1399	1499	1599	1699	1799	1899	1999
0																													
99																													
199																													
299																													
399																													
499																													
599																													
699																													
799																													
899																													
999																													
1099																													
1199																													
1299																													
1399																													
1499																													
1599																													
1699																													
1799																													
1899																													
1999																													
	1	2	3	4	5	6	7																						
A	55	73	99	100	92	55	49																						
B	99	110	104	93	78	72	64																						
C	90	88	83	75	71	67	60																						
D	88	89	85	81	77	65	58																						
E	107	178	352	385	300	92	66																						
iluminância média [lux]							106																						
coeficiente de uniformidade							0,46																						

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 21/06/2010 Hora: 08:00								<table border="1"> <tr><td>0</td></tr><tr><td>99</td></tr><tr><td>199</td></tr><tr><td>299</td></tr><tr><td>399</td></tr><tr><td>499</td></tr><tr><td>599</td></tr><tr><td>699</td></tr><tr><td>799</td></tr><tr><td>899</td></tr><tr><td>999</td></tr><tr><td>1099</td></tr><tr><td>1199</td></tr><tr><td>1299</td></tr><tr><td>1399</td></tr><tr><td>1499</td></tr><tr><td>1599</td></tr><tr><td>1699</td></tr><tr><td>1799</td></tr><tr><td>1899</td></tr><tr><td>1999</td></tr></table>	0	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999	1099	1199	1299	1399	1499	1599	1699	1799	1899	1999
0																													
99																													
199																													
299																													
399																													
499																													
599																													
699																													
799																													
899																													
999																													
1099																													
1199																													
1299																													
1399																													
1499																													
1599																													
1699																													
1799																													
1899																													
1999																													
	1	2	3	4	5	6	7																						
A	267	323	406	393	420	424	410																						
B	545	572	580	548	539	535	493																						
C	610	620	658	634	657	660	630																						
D	630	648	650	632	651	636	604																						
E	572	641	781	789	757	600	562																						
iluminância média [lux]							574																						
coeficiente de uniformidade							0,47																						

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 21/06/2010 Hora: 10:00								<table border="1"> <tr><td>0</td></tr><tr><td>99</td></tr><tr><td>199</td></tr><tr><td>299</td></tr><tr><td>399</td></tr><tr><td>499</td></tr><tr><td>599</td></tr><tr><td>699</td></tr><tr><td>799</td></tr><tr><td>899</td></tr><tr><td>999</td></tr><tr><td>1099</td></tr><tr><td>1199</td></tr><tr><td>1299</td></tr><tr><td>1399</td></tr><tr><td>1499</td></tr><tr><td>1599</td></tr><tr><td>1699</td></tr><tr><td>1799</td></tr><tr><td>1899</td></tr><tr><td>1999</td></tr></table>	0	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999	1099	1199	1299	1399	1499	1599	1699	1799	1899	1999
0																													
99																													
199																													
299																													
399																													
499																													
599																													
699																													
799																													
899																													
999																													
1099																													
1199																													
1299																													
1399																													
1499																													
1599																													
1699																													
1799																													
1899																													
1999																													
	1	2	3	4	5	6	7																						
A	203	225	372	370	352	228	194																						
B	276	355	351	360	296	258	232																						
C	271	240	230	267	246	212	182																						
D	261	260	258	260	212	170	138																						
E	337	420	608	656	535	207	164																						
iluminância média [lux]							291																						
coeficiente de uniformidade							0,47																						

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 21/06/2010 Hora: 10:00								<table border="1"> <tr><td>0</td></tr><tr><td>99</td></tr><tr><td>199</td></tr><tr><td>299</td></tr><tr><td>399</td></tr><tr><td>499</td></tr><tr><td>599</td></tr><tr><td>699</td></tr><tr><td>799</td></tr><tr><td>899</td></tr><tr><td>999</td></tr><tr><td>1099</td></tr><tr><td>1199</td></tr><tr><td>1299</td></tr><tr><td>1399</td></tr><tr><td>1499</td></tr><tr><td>1599</td></tr><tr><td>1699</td></tr><tr><td>1799</td></tr><tr><td>1899</td></tr><tr><td>1999</td></tr></table>	0	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999	1099	1199	1299	1399	1499	1599	1699	1799	1899	1999
0																													
99																													
199																													
299																													
399																													
499																													
599																													
699																													
799																													
899																													
999																													
1099																													
1199																													
1299																													
1399																													
1499																													
1599																													
1699																													
1799																													
1899																													
1999																													
	1	2	3	4	5	6	7																						
A	406	529	613	640	757	697	670																						
B	818	885	872	849	838	845	808																						
C	930	898	980	959	964	915	854																						
D	861	874	869	808	825	800	746																						
E	875	930	1132	1115	1041	745	686																						
iluminância média [lux]							830																						
coeficiente de uniformidade							0,49																						

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural - Data: 21/06/2010 Hora: 12:00								<table border="1"> <tr><td>0</td></tr><tr><td>99</td></tr><tr><td>199</td></tr><tr><td>299</td></tr><tr><td>399</td></tr><tr><td>499</td></tr><tr><td>599</td></tr><tr><td>699</td></tr><tr><td>799</td></tr><tr><td>899</td></tr><tr><td>999</td></tr><tr><td>1099</td></tr><tr><td>1199</td></tr><tr><td>1299</td></tr><tr><td>1399</td></tr><tr><td>1499</td></tr><tr><td>1599</td></tr><tr><td>1699</td></tr><tr><td>1799</td></tr><tr><td>1899</td></tr><tr><td>1999</td></tr></table>	0	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999	1099	1199	1299	1399	1499	1599	1699	1799	1899	1999
0																													
99																													
199																													
299																													
399																													
499																													
599																													
699																													
799																													
899																													
999																													
1099																													
1199																													
1299																													
1399																													
1499																													
1599																													
1699																													
1799																													
1899																													
1999																													
	1	2	3	4	5	6	7																						
A	523	690	780	830	795	621	540																						
B	815	962	1041	989	938	872	742																						
C	700	730	770	787	706	650	559																						
D	553	590	645	651	665	622	412																						
E	625	766	1203	1190	1050	538	402																						
iluminância média [lux]							741																						
coeficiente de uniformidade							0,54																						

Iluminância sobre o plano de trabalho: classes Iluminação natural + artificial - Data: 21/06/2010 Hora: 12:00								<table border="1"> <tr><td>0</td></tr><tr><td>99</td></tr><tr><td>199</td></tr><tr><td>299</td></tr><tr><td>399</td></tr><tr><td>499</td></tr><tr><td>599</td></tr><tr><td>699</td></tr><tr><td>799</td></tr><tr><td>899</td></tr><tr><td>999</td></tr><tr><td>1099</td></tr><tr><td>1199</td></tr><tr><td>1299</td></tr><tr><td>1399</td></tr><tr><td>1499</td></tr><tr><td>1599</td></tr><tr><td>1699</td></tr><tr><td>1799</td></tr><tr><td>1899</td></tr><tr><td>1999</td></tr></table>	0	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999	1099	1199	1299	1399	1499	1599	1699	1799	1899	1999
0																													
99																													
199																													
299																													
399																													
499																													
599																													
699																													
799																													
899																													
999																													
1099																													
1199																													
1299																													
1399																													
1499																													
1599																													
1699																													
1799																													
1899																													
1999																													
	1	2	3	4	5	6	7																						
A	678	840	1028	1145	1115	987	915																						
B	1299	1425	1468	1443	1412	1377	1215																						
C	1228	1276	1357	1335	1327	1274	1139																						
D	1155	1217	1243	1212	1320	1268	980																						
E	1079	1220	1638	1659	1598	1090	933																						
iluminância média [lux]							1226																						
coeficiente de uniformidade							0,55																						

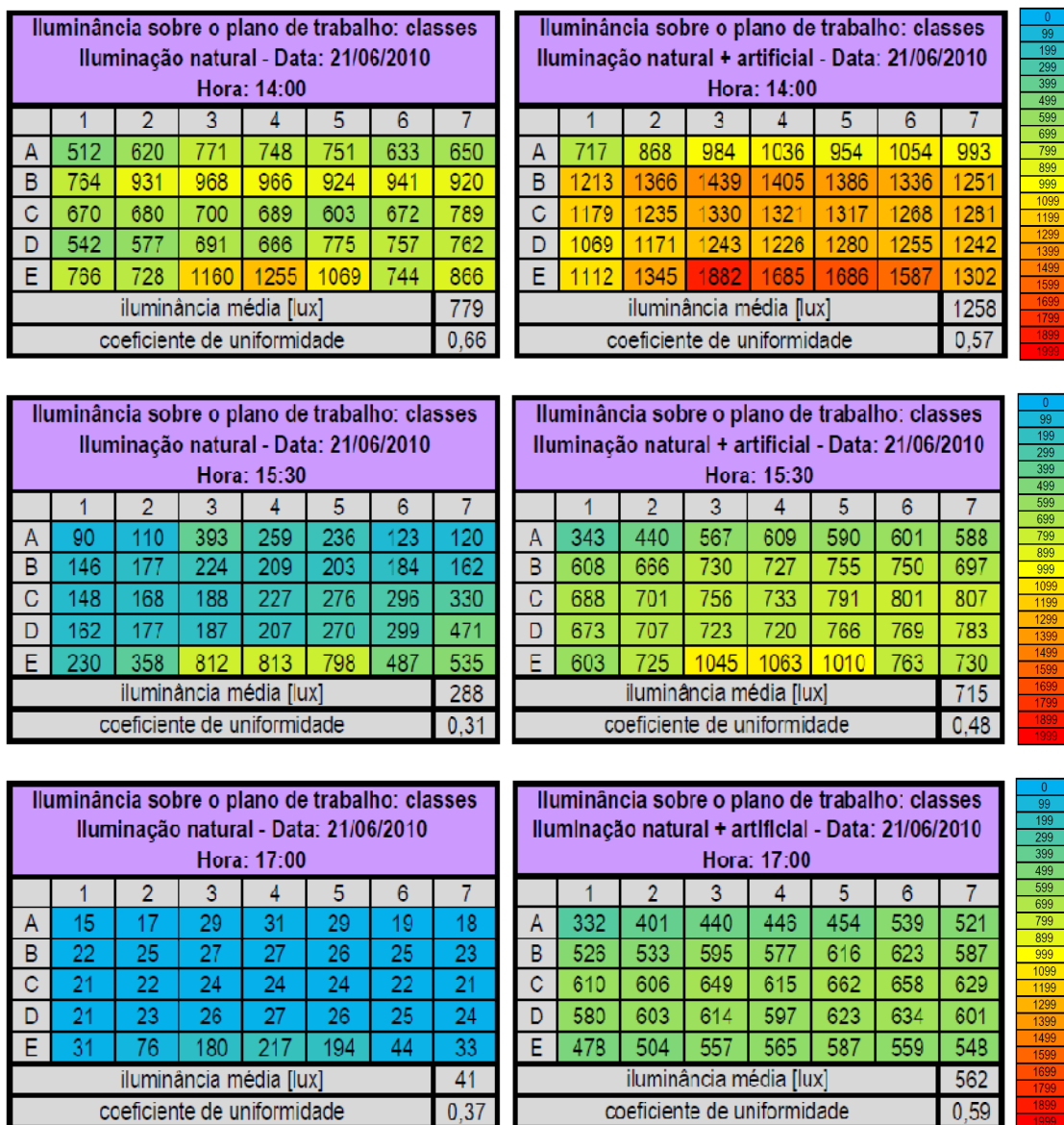


Figura 57: Iluminância sobre os planos de trabalho (classes), ao longo do dia 21 de junho de 2010, sob influência apenas da luz natural e em conjunto desta com o sistema de iluminação artificial.

Observa-se que os pontos com os maiores valores de iluminância, encontram-se próximos às janelas (linhas “A” e “E”), principalmente junto à janela da fachada sul (linha “E”). Este fato ocorre devido ao fato de nestes pontos, a parcela de céu visível ser maior do que naqueles junto à fachada norte, que é protegida por um beiral e está sob a prateleira de luz, causadora de certo sombreamento nesta região.

Sob influência da luz natural, apenas as medições das 12:00 horas e das 14:00 horas obtiveram todos os pontos analisados e médias de iluminância acima dos 300 lux, mínimo recomendado pela NBR 5413 (ABNT 1992). Nestes horários os valores de iluminância foram bastante elevados, sendo que nenhum dos pontos da malha obteve valor inferior a 402 lux e o valor máximo registrado foi de 1255 lux, no ponto 4E, às 14:00 horas.

Nas medições das 8:00 horas, 10:00 horas, 15:30 horas e 17:00 horas, os valores de iluminância média ficaram abaixo do recomendado por norma, sendo que às 17 horas, devido à posição solar e às características de luminosidade do solstício de inverno, foram registrados os valores mais baixos, com um mínimo de 15 lux no ponto A1 e todos os demais pontos analisados abaixo de 300 lux

Às 8:00 horas, apenas 8,57% dos pontos analisados registraram valores de iluminância acima de 300 lux. Já às 10:00 horas e 15:30 horas, houve um incremento nos níveis de iluminância registrados, sendo, respectivamente, 31,42% e 25,71% dos pontos considerados com valores de iluminância mínimos conforme recomendado por norma.

Porém, ao acender as lâmpadas, o sistema de iluminação artificial possibilitou que todas as medições obtivessem valores médios de iluminância acima dos 300 lux, sendo a menor média o valor de 562 lux, registrado às 17:00 horas, e a maior o valor de 1258 lux, registrado às 14:00 horas. Quanto aos valores de iluminância obtidos em cada um dos pontos da malha, apenas o ponto A1, localizado junto à porta da fachada norte, ficou com valor abaixo do mínimo recomendado na NBR 5413 (1992), registrando o valor de 267 lux, às 8:00 horas. Já, o maior valor obtido foi de 1882 lux, no ponto 3E. Este fato pode ser justificado devido à, neste ponto, localizado junto à janela da fachada sul, a parcela de céu visível ser bastante considerável.

Fez-se um comparativo entre as iluminâncias médias obtidas e o ganho alcançado com o uso do sistema de iluminação artificial:

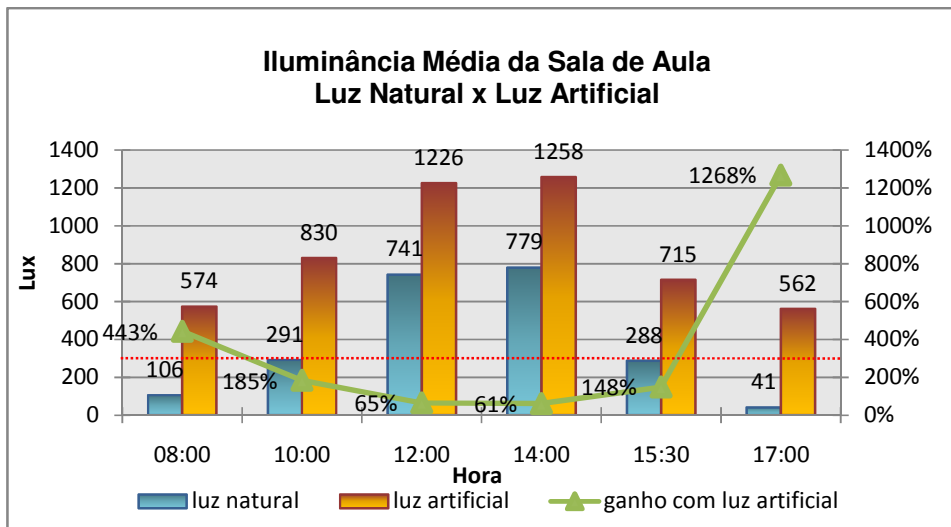


Figura 58: Iluminância média da sala de aula, nos diferentes horários de medição, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial, no dia 21 de junho de 2010.

É perceptível a contribuição do sistema de iluminação artificial para adequar os níveis de iluminância obtidos no interior da sala de aula àqueles exigidos por norma. Destaque para o horário das 17:00 horas, onde a influência da luz natural é mínima e o ganho com a luz artificial chega à 1268%, correspondente à 521 lux. Nas demais medições, este ganho registrou percentuais de 61% a 443%, que corresponderam a um acréscimo de cerca de 500 lux.

De forma a demonstrar a distribuição da luminosidade no interior da sala de aula, a seguir serão expostos os coeficientes de uniformidade, obtidos para cada horário de medição, com e sem a influência da luz artificial:

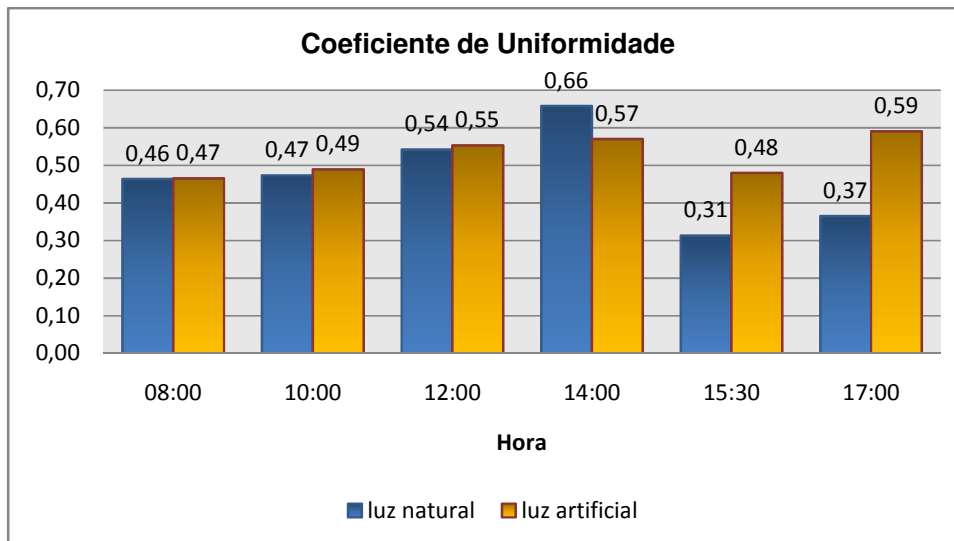


Figura 59: Coeficiente de Uniformidade obtido nas medições realizadas no dia 21 de junho de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

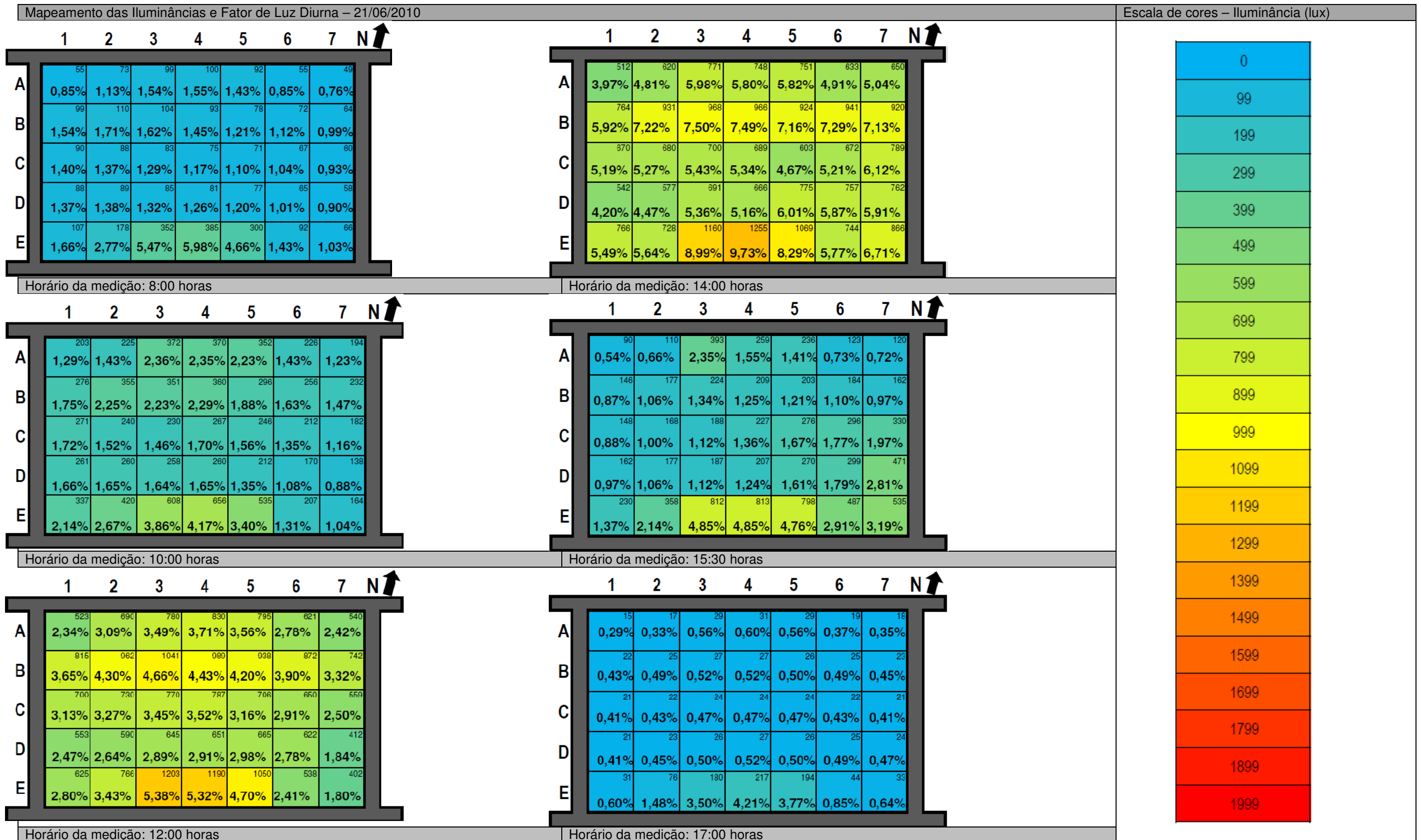
Assim, no solstício de inverno, sob influência apenas da luz natural, os coeficientes de uniformidade variaram de 0,31 a 0,66 e nas medições sob influência da luz natural e artificial os valores variaram de 0,47 a 0,59. A menor diferença observada entre os valores obtidos na medição sob influência da luz natural e artificial pode ser justificada pelo fato de a distribuição das fontes luminosas no recinto acarretar em uma melhor distribuição da luz no ambiente.

Os baixos valores de coeficiente de uniformidade registrados são decorrentes da existência simultânea de pontos precariamente iluminados, como é o caso dos pontos A1, A2, A6 e A7, e pontos iluminados em excesso, como no caso dos pontos E3, E4 e E5

Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna

Expõem-se, a seguir, os Fatores de Luz Diurna encontrados para cada ponto da malha analisada e obtidos a partir da relação da iluminância devido à luz natural sobre este ponto e o simultâneo valor de iluminância externa obtido. Concomitante a isto, serão identificados, a partir de uma escala de cores, os valores de iluminância medidos *in loco* sobre estas superfícies.

Tabela 11: Mapeamento das Iluminâncias e Fator de Luz Diurna ao longo do dia de medição, referente ao Solstício de Inverno.









Conforme apresentado nas imagens acima, o DF varia, assim como a iluminância, e seus maiores valores estão próximos às janelas das fachadas norte e sul, enquanto que os menores valores obtidos estão no perímetro da sala de aula e afastados das janelas.

Influenciado pela condição do céu e pelos registros de iluminância externa, o menor valor de DF obtido foi de 0,29%, no ponto A1, às 17:00 horas, quando o sol já estava se pondo e a iluminância externa era de 5.150 lux. Já, o maior valor foi de 9,73%, no ponto E4, às 14:00 horas, horário e que se registrou 12.900 lux, externamente.

De forma a analisar o comportamento dos valores de DF obtidos para um mesmo ponto, ao longo do dia e sob diferentes condições de céu e de iluminância externa, foram considerados três pontos distintos, ao longo do dia de medição, conforme tabela:

Tabela 12: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna encontrados no Solstício de Inverno, para um mesmo ponto ao longo dia de medição e sob diferentes condições de céu e iluminância externa.

Ponto Horário	A4	C4	E4	Iluminância Externa	Céu
8:00 horas	1,55%	1,17%	5,98%	6.435 lux	
10:00 horas	2,35%	1,70%	4,17%	15.750 lux	
12:00 horas	3,71%	3,52%	5,32%	22.350 lux	
14:00 horas	5,80%	5,34%	9,73%	12.900 lux	
15:30 horas	1,55%	1,36%	4,85%	16.750 lux	
17:00 horas	0,60%	0,47%	4,21%	5.150 lux	

O céu permaneceu claro ao longo do dia e com uma pequena concentração de nuvens no período da tarde. Desta forma, ao contrário do que ocorre com o céu padrão CIE, houve uma grande variabilidade nos valores de DF obtidos para um mesmo ponto analisado.

5.2.3.2 Medições sobre o plano de trabalho: quadro branco

Observam-se os valores de iluminância obtidos sobre a superfície do quadro branco, sob duas condições de iluminação: apenas sob influência da luz natural e sob influência desta, em conjunto com a Iluminação artificial.

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 21/06/2010 Hora: 08:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 21/06/2010 Hora: 08:00			
	1	2	3		1	2	3
A	143		70	A	641		533
B		69		B		632	
C	60		52	C	427		352
iluminância média [lux]			79	iluminância média [lux]			517

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 21/06/2010 Hora: 10:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 21/06/2010 Hora: 10:00			
	1	2	3		1	2	3
A	324		192	A	973		765
B		194		B		826	
C	168		141	C	613		495
iluminância média [lux]			204	iluminância média [lux]			734

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 21/06/2010 Hora: 12:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 21/06/2010 Hora: 12:00			
	1	2	3		1	2	3
A	560		448	A	1095		960
B		444		B		939	
C	260		341	C	648		677
iluminância média [lux]			411	iluminância média [lux]			864

Iluminância sobre a superfície do quadro branco Iluminação natural - Data: 21/06/2010 Hora: 14:00				Iluminância sobre a superfície do quadro branco Il. natural + artificial - Data: 21/06/2010 Hora: 14:00			
	1	2	3		1	2	3
A	423		532	A	964		1005
B		503		B		1063	
C	372		367	C	737		649
iluminância média [lux]			439	iluminância média [lux]			895

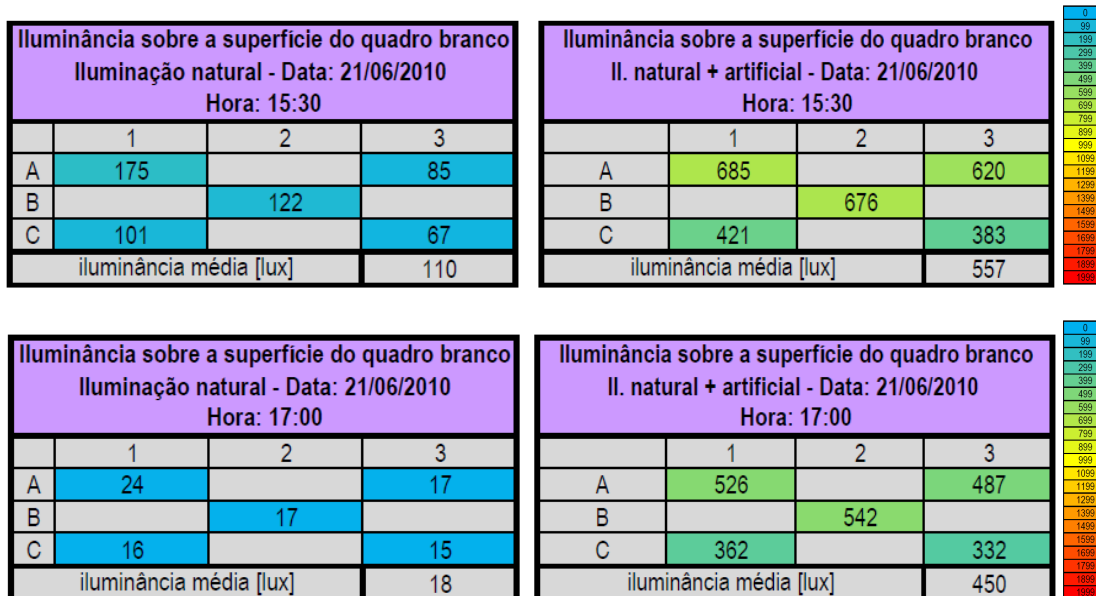


Figura 60: Iluminância sobre a superfície do quadro branco, ao longo do dia 21 de junho de 2010, sob influência apenas da luz natural e desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Constata-se que sob influência apenas da luz natural, nenhum valor de iluminância média sobre a superfície do quadro branco alcançou os 500 lux, recomendados por norma (NBR 5413,1992), assim como 100% dos pontos analisados nas medições das 08:00 horas, 10:00 horas, 15:30 horas, 17:00 horas. Já na medição das 12:00 horas, 20% dos pontos chegaram a valores acima deste mínimo, como o ponto “A1”, que registrou o valor de 560 lux (maior valor obtido nesta condição de iluminação) e, na medição das 14:00 horas, 40% dos pontos ficaram acima do recomendado. Quando acionado o sistema de iluminação artificial, todos os valores de iluminância média, com exceção do das 17:00, obtiveram valores acima do recomendado. Na medição das 8:00 horas e 15:30 horas, 60% dos pontos considerados ficaram acima de 500 lux, assim como 80% dos pontos das 10:00 horas, 100% dos pontos das 12:00 horas e 14:00 horas e 40% dos pontos das 17:00 horas.

É importante ressaltar a presença de pontos com valores bastante acima do recomendado, como o ponto A1, que registrou 1095 lux, às 12:00 horas, ao mesmo tempo em que, neste mesmo horário, o ponto AC registrou 648 lux. Além de a luminosidade em excesso poder acarretar fadiga visual nos usuários, a presença de pontos mais iluminados que outros pode representar ofuscamentos indesejados e que prejudicam a boa visibilidade desta superfície.

Demonstra-se, abaixo, a contribuição do sistema de iluminação artificial, para os níveis de iluminância obtidos junto à superfície do quadro branco:

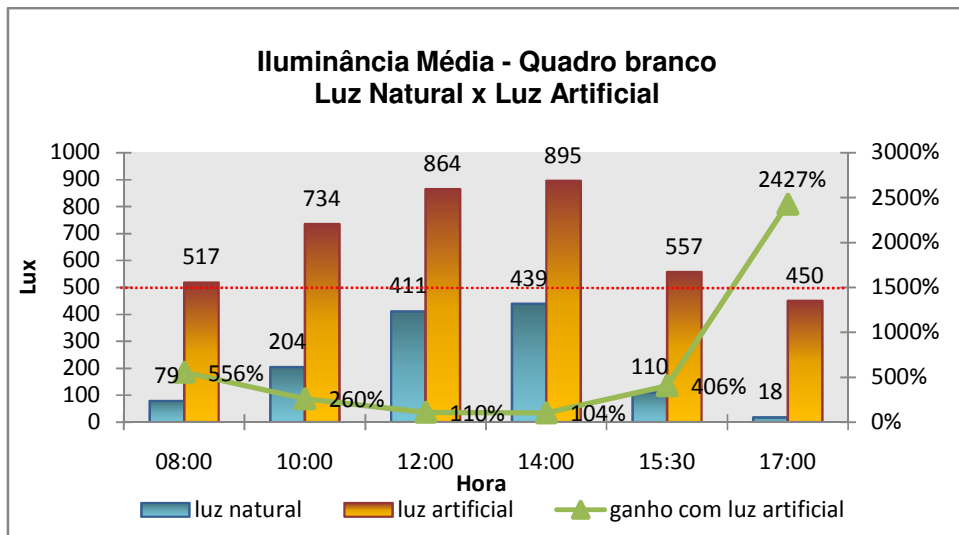


Figura 61: Iluminância média sobre a superfície do quadro branco, nos diferentes horários de medição, do dia 21 de junho de 2010, e o ganho obtido com o sistema de iluminação artificial.

Desta forma, a iluminação artificial teve papel preponderante na iluminância do quadro negro, pois com ganhos que variaram de 104% a 2427%, pôde-se alcançar o nível mínimo de 500 lux, recomendado por norma, salvo na medição das 17:00 horas.

Porém, os valores obtidos nas medições das 10:00, 12:00 e 14:00 horas foram bastante altos, atingindo médias de 734 lux, 864 lux e 895 lux respectivamente. Esta luminosidade em excesso pode estar acarretando em um desconforto visual bastante considerável aos usuários, prejudicando o desenvolvimento das suas atividades, diminuindo sua produtividade, sem falar do conseqüente e desnecessário consumo energético.

5.3 DESEMPENHO LUMÍNICO DA SALA DE AULA ANALISADA E SUA RELAÇÃO COM A INTENÇÃO DOS PROJETISTAS

Tendo como base as características da sala de aula e as medições realizadas ao longo do ano, estes dados serão abordadas em conjunto, de forma a analisar o desempenho lumínico da sala de aula, como um todo, destacando os principais elementos conformadores e influentes no seu desempenho. Após, os resultados obtidos serão confrontados com as intenções projetuais dos autores da edificação, quanto ao conforto lumínico pretendido com esta edificação.

5.3.1 Desempenho lumínico da sala de aula

Ao analisar o desempenho lumínico da sala de aula, alguns elementos foram básicos e influentes no resultados de todas as medições lumínicas obtidas. Estes elementos se referem às particularidades da edificação em si, como sua orientação, localização no terreno, volumetria, aberturas e materiais de revestimento.

Quanto à orientação e localização no terreno, pôde-se observar, a partir do projeto e das visitas *in loco*, que a orientação das principais fachadas da edificação, na direção norte/sul é adequada. Esta orientação possibilita, tanto a incidência da radiação solar ao longo de praticamente todo o dia sobre a fachada norte, como o aproveitamento da luz difusa e proveniente da abóboda celeste, através da esquadria da fachada sul.

Importante ressaltar que de forma a não possibilitar a incidência da radiação solar direta através das esquadrias da fachada norte, esta é protegida por um grande beiral, e possui, além de uma janela baixa, uma janela alta, onde foi locada uma prateleira de luz de forma a refletir a luz incidente. Ao longo das medições foi-se questionando o papel desta prateleira no incremento da luminosidade interna, fato que será abordado a seguir.

Junto à fachada sul não existe nenhum elemento de proteção, apenas um maciço de vegetação à cerca de 5 metros de distância, que barra parte da parcela de céu visível. A partir dos pontos localizados próximos à janela desta fachada, a parcela de céu visível é considerável e responsável por níveis de iluminância bastante altos.

Internamente as superfícies são bastante reflexivas, salvo o piso cerâmico de cor escura. A utilização de fórmica alto brilho nas superfícies das classes dos alunos e do quadro negro é responsável pela existência de ofuscamentos indesejados, causando certo desconforto visual aos usuários, devido ao excesso de brilho e contraste. Ao se colocar na posição dos usuários das classes, muitas vezes se observou a presença de reflexões nas superfícies destas mesas e do quadro, seja pela presença da luz natural, seja pela reflexão das fontes de luz artificial.

A seguir, as conseqüências dos fatos levantados acima poderão ser conferidas na apresentação dos resultados gerais a respeito do desempenho lumínico da sala de aula analisada. Os resultados serão apresentados levando-se em consideração os dois principais planos de trabalho analisados (classes e quadro branco) e sob as duas condições de

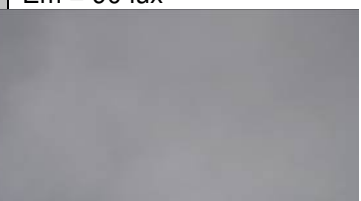
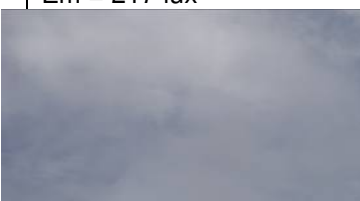
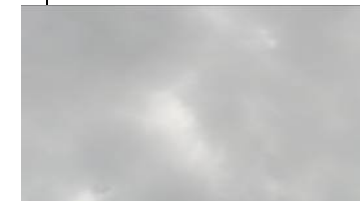
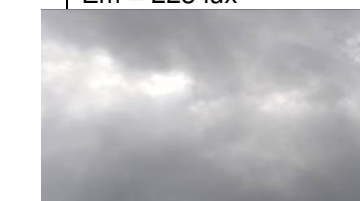


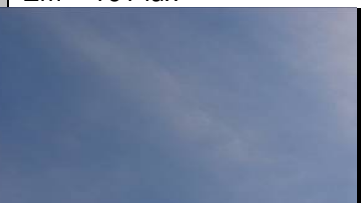
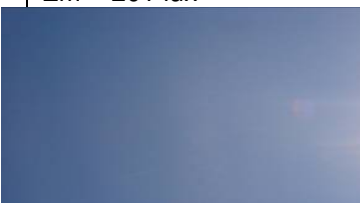

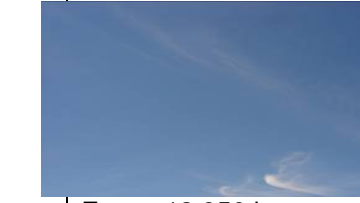








análise: sob influência apenas da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Importante ressaltar que, nesta análise, o cruzamento e comparação entre os dados obtidos levaram em consideração as particularidades de cada medição, conforme as características próprias da época do ano em que foram obtidas, as características do céu no momento da medição, os níveis de iluminância externa, entre outros.

5.3.1.1 Iluminância sobre o plano de trabalho: classes

Ao analisar as medições, em conjunto, observou-se um comportamento similar na distribuição da luz natural, ao longo do ano, no interior da sala de aula. A partir da análise das medições realizadas sobre as classes dos alunos, fica nítida a existência de zonas de maior e menor iluminância, como se pode visualizar:

Tabela 13: Resultados das medições lumínicas sobre o plano de trabalho localizado sobre as classes dos alunos, sob influência da luz natural.

	8:00 horas	10:00 horas	12:00 horas	14:00 horas	15:30 horas	17:00 horas	Escal a de cores (lux)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Solstício da Verão	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>28</td><td>60</td><td>90</td><td>79</td><td>60</td><td>32</td><td>29</td></tr> <tr><td>B</td><td>47</td><td>62</td><td>64</td><td>59</td><td>47</td><td>44</td><td>39</td></tr> <tr><td>C</td><td>45</td><td>48</td><td>49</td><td>46</td><td>45</td><td>41</td><td>36</td></tr> <tr><td>D</td><td>48</td><td>55</td><td>58</td><td>62</td><td>56</td><td>48</td><td>40</td></tr> <tr><td>E</td><td>70</td><td>225</td><td>500</td><td>475</td><td>367</td><td>51</td><td>38</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>90</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,31</td></tr> </table> <p>Em = 90 lux</p>  <p>Eext = 9.931 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	28	60	90	79	60	32	29	B	47	62	64	59	47	44	39	C	45	48	49	46	45	41	36	D	48	55	58	62	56	48	40	E	70	225	500	475	367	51	38	iluminância média [lux]							90	coeficiente de uniformidade							0,31	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>61</td><td>124</td><td>178</td><td>160</td><td>138</td><td>76</td><td>69</td></tr> <tr><td>B</td><td>109</td><td>134</td><td>141</td><td>135</td><td>117</td><td>106</td><td>96</td></tr> <tr><td>C</td><td>107</td><td>110</td><td>114</td><td>110</td><td>108</td><td>99</td><td>86</td></tr> <tr><td>D</td><td>108</td><td>128</td><td>144</td><td>147</td><td>136</td><td>113</td><td>93</td></tr> <tr><td>E</td><td>157</td><td>732</td><td>1285</td><td>1117</td><td>830</td><td>154</td><td>95</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>217</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,23</td></tr> </table> <p>Em = 217 lux</p>  <p>Eext = 28.045 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	61	124	178	160	138	76	69	B	109	134	141	135	117	106	96	C	107	110	114	110	108	99	86	D	108	128	144	147	136	113	93	E	157	732	1285	1117	830	154	95	iluminância média [lux]							217	coeficiente de uniformidade							0,23	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>88</td><td>162</td><td>250</td><td>228</td><td>194</td><td>105</td><td>96</td></tr> <tr><td>B</td><td>148</td><td>185</td><td>197</td><td>187</td><td>157</td><td>143</td><td>130</td></tr> <tr><td>C</td><td>130</td><td>151</td><td>156</td><td>153</td><td>149</td><td>138</td><td>120</td></tr> <tr><td>D</td><td>158</td><td>177</td><td>192</td><td>202</td><td>189</td><td>161</td><td>136</td></tr> <tr><td>E</td><td>211</td><td>618</td><td>1680</td><td>1512</td><td>1311</td><td>190</td><td>139</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>293</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,30</td></tr> </table> <p>Em = 293 lux</p>  <p>Eext = 40.150 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	88	162	250	228	194	105	96	B	148	185	197	187	157	143	130	C	130	151	156	153	149	138	120	D	158	177	192	202	189	161	136	E	211	618	1680	1512	1311	190	139	iluminância média [lux]							293	coeficiente de uniformidade							0,30	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>75</td><td>125</td><td>215</td><td>191</td><td>172</td><td>101</td><td>91</td></tr> <tr><td>B</td><td>125</td><td>150</td><td>168</td><td>163</td><td>149</td><td>140</td><td>125</td></tr> <tr><td>C</td><td>121</td><td>130</td><td>138</td><td>140</td><td>133</td><td>122</td><td>108</td></tr> <tr><td>D</td><td>123</td><td>147</td><td>162</td><td>170</td><td>162</td><td>147</td><td>126</td></tr> <tr><td>E</td><td>160</td><td>366</td><td>1050</td><td>1154</td><td>990</td><td>204</td><td>135</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>228</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,33</td></tr> </table> <p>Em = 228 lux</p>  <p>Eext = 33.300 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	75	125	215	191	172	101	91	B	125	150	168	163	149	140	125	C	121	130	138	140	133	122	108	D	123	147	162	170	162	147	126	E	160	366	1050	1154	990	204	135	iluminância média [lux]							228	coeficiente de uniformidade							0,33	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>83</td><td>142</td><td>218</td><td>185</td><td>167</td><td>90</td><td>82</td></tr> <tr><td>B</td><td>115</td><td>152</td><td>164</td><td>160</td><td>133</td><td>125</td><td>112</td></tr> <tr><td>C</td><td>100</td><td>110</td><td>124</td><td>123</td><td>113</td><td>100</td><td>96</td></tr> <tr><td>D</td><td>115</td><td>133</td><td>143</td><td>196</td><td>150</td><td>133</td><td>114</td></tr> <tr><td>E</td><td>157</td><td>293</td><td>832</td><td>930</td><td>709</td><td>207</td><td>128</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>199</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,41</td></tr> </table> <p>Em = 199 lux</p>  <p>Eext = 35.750 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	83	142	218	185	167	90	82	B	115	152	164	160	133	125	112	C	100	110	124	123	113	100	96	D	115	133	143	196	150	133	114	E	157	293	832	930	709	207	128	iluminância média [lux]							199	coeficiente de uniformidade							0,41	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>67</td><td>123</td><td>206</td><td>184</td><td>175</td><td>112</td><td>100</td></tr> <tr><td>B</td><td>138</td><td>177</td><td>183</td><td>190</td><td>158</td><td>153</td><td>136</td></tr> <tr><td>C</td><td>137</td><td>151</td><td>163</td><td>159</td><td>156</td><td>144</td><td>126</td></tr> <tr><td>D</td><td>117</td><td>157</td><td>182</td><td>190</td><td>185</td><td>155</td><td>138</td></tr> <tr><td>E</td><td>154</td><td>244</td><td>619</td><td>783</td><td>663</td><td>226</td><td>127</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>202</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,33</td></tr> </table> <p>Em = 202 lux</p>  <p>Eext = 23.300 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	67	123	206	184	175	112	100	B	138	177	183	190	158	153	136	C	137	151	163	159	156	144	126	D	117	157	182	190	185	155	138	E	154	244	619	783	663	226	127	iluminância média [lux]							202	coeficiente de uniformidade							0,33	<table border="1"> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>99</td></tr> <tr><td>199</td></tr> <tr><td>299</td></tr> <tr><td>399</td></tr> <tr><td>499</td></tr> <tr><td>599</td></tr> <tr><td>699</td></tr> <tr><td>799</td></tr> <tr><td>899</td></tr> <tr><td>999</td></tr> <tr><td>1099</td></tr> <tr><td>1199</td></tr> <tr><td>1299</td></tr> <tr><td>1399</td></tr> <tr><td>1499</td></tr> <tr><td>1599</td></tr> <tr><td>1699</td></tr> <tr><td>1799</td></tr> <tr><td>1899</td></tr> <tr><td>1999</td></tr> <tr><td>2099</td></tr> </table>	0	99	199	299	399	499	599	699	799	899	999	1099	1199	1299	1399	1499	1599	1699	1799	1899	1999	2099
		1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	A	28	60	90	79	60	32	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
B	47	62	64	59	47	44	39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	45	48	49	46	45	41	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	48	55	58	62	56	48	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	70	225	500	475	367	51	38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	61	124	178	160	138	76	69																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	109	134	141	135	117	106	96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	107	110	114	110	108	99	86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	108	128	144	147	136	113	93																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	157	732	1285	1117	830	154	95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							217																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	88	162	250	228	194	105	96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	148	185	197	187	157	143	130																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	130	151	156	153	149	138	120																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	158	177	192	202	189	161	136																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	211	618	1680	1512	1311	190	139																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							293																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	75	125	215	191	172	101	91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	125	150	168	163	149	140	125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	121	130	138	140	133	122	108																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	123	147	162	170	162	147	126																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	160	366	1050	1154	990	204	135																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							228																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	83	142	218	185	167	90	82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	115	152	164	160	133	125	112																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	100	110	124	123	113	100	96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	115	133	143	196	150	133	114																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	157	293	832	930	709	207	128																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							199																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	67	123	206	184	175	112	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	138	177	183	190	158	153	136																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	137	151	163	159	156	144	126																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	117	157	182	190	185	155	138																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	154	244	619	783	663	226	127																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							202																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
99																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
199																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
299																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
399																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
499																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
599																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
699																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
799																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
899																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
999																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1099																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1199																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1299																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1399																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1499																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1599																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1699																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1799																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1899																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1999																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2099																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Equinócio de Outono	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>65</td><td>108</td><td>143</td><td>142</td><td>129</td><td>76</td><td>71</td></tr> <tr><td>B</td><td>129</td><td>138</td><td>142</td><td>136</td><td>119</td><td>108</td><td>99</td></tr> <tr><td>C</td><td>111</td><td>120</td><td>127</td><td>126</td><td>122</td><td>111</td><td>103</td></tr> <tr><td>D</td><td>110</td><td>127</td><td>139</td><td>145</td><td>135</td><td>117</td><td>101</td></tr> <tr><td>E</td><td>154</td><td>389</td><td>558</td><td>579</td><td>384</td><td>157</td><td>113</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>161</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,40</td></tr> </table> <p>Em = 161 lux</p>  <p>Eext = 6.750 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	65	108	143	142	129	76	71	B	129	138	142	136	119	108	99	C	111	120	127	126	122	111	103	D	110	127	139	145	135	117	101	E	154	389	558	579	384	157	113	iluminância média [lux]							161	coeficiente de uniformidade							0,40	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>91</td><td>146</td><td>226</td><td>203</td><td>191</td><td>117</td><td>107</td></tr> <tr><td>B</td><td>160</td><td>191</td><td>202</td><td>202</td><td>178</td><td>159</td><td>146</td></tr> <tr><td>C</td><td>157</td><td>172</td><td>184</td><td>170</td><td>175</td><td>155</td><td>139</td></tr> <tr><td>D</td><td>144</td><td>167</td><td>196</td><td>205</td><td>187</td><td>150</td><td>123</td></tr> <tr><td>E</td><td>171</td><td>367</td><td>609</td><td>521</td><td>436</td><td>168</td><td>120</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>201</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,45</td></tr> </table> <p>Em = 201 lux</p>  <p>Eext = 12.950 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	91	146	226	203	191	117	107	B	160	191	202	202	178	159	146	C	157	172	184	170	175	155	139	D	144	167	196	205	187	150	123	E	171	367	609	521	436	168	120	iluminância média [lux]							201	coeficiente de uniformidade							0,45	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>110</td><td>193</td><td>281</td><td>258</td><td>226</td><td>146</td><td>131</td></tr> <tr><td>B</td><td>203</td><td>248</td><td>264</td><td>258</td><td>227</td><td>206</td><td>187</td></tr> <tr><td>C</td><td>198</td><td>222</td><td>241</td><td>240</td><td>226</td><td>198</td><td>186</td></tr> <tr><td>D</td><td>181</td><td>229</td><td>257</td><td>271</td><td>241</td><td>190</td><td>162</td></tr> <tr><td>E</td><td>206</td><td>377</td><td>551</td><td>590</td><td>583</td><td>201</td><td>157</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>247</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,45</td></tr> </table> <p>Em = 247 lux</p>  <p>Eext = 18.250 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	110	193	281	258	226	146	131	B	203	248	264	258	227	206	187	C	198	222	241	240	226	198	186	D	181	229	257	271	241	190	162	E	206	377	551	590	583	201	157	iluminância média [lux]							247	coeficiente de uniformidade							0,45	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>274</td><td>379</td><td>514</td><td>502</td><td>460</td><td>365</td><td>343</td></tr> <tr><td>B</td><td>511</td><td>593</td><td>638</td><td>635</td><td>619</td><td>572</td><td>530</td></tr> <tr><td>C</td><td>445</td><td>488</td><td>521</td><td>553</td><td>530</td><td>500</td><td>460</td></tr> <tr><td>D</td><td>309</td><td>364</td><td>400</td><td>422</td><td>404</td><td>354</td><td>305</td></tr> <tr><td>E</td><td>279</td><td>468</td><td>727</td><td>702</td><td>561</td><td>335</td><td>275</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>467</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,59</td></tr> </table> <p>Em = 467 lux</p>  <p>Eext = 13.950 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	274	379	514	502	460	365	343	B	511	593	638	635	619	572	530	C	445	488	521	553	530	500	460	D	309	364	400	422	404	354	305	E	279	468	727	702	561	335	275	iluminância média [lux]							467	coeficiente de uniformidade							0,59	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>305</td><td>393</td><td>508</td><td>494</td><td>489</td><td>405</td><td>378</td></tr> <tr><td>B</td><td>470</td><td>560</td><td>614</td><td>633</td><td>625</td><td>596</td><td>550</td></tr> <tr><td>C</td><td>412</td><td>446</td><td>591</td><td>538</td><td>524</td><td>506</td><td>486</td></tr> <tr><td>D</td><td>277</td><td>320</td><td>354</td><td>372</td><td>364</td><td>333</td><td>306</td></tr> <tr><td>E</td><td>250</td><td>380</td><td>617</td><td>585</td><td>531</td><td>338</td><td>292</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>453</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,55</td></tr> </table> <p>Em = 453 lux</p>  <p>Eext = 12.400 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	305	393	508	494	489	405	378	B	470	560	614	633	625	596	550	C	412	446	591	538	524	506	486	D	277	320	354	372	364	333	306	E	250	380	617	585	531	338	292	iluminância média [lux]							453	coeficiente de uniformidade							0,55	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>161</td><td>228</td><td>291</td><td>305</td><td>318</td><td>263</td><td>278</td></tr> <tr><td>B</td><td>256</td><td>313</td><td>318</td><td>371</td><td>382</td><td>369</td><td>400</td></tr> <tr><td>C</td><td>228</td><td>253</td><td>279</td><td>321</td><td>320</td><td>346</td><td>378</td></tr> <tr><td>D</td><td>161</td><td>189</td><td>210</td><td>228</td><td>240</td><td>250</td><td>297</td></tr> <tr><td>E</td><td>154</td><td>257</td><td>481</td><td>447</td><td>458</td><td>238</td><td>242</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>295</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,52</td></tr> </table> <p>Em = 295 lux</p>  <p>Eext = 7.500 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	161	228	291	305	318	263	278	B	256	313	318	371	382	369	400	C	228	253	279	321	320	346	378	D	161	189	210	228	240	250	297	E	154	257	481	447	458	238	242	iluminância média [lux]							295	coeficiente de uniformidade							0,52																							
		1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	A	65	108	143	142	129	76	71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
B	129	138	142	136	119	108	99																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	111	120	127	126	122	111	103																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	110	127	139	145	135	117	101																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	154	389	558	579	384	157	113																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							161																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	91	146	226	203	191	117	107																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	160	191	202	202	178	159	146																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	157	172	184	170	175	155	139																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	144	167	196	205	187	150	123																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	171	367	609	521	436	168	120																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							201																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	110	193	281	258	226	146	131																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	203	248	264	258	227	206	187																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	198	222	241	240	226	198	186																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	181	229	257	271	241	190	162																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	206	377	551	590	583	201	157																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							247																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	274	379	514	502	460	365	343																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	511	593	638	635	619	572	530																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	445	488	521	553	530	500	460																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	309	364	400	422	404	354	305																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	279	468	727	702	561	335	275																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							467																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	305	393	508	494	489	405	378																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	470	560	614	633	625	596	550																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	412	446	591	538	524	506	486																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	277	320	354	372	364	333	306																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	250	380	617	585	531	338	292																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							453																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	161	228	291	305	318	263	278																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	256	313	318	371	382	369	400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	228	253	279	321	320	346	378																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	161	189	210	228	240	250	297																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	154	257	481	447	458	238	242																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							295																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Solstício da Inverno	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>55</td><td>73</td><td>99</td><td>100</td><td>92</td><td>55</td><td>49</td></tr> <tr><td>B</td><td>99</td><td>110</td><td>104</td><td>93</td><td>78</td><td>72</td><td>64</td></tr> <tr><td>C</td><td>90</td><td>88</td><td>83</td><td>75</td><td>71</td><td>67</td><td>60</td></tr> <tr><td>D</td><td>88</td><td>89</td><td>85</td><td>81</td><td>77</td><td>65</td><td>58</td></tr> <tr><td>E</td><td>107</td><td>178</td><td>352</td><td>385</td><td>300</td><td>92</td><td>66</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>106</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,46</td></tr> </table> <p>Em = 106 lux</p>  <p>Eext = 6.435 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	55	73	99	100	92	55	49	B	99	110	104	93	78	72	64	C	90	88	83	75	71	67	60	D	88	89	85	81	77	65	58	E	107	178	352	385	300	92	66	iluminância média [lux]							106	coeficiente de uniformidade							0,46	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>203</td><td>225</td><td>372</td><td>370</td><td>352</td><td>226</td><td>194</td></tr> <tr><td>B</td><td>276</td><td>355</td><td>351</td><td>360</td><td>296</td><td>256</td><td>232</td></tr> <tr><td>C</td><td>271</td><td>240</td><td>230</td><td>267</td><td>246</td><td>212</td><td>182</td></tr> <tr><td>D</td><td>261</td><td>260</td><td>258</td><td>260</td><td>212</td><td>170</td><td>138</td></tr> <tr><td>E</td><td>337</td><td>420</td><td>608</td><td>656</td><td>535</td><td>207</td><td>164</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>291</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,47</td></tr> </table> <p>Em = 291 lux</p>  <p>Eext = 15.750 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	203	225	372	370	352	226	194	B	276	355	351	360	296	256	232	C	271	240	230	267	246	212	182	D	261	260	258	260	212	170	138	E	337	420	608	656	535	207	164	iluminância média [lux]							291	coeficiente de uniformidade							0,47	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>523</td><td>690</td><td>780</td><td>830</td><td>795</td><td>621</td><td>540</td></tr> <tr><td>B</td><td>815</td><td>962</td><td>1041</td><td>989</td><td>938</td><td>672</td><td>742</td></tr> <tr><td>C</td><td>700</td><td>730</td><td>770</td><td>787</td><td>706</td><td>650</td><td>559</td></tr> <tr><td>D</td><td>553</td><td>590</td><td>645</td><td>651</td><td>665</td><td>622</td><td>412</td></tr> <tr><td>E</td><td>625</td><td>766</td><td>1203</td><td>1190</td><td>1050</td><td>536</td><td>402</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>741</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,54</td></tr> </table> <p>Em = 741 lux</p>  <p>Eext = 22.350 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	523	690	780	830	795	621	540	B	815	962	1041	989	938	672	742	C	700	730	770	787	706	650	559	D	553	590	645	651	665	622	412	E	625	766	1203	1190	1050	536	402	iluminância média [lux]							741	coeficiente de uniformidade							0,54	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>512</td><td>620</td><td>771</td><td>743</td><td>751</td><td>633</td><td>650</td></tr> <tr><td>B</td><td>764</td><td>931</td><td>968</td><td>965</td><td>924</td><td>841</td><td>920</td></tr> <tr><td>C</td><td>670</td><td>680</td><td>700</td><td>689</td><td>603</td><td>672</td><td>789</td></tr> <tr><td>D</td><td>542</td><td>577</td><td>601</td><td>665</td><td>775</td><td>757</td><td>762</td></tr> <tr><td>E</td><td>766</td><td>728</td><td>1160</td><td>1255</td><td>1069</td><td>711</td><td>868</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>779</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,68</td></tr> </table> <p>Em = 779 lux</p>  <p>Eext = 12.900 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	512	620	771	743	751	633	650	B	764	931	968	965	924	841	920	C	670	680	700	689	603	672	789	D	542	577	601	665	775	757	762	E	766	728	1160	1255	1069	711	868	iluminância média [lux]							779	coeficiente de uniformidade							0,68	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>90</td><td>110</td><td>393</td><td>259</td><td>236</td><td>123</td><td>120</td></tr> <tr><td>B</td><td>146</td><td>177</td><td>224</td><td>209</td><td>203</td><td>184</td><td>162</td></tr> <tr><td>C</td><td>148</td><td>168</td><td>188</td><td>227</td><td>276</td><td>296</td><td>330</td></tr> <tr><td>D</td><td>162</td><td>177</td><td>187</td><td>207</td><td>270</td><td>299</td><td>471</td></tr> <tr><td>E</td><td>230</td><td>358</td><td>812</td><td>813</td><td>768</td><td>487</td><td>535</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>288</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,31</td></tr> </table> <p>Em = 288 lux</p>  <p>Eext = 16.750 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	90	110	393	259	236	123	120	B	146	177	224	209	203	184	162	C	148	168	188	227	276	296	330	D	162	177	187	207	270	299	471	E	230	358	812	813	768	487	535	iluminância média [lux]							288	coeficiente de uniformidade							0,31	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>A</td><td>15</td><td>17</td><td>29</td><td>31</td><td>29</td><td>19</td><td>10</td></tr> <tr><td>B</td><td>22</td><td>25</td><td>27</td><td>27</td><td>25</td><td>25</td><td>23</td></tr> <tr><td>C</td><td>21</td><td>22</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>22</td><td>21</td></tr> <tr><td>D</td><td>21</td><td>23</td><td>25</td><td>27</td><td>25</td><td>25</td><td>24</td></tr> <tr><td>E</td><td>31</td><td>76</td><td>180</td><td>217</td><td>191</td><td>11</td><td>33</td></tr> <tr><td colspan="7">iluminância média [lux]</td><td>41</td></tr> <tr><td colspan="7">coeficiente de uniformidade</td><td>0,37</td></tr> </table> <p>Em = 41 lux</p>  <p>Eext = 5.150 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	15	17	29	31	29	19	10	B	22	25	27	27	25	25	23	C	21	22	24	24	24	22	21	D	21	23	25	27	25	25	24	E	31	76	180	217	191	11	33	iluminância média [lux]							41	coeficiente de uniformidade							0,37																							
		1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	A	55	73	99	100	92	55	49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
B	99	110	104	93	78	72	64																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	90	88	83	75	71	67	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	88	89	85	81	77	65	58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	107	178	352	385	300	92	66																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							106																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	203	225	372	370	352	226	194																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	276	355	351	360	296	256	232																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	271	240	230	267	246	212	182																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	261	260	258	260	212	170	138																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	337	420	608	656	535	207	164																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							291																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	523	690	780	830	795	621	540																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	815	962	1041	989	938	672	742																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	700	730	770	787	706	650	559																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	553	590	645	651	665	622	412																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	625	766	1203	1190	1050	536	402																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							741																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	512	620	771	743	751	633	650																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	764	931	968	965	924	841	920																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	670	680	700	689	603	672	789																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	542	577	601	665	775	757	762																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	766	728	1160	1255	1069	711	868																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							779																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,68																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	90	110	393	259	236	123	120																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	146	177	224	209	203	184	162																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	148	168	188	227	276	296	330																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	162	177	187	207	270	299	471																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	230	358	812	813	768	487	535																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							288																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A	15	17	29	31	29	19	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
B	22	25	27	27	25	25	23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
C	21	22	24	24	24	22	21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	21	23	25	27	25	25	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E	31	76	180	217	191	11	33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
iluminância média [lux]							41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
coeficiente de uniformidade							0,37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Junto à janela da fachada sul estão localizados os pontos de maior iluminância. Este fato é justificado tanto pela contribuição da reflexão da luz sobre a prateleira de luz localizada sob a janela alta da fachada norte, como pela inexistência de uma proteção solar nesta fachada, o que faz com que a luz proveniente da parcela de céu visível seja considerável sobre estes pontos e ocasione, tanto um aumento nos níveis de iluminância, como um desconforto visual aos usuários, devido ao ofuscamento gerado pela reflexão desta luminosidade nas superfícies de trabalho.

A segunda zona de valores mais elevados situa-se junto à outra esquadria localizada na fachada norte. Por mais que esta fachada seja a que recebe maior incidência da radiação solar ao longo do dia, o grande beiral que a protege faz com que esta incidência direta não seja percebida no interior da edificação e amenize os valores obtidos.

Os pontos mais afastados das janelas e localizados no perímetro da sala de aula são os de menor iluminância registrada, devido à presença da luz natural nestes pontos ser bastante reduzida. Caso as janelas localizadas nas fachadas norte e sul tivessem suas larguras aumentadas, certamente estes níveis seriam melhorados.

Nos demais pontos, situados mais ao centro da sala de aula, existe uma maior uniformidade na distribuição dos níveis de iluminância, mesmo que estes valores sejam baixos. Na análise destes últimos pontos é interessante ressaltar a função da prateleira de luz, localizada ao longo da fachada norte. Questiona-se até que ponto sua existência acarreta numa maior luminosidade, sendo que nos horários em que sua existência se justificaria os níveis de iluminância sobre os pontos centrais não tiveram um incremento significativo, como nos horários das 12 e 14 horas, sobre as linhas C e D. Alguns fatores podem estar contribuindo para sua baixa eficácia, como o acúmulo de poeira sobre esta superfície, o possível dimensionamento equivocado desta estrutura e a projeção da cobertura existente sobre esta água do telhado. De forma a analisar este elemento, no próximo capítulo esta estrutura será simulada e algumas alterações serão testadas.

A partir da análise da distribuição da luz natural no interior da sala de aula, outro dado pôde ser analisado: o Coeficiente de Uniformidade. Este coeficiente, que indica o quão bem a luz se distribui no interior do ambiente, variou de 0,28 a 0,66. Os baixos valores registrados são decorrentes, principalmente, da existência concomitante de valores muito elevados de iluminância, como os localizados junto à fachada sul e de outros muito baixos, como os localizados no perímetro da sala. Acredita-se que, caso a esquadria da fachada sul tivesse algum tipo elemento que redirecionasse a luz incidente, os níveis de iluminância sobre os

pontos localizados junto à janela desta fachada seriam menores. Outro fator que ocasiona os baixos coeficientes é a má distribuição da luz no interior da sala de aula, a partir das janelas existentes. Caso estas fossem mais extensas, menos áreas sombreadas existiriam e melhor a luz se distribuiria.

Ao analisar as iluminâncias médias, pôde-se observar que em poucas medições a iluminação natural foi suficiente para atingir os níveis mínimos de iluminância recomendados por norma. O melhor aproveitamento desta fonte de luz ocorreu nos dias de céu claro e nos horários das 12:00 às 15:30 horas. Já a menor influência da luz natural ocorreu na primeira e última medição, horários próximos ao nascer e pôr do sol. Porém, devido às características inerentes da luz natural não gerar uma condição uniforme de distribuição de luz, a iluminância média não se apresenta como um parâmetro determinante na análise do sistema de iluminação natural.

Dada a situação acima, fica clara a importância do sistema de iluminação artificial na complementação da luz natural. Desta forma, na tabela abaixo, observa-se a contribuição do sistema de iluminação artificial nos níveis de iluminação obtidos e na distribuição da luz no interior da sala de aula:

Tabela 14: Comparação dos resultados das medições lumínicas sobre o plano de trabalho localizado sobre as classes dos alunos, sob influência da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

	8:00 horas	10:00 horas	12:00 horas	14:00 horas	15:30 horas	17:00 horas	Escala de Cores (lux)
Verão	Luz natural Em = 90 lux	Luz natural Em = 217 lux	Luz natural Em = 293 lux	Luz natural Em = 228 lux	Luz natural Em = 199 lux	Luz natural Em = 202 lux	0 99 199 299 399 499 599 699 799 899 999
	Luz natural + artificial Em = 463 lux	Luz natural + artificial Em = 616 lux	Luz natural + artificial Em = 714 lux	Luz natural + artificial Em = 618 lux	Luz natural + artificial Em = 583 lux	Luz natural + artificial Em = 563 lux	1099 1199 1299 1399 1499 1599 1699 1799 1899 1999
	Luz natural Em = 161 lux	Luz natural Em = 201 lux	Luz natural Em = 247 lux	Luz natural Em = 467 lux	Luz natural Em = 453 lux	Luz natural Em = 295 lux	
	Luz natural + artificial Em = 735 lux	Luz natural + artificial Em = 776 lux	Luz natural + artificial Em = 831 lux	Luz natural + artificial Em = 977 lux	Luz natural + artificial Em = 1.020 lux	Luz natural + artificial Em = 855 lux	
	Luz natural Em = 106 lux	Luz natural Em = 291 lux	Luz natural Em = 741 lux	Luz natural Em = 779 lux	Luz natural Em = 288 lux	Luz natural Em = 41 lux	
	Luz natural + artificial Em = 574 lux	Luz natural + artificial Em = 830 lux	Luz natural + artificial Em = 1.226 lux	Luz natural + artificial Em = 1.258 lux	Luz natural + artificial Em = 715 lux	Luz natural + artificial Em = 562 lux	
Outono	Luz natural Em = 161 lux	Luz natural Em = 201 lux	Luz natural Em = 247 lux	Luz natural Em = 467 lux	Luz natural Em = 453 lux	Luz natural Em = 295 lux	
	Luz natural + artificial Em = 735 lux	Luz natural + artificial Em = 776 lux	Luz natural + artificial Em = 831 lux	Luz natural + artificial Em = 977 lux	Luz natural + artificial Em = 1.020 lux	Luz natural + artificial Em = 855 lux	
	Luz natural Em = 106 lux	Luz natural Em = 291 lux	Luz natural Em = 741 lux	Luz natural Em = 779 lux	Luz natural Em = 288 lux	Luz natural Em = 41 lux	
	Luz natural + artificial Em = 574 lux	Luz natural + artificial Em = 830 lux	Luz natural + artificial Em = 1.226 lux	Luz natural + artificial Em = 1.258 lux	Luz natural + artificial Em = 715 lux	Luz natural + artificial Em = 562 lux	
	Luz natural Em = 161 lux	Luz natural Em = 201 lux	Luz natural Em = 247 lux	Luz natural Em = 467 lux	Luz natural Em = 453 lux	Luz natural Em = 295 lux	
	Luz natural + artificial Em = 735 lux	Luz natural + artificial Em = 776 lux	Luz natural + artificial Em = 831 lux	Luz natural + artificial Em = 977 lux	Luz natural + artificial Em = 1.020 lux	Luz natural + artificial Em = 855 lux	
Inverno	Luz natural Em = 161 lux	Luz natural Em = 201 lux	Luz natural Em = 247 lux	Luz natural Em = 467 lux	Luz natural Em = 453 lux	Luz natural Em = 295 lux	
	Luz natural + artificial Em = 735 lux	Luz natural + artificial Em = 776 lux	Luz natural + artificial Em = 831 lux	Luz natural + artificial Em = 977 lux	Luz natural + artificial Em = 1.020 lux	Luz natural + artificial Em = 855 lux	
	Luz natural Em = 106 lux	Luz natural Em = 291 lux	Luz natural Em = 741 lux	Luz natural Em = 779 lux	Luz natural Em = 288 lux	Luz natural Em = 41 lux	
	Luz natural + artificial Em = 574 lux	Luz natural + artificial Em = 830 lux	Luz natural + artificial Em = 1.226 lux	Luz natural + artificial Em = 1.258 lux	Luz natural + artificial Em = 715 lux	Luz natural + artificial Em = 562 lux	
	Luz natural Em = 161 lux	Luz natural Em = 201 lux	Luz natural Em = 247 lux	Luz natural Em = 467 lux	Luz natural Em = 453 lux	Luz natural Em = 295 lux	
	Luz natural + artificial Em = 735 lux	Luz natural + artificial Em = 776 lux	Luz natural + artificial Em = 831 lux	Luz natural + artificial Em = 977 lux	Luz natural + artificial Em = 1.020 lux	Luz natural + artificial Em = 855 lux	

A partir da tabela acima, pode-se verificar o incremento obtido nos níveis de iluminação no interior da sala de aula, a partir do uso da luz artificial em conjunto com a natural. Este incremento foi de cerca de 500 lux, nos dias de céu claro, e cerca de 400 lux, na medição do solstício de verão, quando o céu permaneceu encoberto.

É importante observar que os altos valores de iluminância obtidos sob influência da luz artificial são resultado da complementação da luz natural por este sistema. E, portanto, pontos da malha que, sob influência da luz natural, já tinham valores altos de iluminância, ficaram ainda mais altos, enquanto que os baixos valores obtiveram seus níveis incrementados, chegando a atingir o exigido por norma. A manutenção desta amplitude entre os valores de iluminância obtidos em uma mesma medição, fez com que os coeficientes de uniformidade obtidos sob influência da luz artificial não registrassem ganhos consideráveis.

O fato exposto acima retrata uma falha do sistema de iluminação artificial, que não foi projetado de forma a complementar a luz natural, ou seja, foi pensado de forma geral, desconsiderando a forma com que a luz natural penetra e se distribui no interior da sala de aula. Esta situação poderia ter sido facilmente evitada se as luminárias tivessem sido distribuídas em circuitos que respeitassem a posição das janelas e as zonas mais sombreadas.

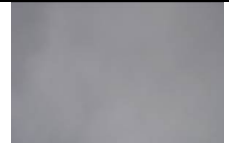













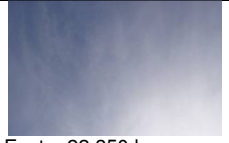
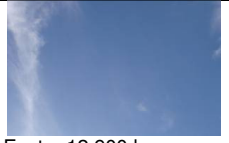


A correta distribuição dos circuitos permitiria que, conforme as necessidades lumínicas dos usuários, parte do sistema de iluminação artificial fosse acionado. Esta iniciativa não apenas contribuiria para um maior conforto lumínico, como resultaria em um sistema de iluminação mais eficiente energeticamente, indo ao encontro das premissas das edificações sustentáveis.

De forma a apresentar solução para esta situação, no próximo capítulo será proposto e simulado um novo sistema de iluminação artificial para a sala de aula analisada.

Conforme sugerido pela bibliografia consultada e de forma a complementar a análise da presença da luz natural no interior da sala de aula, outro dado foi obtido, sob os mesmos pontos da malha analisada, o Fator de Luz Diurna. Este fator, que representa a porcentagem da luz natural obtida sobre os pontos analisados, se comportou, ao longo das três medições realizadas, conforme os níveis de iluminância, ou seja, obteve seus valores mais elevados próximos às janelas e os menores afastados destas e no perímetro da sala de aula.

Devido às condições do céu observadas nos dias das medições terem permanecido diferentes das características de uma condição de céu CIE, os valores de DF obtidos não foram constantes, para um mesmo ponto, ao longo do dia. De forma a analisar os valores obtidos para um mesmo ponto, ao longo de todas as medições realizadas, abaixo são apresentados os valores de DF para três pontos distintos da malha:

Tabela 15: Comparação entre os valores de Fator de Luz Diurna obtidos para um mesmo ponto ao longo dos dias de medição, sob diferentes condições de céu e iluminância externa.

Medição	8:00 horas			10:00 horas			12:00 horas			14:00 horas			15:30 horas			17:00 horas		
Solstício de Verão	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4
	0,80%	0,46%	4,78%	0,57%	0,39%	3,98%	0,57%	0,38%	4,01%	0,57%	0,42%	3,47%	0,52%	0,34%	2,60%	0,79%	0,68%	3,36%
																		
	Eext = 9.931 lux			Eext = 28.045 lux			Eext = 40.150 lux			Eext = 33.300 lux			35.750 lux			Eext = 23.300 lux		
Equinócio de Outono	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4
	2,10%	1,87%	8,58%	1,57%	1,38%	4,05%	1,41%	1,32%	3,23%	3,60%	3,96%	5,03%	3,98%	4,34%	4,72%	4,07%	4,28%	5,96%
																		
	Eext = 6.750 lux			Eext = 12.950 lux			Eext = 18.250 lux			Eext = 13.950 lux			Eext = 12.400lux			Eext = 7.500 lux		
Solstício de Inverno	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4	A4	C4	E4
	1,55%	1,17%	5,98%	2,35%	1,70%	4,17%	3,71%	3,52%	5,32%	5,80%	5,34%	9,73%	1,55%	1,36%	4,85%	0,60%	0,47%	4,21
																		
	Eext = 6.435 lux			Eext = 15.750 lux			Eext = 22.350 lux			Eext = 12.900 lux			Eext = 16.750 lux			Eext = 5.150 lux		

A partir da análise do quadro acima, fica clara a variabilidade de valores obtidos, para um mesmo ponto, ao longo do dia, sob diferentes condições do céu e posição solar. Nota-se que, quanto mais encoberto o céu, melhor a luz estará difundida na abóboda celeste, e mais homogêneos serão os valores de DF obtidos. Este fato confirma o exposto em bibliografia, que, quando sob condições de céu CIE, o Fator de Luz Diurna se mantém constante, independente da posição solar e da iluminância externa.

A partir disto nota-se a dificuldade de análise e predição do comportamento da luz natural no interior da edificação, a partir do Fator de Luz Diurna, em regiões onde o céu se caracteriza por ser claro, com presença de poucas nuvens. O dado mais relevante que pôde ser avaliado é a forma com que a luz se distribui no ambiente. Salvo isto, o valor de DF irá variar conforme a condição de céu, iluminância externa, posição solar, entre outros fatores, que podem contribuir para a variabilidade de valores obtidos sobre uma mesma superfície.

5.3.1.2 Iluminância sobre o plano de trabalho: quadro branco

Para complementar a análise do desempenho lumínico da sala de aula, deve-se expor os resultados obtidos sobre a outra superfície analisada, o quadro branco. Este foi analisado apenas sob influência da luz natural e, desta, em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

Na tabela abaixo, pode-se ter um panorama geral da iluminância sobre esta superfície, ao longo das três medições realizadas:

Tabela 16: Comparação dos resultados das medições lumínicas sobre o plano de trabalho localizado sobre as classes dos alunos, sob influência da luz natural e desta em conjunto com o sistema de iluminação artificial.

	8:00 horas	10:00 horas	12:00 horas	14:00 horas	15:30 horas	17:00 horas	Escal a de Cores (lux)																																																																																																																														
Solstício de Verão	Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural	0 99 199 299 399 499 599 699 799 899 999 1099 1199 1299 1399 1499 1599 1699 1799 1899 1999																																																																																																																														
	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>69</td><td></td><td>31</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>34</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>32</td><td></td><td>21</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>37</td></tr></table>		1	2	3	A		69		31	B		34		C	32		21	iluminância média [lux]				37	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>164</td><td></td><td>77</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>84</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>73</td><td></td><td>71</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>94</td></tr></table>		1	2	3	A	164		77	B		84		C	73		71	iluminância média [lux]				94	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>250</td><td></td><td>110</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>120</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>93</td><td></td><td>109</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>137</td></tr></table>		1	2	3	A	250		110	B		120		C	93		109	iluminância média [lux]				137	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>150</td><td></td><td>84</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>86</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>76</td><td></td><td>82</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>96</td></tr></table>		1	2	3	A	150		84	B		86		C	76		82	iluminância média [lux]				96	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>163</td><td></td><td>83</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>83</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>69</td><td></td><td>66</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>93</td></tr></table>		1	2	3	A	163		83	B		83		C	69		66	iluminância média [lux]				93	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>138</td><td></td><td>73</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>81</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>69</td><td></td><td>56</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>83</td></tr></table>		1	2	3	A	138		73	B		81		C	69		56	iluminância média [lux]				83
		1	2	3																																																																																																																																	
	A	69		31																																																																																																																																	
	B		34																																																																																																																																		
	C	32		21																																																																																																																																	
iluminância média [lux]				37																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	164		77																																																																																																																																		
B		84																																																																																																																																			
C	73		71																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				94																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	250		110																																																																																																																																		
B		120																																																																																																																																			
C	93		109																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				137																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	150		84																																																																																																																																		
B		86																																																																																																																																			
C	76		82																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				96																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	163		83																																																																																																																																		
B		83																																																																																																																																			
C	69		66																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				93																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	138		73																																																																																																																																		
B		81																																																																																																																																			
C	69		56																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				83																																																																																																																																	
Em = 37 lux	Em = 94 lux	Em = 137 lux	Em = 96 lux	Em = 93 lux	Em = 83 lux																																																																																																																																
Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial																																																																																																																																
<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>432</td><td></td><td>355</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>400</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>281</td><td></td><td>285</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>351</td></tr></table>		1	2	3	A	432		355	B		400		C	281		285	iluminância média [lux]				351	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>536</td><td></td><td>427</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>437</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>328</td><td></td><td>321</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>410</td></tr></table>		1	2	3	A	536		427	B		437		C	328		321	iluminância média [lux]				410	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>631</td><td></td><td>168</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>484</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>381</td><td></td><td>376</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>469</td></tr></table>		1	2	3	A	631		168	B		484		C	381		376	iluminância média [lux]				469	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>527</td><td></td><td>428</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>455</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>335</td><td></td><td>333</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>416</td></tr></table>		1	2	3	A	527		428	B		455		C	335		333	iluminância média [lux]				416	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>515</td><td></td><td>380</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>395</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>332</td><td></td><td>295</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>383</td></tr></table>		1	2	3	A	515		380	B		395		C	332		295	iluminância média [lux]				383	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>564</td><td></td><td>446</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>420</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>351</td><td></td><td>343</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>425</td></tr></table>		1	2	3	A	564		446	B		420		C	351		343	iluminância média [lux]				425		
	1	2	3																																																																																																																																		
A	432		355																																																																																																																																		
B		400																																																																																																																																			
C	281		285																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				351																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	536		427																																																																																																																																		
B		437																																																																																																																																			
C	328		321																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				410																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	631		168																																																																																																																																		
B		484																																																																																																																																			
C	381		376																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				469																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	527		428																																																																																																																																		
B		455																																																																																																																																			
C	335		333																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				416																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	515		380																																																																																																																																		
B		395																																																																																																																																			
C	332		295																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				383																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	564		446																																																																																																																																		
B		420																																																																																																																																			
C	351		343																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				425																																																																																																																																	
Em = 351 lux	Em = 410 lux	Em = 469 lux	Em = 416 lux	Em = 383 lux	Em = 425 lux																																																																																																																																
Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural																																																																																																																																
<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>176</td><td></td><td>77</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>95</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>93</td><td></td><td>79</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>104</td></tr></table>		1	2	3	A	176		77	B		95		C	93		79	iluminância média [lux]				104	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>222</td><td></td><td>120</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>136</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>126</td><td></td><td>87</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>138</td></tr></table>		1	2	3	A	222		120	B		136		C	126		87	iluminância média [lux]				138	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>261</td><td></td><td>150</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>172</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>139</td><td></td><td>121</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>169</td></tr></table>		1	2	3	A	261		150	B		172		C	139		121	iluminância média [lux]				169	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>301</td><td></td><td>328</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>324</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>196</td><td></td><td>282</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>286</td></tr></table>		1	2	3	A	301		328	B		324		C	196		282	iluminância média [lux]				286	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>291</td><td></td><td>317</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>288</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>186</td><td></td><td>257</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>260</td></tr></table>		1	2	3	A	291		317	B		288		C	186		257	iluminância média [lux]				260	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>179</td><td></td><td>200</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>216</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>166</td><td></td><td>170</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>187</td></tr></table>		1	2	3	A	179		200	B		216		C	166		170	iluminância média [lux]				187		
	1	2	3																																																																																																																																		
A	176		77																																																																																																																																		
B		95																																																																																																																																			
C	93		79																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				104																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	222		120																																																																																																																																		
B		136																																																																																																																																			
C	126		87																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				138																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	261		150																																																																																																																																		
B		172																																																																																																																																			
C	139		121																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				169																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	301		328																																																																																																																																		
B		324																																																																																																																																			
C	196		282																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				286																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	291		317																																																																																																																																		
B		288																																																																																																																																			
C	186		257																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				260																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	179		200																																																																																																																																		
B		216																																																																																																																																			
C	166		170																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				187																																																																																																																																	
Em = 104 lux	Em = 138 lux	Em = 169 lux	Em = 286 lux	Em = 268 lux	Em = 187 lux																																																																																																																																
Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial																																																																																																																																
<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>747</td><td></td><td>644</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>640</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>476</td><td></td><td>352</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>572</td></tr></table>		1	2	3	A	747		644	B		640		C	476		352	iluminância média [lux]				572	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>805</td><td></td><td>622</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>723</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>442</td><td></td><td>495</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>617</td></tr></table>		1	2	3	A	805		622	B		723		C	442		495	iluminância média [lux]				617	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>728</td><td></td><td>742</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>774</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>634</td><td></td><td>425</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>661</td></tr></table>		1	2	3	A	728		742	B		774		C	634		425	iluminância média [lux]				661	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>915</td><td></td><td>907</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>929</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>632</td><td></td><td>505</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>778</td></tr></table>		1	2	3	A	915		907	B		929		C	632		505	iluminância média [lux]				778	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>821</td><td></td><td>886</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>854</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>589</td><td></td><td>590</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>748</td></tr></table>		1	2	3	A	821		886	B		854		C	589		590	iluminância média [lux]				748	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>700</td><td></td><td>678</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>733</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>531</td><td></td><td>399</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>608</td></tr></table>		1	2	3	A	700		678	B		733		C	531		399	iluminância média [lux]				608		
	1	2	3																																																																																																																																		
A	747		644																																																																																																																																		
B		640																																																																																																																																			
C	476		352																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				572																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	805		622																																																																																																																																		
B		723																																																																																																																																			
C	442		495																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				617																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	728		742																																																																																																																																		
B		774																																																																																																																																			
C	634		425																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				661																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	915		907																																																																																																																																		
B		929																																																																																																																																			
C	632		505																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				778																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	821		886																																																																																																																																		
B		854																																																																																																																																			
C	589		590																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				748																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	700		678																																																																																																																																		
B		733																																																																																																																																			
C	531		399																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				608																																																																																																																																	
Em = 572 lux	Em = 617 lux	Em = 661 lux	Em = 778 lux	Em = 748 lux	Em = 608 lux																																																																																																																																
Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural	Luz natural																																																																																																																																
<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>143</td><td></td><td>70</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>69</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>60</td><td></td><td>52</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>79</td></tr></table>		1	2	3	A	143		70	B		69		C	60		52	iluminância média [lux]				79	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>324</td><td></td><td>192</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>194</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>168</td><td></td><td>141</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>204</td></tr></table>		1	2	3	A	324		192	B		194		C	168		141	iluminância média [lux]				204	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>560</td><td></td><td>448</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>444</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>260</td><td></td><td>341</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>411</td></tr></table>		1	2	3	A	560		448	B		444		C	260		341	iluminância média [lux]				411	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>423</td><td></td><td>532</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>503</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>372</td><td></td><td>367</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>439</td></tr></table>		1	2	3	A	423		532	B		503		C	372		367	iluminância média [lux]				439	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>175</td><td></td><td>85</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>122</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>101</td><td></td><td>67</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>110</td></tr></table>		1	2	3	A	175		85	B		122		C	101		67	iluminância média [lux]				110	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>24</td><td></td><td>17</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>17</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>16</td><td></td><td>15</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>18</td></tr></table>		1	2	3	A	24		17	B		17		C	16		15	iluminância média [lux]				18		
	1	2	3																																																																																																																																		
A	143		70																																																																																																																																		
B		69																																																																																																																																			
C	60		52																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				79																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	324		192																																																																																																																																		
B		194																																																																																																																																			
C	168		141																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				204																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	560		448																																																																																																																																		
B		444																																																																																																																																			
C	260		341																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				411																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	423		532																																																																																																																																		
B		503																																																																																																																																			
C	372		367																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				439																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	175		85																																																																																																																																		
B		122																																																																																																																																			
C	101		67																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				110																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	24		17																																																																																																																																		
B		17																																																																																																																																			
C	16		15																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				18																																																																																																																																	
Em = 79 lux	Em = 204 lux	Em = 411 lux	Em = 439 lux	Em = 110 lux	Em = 18 lux																																																																																																																																
Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial	Luz natural + artificial																																																																																																																																
<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>641</td><td></td><td>533</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>632</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>427</td><td></td><td>352</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>517</td></tr></table>		1	2	3	A	641		533	B		632		C	427		352	iluminância média [lux]				517	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>973</td><td></td><td>765</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>826</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>613</td><td></td><td>495</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>734</td></tr></table>		1	2	3	A	973		765	B		826		C	613		495	iluminância média [lux]				734	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>1095</td><td></td><td>960</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>939</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>648</td><td></td><td>677</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>864</td></tr></table>		1	2	3	A	1095		960	B		939		C	648		677	iluminância média [lux]				864	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>964</td><td></td><td>1006</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>1068</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>787</td><td></td><td>649</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>895</td></tr></table>		1	2	3	A	964		1006	B		1068		C	787		649	iluminância média [lux]				895	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>685</td><td></td><td>620</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>676</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>421</td><td></td><td>383</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>557</td></tr></table>		1	2	3	A	685		620	B		676		C	421		383	iluminância média [lux]				557	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>A</td><td>526</td><td></td><td>487</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>542</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td>362</td><td></td><td>332</td></tr><tr><td colspan="4">iluminância média [lux]</td><td>450</td></tr></table>		1	2	3	A	526		487	B		542		C	362		332	iluminância média [lux]				450		
	1	2	3																																																																																																																																		
A	641		533																																																																																																																																		
B		632																																																																																																																																			
C	427		352																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				517																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	973		765																																																																																																																																		
B		826																																																																																																																																			
C	613		495																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				734																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	1095		960																																																																																																																																		
B		939																																																																																																																																			
C	648		677																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				864																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	964		1006																																																																																																																																		
B		1068																																																																																																																																			
C	787		649																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				895																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	685		620																																																																																																																																		
B		676																																																																																																																																			
C	421		383																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				557																																																																																																																																	
	1	2	3																																																																																																																																		
A	526		487																																																																																																																																		
B		542																																																																																																																																			
C	362		332																																																																																																																																		
iluminância média [lux]				450																																																																																																																																	
Em = 517 lux	Em = 734 lux	Em = 864 lux	Em = 895 lux	Em = 557 lux	Em = 450 lux																																																																																																																																

Ao analisar os níveis de iluminância obtidos sobre o quadro branco, sob apenas influência da luz natural, nota-se que estes obtiveram valores bastantes abaixo do recomendado por norma. Segundo a NBR 5413 (ABNT, 1992), o nível mínimo recomendado para esta superfície é de 500 lux e as únicas medições que obtiveram valores próximos a isto foram as realizadas durante o solstício de inverno, às 12:00 e 14:00 horas, quando foram registradas médias de 411 e 439 lux, respectivamente. Nos demais horários, estas médias foram menores, com um mínimo de 37 lux, registrado na primeira medição do solstício de verão.

Ao considerar a atuação do sistema de iluminação artificial em conjunto com o natural, nota-se um incremento nos níveis de iluminância obtidos, fazendo com que a maioria das médias de iluminância ultrapassasse os 500 lux recomendados por norma, salvo as medições realizadas no solstício de verão, quando a média máxima obtida foi de 469 lux.

A partir dos valores obtidos sobre cada ponto analisado do quadro branco, fica clara a má distribuição da luminosidade nesta superfície e que, provavelmente, está gerando desconforto visual aos usuários desta sala. Ao acender as luminárias, por mais que se tenha notado um incremento nos níveis obtidos, a não uniformidade da iluminação do quadro branco persiste e agora é agravada pela presença da reflexão das fontes de luz na superfície do quadro e das classes, o que gera ofuscamento aos usuários e, conseqüentemente, os impede de desenvolver suas atividades de forma satisfatória.

Além do ofuscamento causado por reflexões nas superfícies do quadro e classes, este também ocorre devido à visão direta das fontes luminosas, a partir do campo visual dos alunos em seus postos de trabalho. Este fato é decorrente do tipo de luminária escolhida e que seria facilmente solucionado, a partir de uma correta escolha desta fonte.

De forma a se pensar a iluminação da superfície do quadro de forma mais homogênea e independente da iluminação geral da sala de aula, no próximo capítulo serão propostas e testadas algumas alterações neste sistema.

5.3.2 Desempenho lumínico da sala de aula e as intenções dos projetistas

A partir das análises desenvolvidas e expostas anteriormente, pôde-se observar que as intenções dos projetistas da edificação foram parcialmente atendidas e algumas questões abordadas neste estudo não haviam sido devidamente contempladas na etapa de estudos preliminares e projeto da edificação.

Ao abordar questões quanto à orientação das fachadas e esquadrias, nota-se que os projetistas tiveram seus objetivos atingidos ao proporcionar um melhor aproveitamento da luz natural. Porém, acredita-se que as janelas da edificação poderiam ter sido mais bem dimensionadas, de forma a não gerar zonas sombreadas no interior da sala de aula.

A prateleira de luz, situada sob a janela alta da fachada norte, também chamou a atenção, quanto à sua eficácia para com o desempenho lumínico da sala de aula. A intenção dos projetistas, em utilizá-la de forma a impedir a incidência da radiação solar direta sobre as classes dos alunos foi atingida, porém, o incremento obtido pela reflexão da luz natural nesta superfície foi questionado, assim como seu dimensionamento.

Um fato corriqueiro no desenvolvimento de projetos, que levam em consideração a orientação solar da edificação, é a desconsideração da necessidade de proteção da fachada voltada para o sul (no caso dos países localizados no hemisfério sul). Porém, e como no caso da edificação estudada, a parcela de céu visível, a partir dos pontos localizados junto à esta fachada, é presente e responsável por altos valores de iluminância e luminância. Por esta luz contribuir para o ofuscamento dos usuários das classes situadas junto à esta fachada, considera-se que a existência de um pequeno beiral nesta fachada, ou a colocação de uma persiana horizontal interna, poderiam contribuir de forma efetiva para barrar esta luz incidente sobre os planos de trabalho.

Outro detalhe importante, que não aparece de forma explícita na intenção dos projetistas, mas que contribui para a luminosidade no interior da sala de aula, foi a escolha de cores claras para as superfícies internas da sala de aula. A única superfície de tom mais escuro é o piso. Caso esta superfície tivesse um tom um pouco mais claro, sua influência, ainda que pequena, quando comparado à importância das superfícies das paredes e teto, poderia ter sido mais relevante e não resultaria em um contraste tão elevado entre piso e demais superfícies, o que pode acarretar em cansaço visual aos seus usuários.

Conforme foi exposto pelo próprio arquiteto da edificação, o sistema de iluminação artificial foi projetado por outro profissional. Este fato, em conjunto com os resultados das medições e observações *in loco*, demonstra que não houve uma integração dos projetos dos sistemas de iluminação natural e artificial, de forma a considerar a presença da luz natural, sua distribuição e a necessidade de um sistema de iluminação artificial flexível. Neste ponto, nota-se que houve uma falha de gestão, de comunicação entre os projetistas, de forma a compartilharem das mesmas informações e intenções.

Quanto à escolha e distribuição das luminárias, foram observadas algumas questões. Por mais que a intenção dos projetistas fosse utilizar equipamentos com custo-benefício

interessante, a escolha de luminárias com exposição direta das fontes de luz, concomitante à existência de superfícies reflexivas, como as classes e o quadro branco, teve conseqüências determinantes no desempenho lumínico da sala de aula e no conforto dos usuários, ao causar ofuscamento devido à reflexão das fontes luminosas sobre estas superfícies. Outro fator que deve ser ressaltado é o fato de as luminárias terem sido distribuídas de forma geral na edificação, sem se adequar às diversas atividades que são desenvolvidas no interior da sala de aula.

5.4 ELEMENTOS DETERMINANTES DO DESEMPENHO LUMÍNICO DA EDIFICAÇÃO: ANÁLISE E SUGESTÕES DE MELHORIAS

A partir dos resultados obtidos acerca do desempenho lumínico da edificação, pôde-se constatar que alguns dos elementos presentes na composição da sala de aula são determinantes no seu desempenho. Como exemplo, estão: as aberturas, as proteções solares, a prateleira de luz, a cor das superfícies, e o sistema de iluminação artificial, composto por lâmpadas, luminárias e circuitos.

De forma a avaliar estes elementos, propor e testar alterações, a sala de aula foi simulada através do software Relux. Justifica-se o uso desta ferramenta pelo fato de a mesma considerar a edificação, sua localização, a existência de obstruções externas e o sistema de iluminação natural e artificial.

Uma característica importante deste programa, e que foi levada em consideração nesta análise, é o fato de seus resultados para luz natural serem fornecidos para duas condições específicas de céu: céu claro padrão CIE e céu encoberto padrão CIE. Na condição de céu claro, em que não há a presença de nuvens e o sol se faz presente, o programa utiliza apenas a radiação proveniente do céu, sem considerar a radiação proveniente do sol. Já, na condição de céu encoberto, onde há uma presença considerável de nuvens no céu, a distribuição da luz utilizada neste cálculo é considerada não uniforme (RELUX, 2007).

Devido às condições de céu observadas nos dias de medição não se enquadrarem totalmente, nem em uma ou outra classificação de céu do software, foram realizadas simulações sob as duas condições de céu possíveis, para os mesmos dias e horários das medições realizadas *in loco*.

De maneira a apresentar alguns dos resultados obtidos, estes foram comparados aos valores de iluminância obtidos nas medições *in loco*, conforme se visualiza nas tabelas abaixo.

Tabela 17: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições *in loco* e as simulações sob condição de céu claro padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 22 de dezembro de 2009.

		22/12/2009 – céu claro																																																	
		10h	14h																																																
	Luz natural	<p>Simulação</p>	<p>Medição <i>in loco</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>61</td> <td>124</td> <td>178</td> <td>160</td> <td>138</td> <td>76</td> <td>69</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>109</td> <td>134</td> <td>141</td> <td>135</td> <td>117</td> <td>106</td> <td>96</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>102</td> <td>110</td> <td>114</td> <td>110</td> <td>108</td> <td>99</td> <td>86</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>108</td> <td>128</td> <td>144</td> <td>147</td> <td>136</td> <td>113</td> <td>93</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>157</td> <td>732</td> <td>1285</td> <td>1117</td> <td>830</td> <td>154</td> <td>95</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em = 217lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	61	124	178	160	138	76	69	B	109	134	141	135	117	106	96	C	102	110	114	110	108	99	86	D	108	128	144	147	136	113	93	E	157	732	1285	1117	830	154	95
			1	2	3	4	5	6	7																																										
	A	61	124	178	160	138	76	69																																											
	B	109	134	141	135	117	106	96																																											
C	102	110	114	110	108	99	86																																												
D	108	128	144	147	136	113	93																																												
E	157	732	1285	1117	830	154	95																																												
Luz natural + artificial	<p>Simulação</p>	<p>Medição <i>in loco</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>312</td> <td>414</td> <td>457</td> <td>442</td> <td>452</td> <td>440</td> <td>416</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>485</td> <td>515</td> <td>543</td> <td>533</td> <td>532</td> <td>522</td> <td>498</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>519</td> <td>527</td> <td>560</td> <td>521</td> <td>558</td> <td>544</td> <td>518</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>511</td> <td>541</td> <td>567</td> <td>560</td> <td>563</td> <td>540</td> <td>506</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>495</td> <td>978</td> <td>1822</td> <td>1651</td> <td>1515</td> <td>527</td> <td>471</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em = 616lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	312	414	457	442	452	440	416	B	485	515	543	533	532	522	498	C	519	527	560	521	558	544	518	D	511	541	567	560	563	540	506	E	495	978	1822	1651	1515	527	471	
		1	2	3	4	5	6	7																																											
A	312	414	457	442	452	440	416																																												
B	485	515	543	533	532	522	498																																												
C	519	527	560	521	558	544	518																																												
D	511	541	567	560	563	540	506																																												
E	495	978	1822	1651	1515	527	471																																												
Luz natural	<p>Simulação</p>	<p>Medição <i>in loco</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>75</td> <td>125</td> <td>215</td> <td>191</td> <td>172</td> <td>101</td> <td>91</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>125</td> <td>150</td> <td>160</td> <td>163</td> <td>149</td> <td>140</td> <td>125</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>121</td> <td>130</td> <td>138</td> <td>140</td> <td>133</td> <td>122</td> <td>108</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>123</td> <td>147</td> <td>162</td> <td>170</td> <td>162</td> <td>147</td> <td>126</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>160</td> <td>366</td> <td>1050</td> <td>1154</td> <td>990</td> <td>204</td> <td>135</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em = 228 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	75	125	215	191	172	101	91	D	125	150	160	163	149	140	125	C	121	130	138	140	133	122	108	D	123	147	162	170	162	147	126	E	160	366	1050	1154	990	204	135	
		1	2	3	4	5	6	7																																											
A	75	125	215	191	172	101	91																																												
D	125	150	160	163	149	140	125																																												
C	121	130	138	140	133	122	108																																												
D	123	147	162	170	162	147	126																																												
E	160	366	1050	1154	990	204	135																																												
Luz natural + artificial	<p>Simulação</p>	<p>Medição <i>in loco</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>268</td> <td>406</td> <td>511</td> <td>473</td> <td>487</td> <td>461</td> <td>439</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>496</td> <td>544</td> <td>581</td> <td>560</td> <td>560</td> <td>562</td> <td>527</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>523</td> <td>545</td> <td>581</td> <td>556</td> <td>582</td> <td>568</td> <td>547</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>525</td> <td>553</td> <td>575</td> <td>569</td> <td>587</td> <td>569</td> <td>540</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>510</td> <td>695</td> <td>1599</td> <td>1547</td> <td>1511</td> <td>572</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em = 618 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	268	406	511	473	487	461	439	B	496	544	581	560	560	562	527	C	523	545	581	556	582	568	547	D	525	553	575	569	587	569	540	E	510	695	1599	1547	1511	572	500	
	1	2	3	4	5	6	7																																												
A	268	406	511	473	487	461	439																																												
B	496	544	581	560	560	562	527																																												
C	523	545	581	556	582	568	547																																												
D	525	553	575	569	587	569	540																																												
E	510	695	1599	1547	1511	572	500																																												

Tabela 18: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições *in loco* e as simulações sob condição de céu encoberto padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 22 de dezembro de 2009.

		Simulação		Medição <i>in loco</i>																																																
22/12/2009 – céu encoberto	10h	Luz natural	<p>Em=230lux</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>61</td> <td>124</td> <td>178</td> <td>160</td> <td>138</td> <td>76</td> <td>69</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>109</td> <td>134</td> <td>141</td> <td>135</td> <td>117</td> <td>106</td> <td>96</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>102</td> <td>110</td> <td>114</td> <td>110</td> <td>108</td> <td>99</td> <td>86</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>103</td> <td>128</td> <td>144</td> <td>147</td> <td>136</td> <td>113</td> <td>93</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>157</td> <td>732</td> <td>1285</td> <td>1117</td> <td>830</td> <td>154</td> <td>95</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em=217lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	61	124	178	160	138	76	69	B	109	134	141	135	117	106	96	C	102	110	114	110	108	99	86	D	103	128	144	147	136	113	93	E	157	732	1285	1117	830	154	95
			1	2	3	4	5	6	7																																											
	A	61	124	178	160	138	76	69																																												
	B	109	134	141	135	117	106	96																																												
C	102	110	114	110	108	99	86																																													
D	103	128	144	147	136	113	93																																													
E	157	732	1285	1117	830	154	95																																													
Luz natural + artificial	<p>Em=873lux</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>312</td> <td>414</td> <td>457</td> <td>442</td> <td>452</td> <td>440</td> <td>416</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>485</td> <td>515</td> <td>543</td> <td>533</td> <td>532</td> <td>522</td> <td>498</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>519</td> <td>527</td> <td>560</td> <td>521</td> <td>558</td> <td>544</td> <td>518</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>511</td> <td>541</td> <td>567</td> <td>560</td> <td>533</td> <td>540</td> <td>506</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>495</td> <td>978</td> <td>1822</td> <td>1651</td> <td>1515</td> <td>527</td> <td>471</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em=616lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	312	414	457	442	452	440	416	B	485	515	543	533	532	522	498	C	519	527	560	521	558	544	518	D	511	541	567	560	533	540	506	E	495	978	1822	1651	1515	527	471		
	1	2	3	4	5	6	7																																													
A	312	414	457	442	452	440	416																																													
B	485	515	543	533	532	522	498																																													
C	519	527	560	521	558	544	518																																													
D	511	541	567	560	533	540	506																																													
E	495	978	1822	1651	1515	527	471																																													
14h	Luz natural	<p>Em=227lux</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>75</td> <td>125</td> <td>215</td> <td>191</td> <td>172</td> <td>101</td> <td>91</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>125</td> <td>150</td> <td>168</td> <td>163</td> <td>149</td> <td>140</td> <td>125</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>121</td> <td>130</td> <td>138</td> <td>140</td> <td>133</td> <td>122</td> <td>108</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>123</td> <td>147</td> <td>162</td> <td>170</td> <td>162</td> <td>147</td> <td>126</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>160</td> <td>366</td> <td>1050</td> <td>1154</td> <td>990</td> <td>204</td> <td>135</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em=228 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	75	125	215	191	172	101	91	B	125	150	168	163	149	140	125	C	121	130	138	140	133	122	108	D	123	147	162	170	162	147	126	E	160	366	1050	1154	990	204	135	
		1	2	3	4	5	6	7																																												
A	75	125	215	191	172	101	91																																													
B	125	150	168	163	149	140	125																																													
C	121	130	138	140	133	122	108																																													
D	123	147	162	170	162	147	126																																													
E	160	366	1050	1154	990	204	135																																													
Luz natural + artificial	<p>Em=869lux</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>268</td> <td>406</td> <td>511</td> <td>473</td> <td>487</td> <td>461</td> <td>439</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>496</td> <td>544</td> <td>581</td> <td>560</td> <td>560</td> <td>562</td> <td>527</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>523</td> <td>545</td> <td>581</td> <td>556</td> <td>582</td> <td>568</td> <td>547</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>525</td> <td>553</td> <td>575</td> <td>569</td> <td>587</td> <td>569</td> <td>540</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>510</td> <td>695</td> <td>1599</td> <td>1547</td> <td>1511</td> <td>572</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table> <p>Em=618 lux</p>		1	2	3	4	5	6	7	A	268	406	511	473	487	461	439	B	496	544	581	560	560	562	527	C	523	545	581	556	582	568	547	D	525	553	575	569	587	569	540	E	510	695	1599	1547	1511	572	500		
	1	2	3	4	5	6	7																																													
A	268	406	511	473	487	461	439																																													
B	496	544	581	560	560	562	527																																													
C	523	545	581	556	582	568	547																																													
D	525	553	575	569	587	569	540																																													
E	510	695	1599	1547	1511	572	500																																													

Tabela 19: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições *in loco* e as simulações sob condição de céu claro padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 18 de março de 2010.

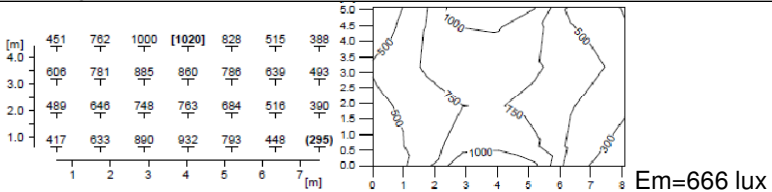
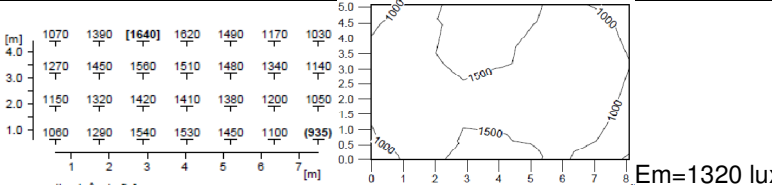
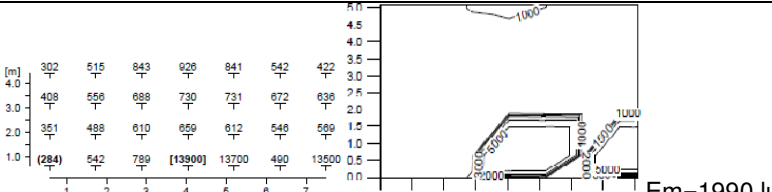
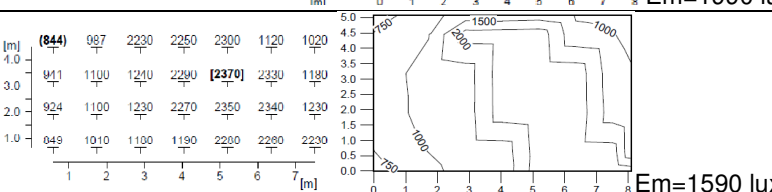
		Simulação	Medição <i>in loco</i>																																																
18/103/2010 – céu claro	10h	Luz natural 	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>91</td> <td>148</td> <td>226</td> <td>203</td> <td>191</td> <td>117</td> <td>107</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>160</td> <td>191</td> <td>202</td> <td>202</td> <td>178</td> <td>159</td> <td>146</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>157</td> <td>172</td> <td>184</td> <td>179</td> <td>175</td> <td>155</td> <td>139</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>144</td> <td>167</td> <td>196</td> <td>205</td> <td>187</td> <td>150</td> <td>123</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>171</td> <td>367</td> <td>609</td> <td>524</td> <td>436</td> <td>188</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table> Em=201 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	91	148	226	203	191	117	107	B	160	191	202	202	178	159	146	C	157	172	184	179	175	155	139	D	144	167	196	205	187	150	123	E	171	367	609	524	436	188	120
			1	2	3	4	5	6	7																																										
	A	91	148	226	203	191	117	107																																											
	B	160	191	202	202	178	159	146																																											
C	157	172	184	179	175	155	139																																												
D	144	167	196	205	187	150	123																																												
E	171	367	609	524	436	188	120																																												
Luz natural + artificial 	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>417</td> <td>559</td> <td>655</td> <td>610</td> <td>642</td> <td>643</td> <td>615</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>734</td> <td>766</td> <td>820</td> <td>804</td> <td>803</td> <td>793</td> <td>752</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>780</td> <td>812</td> <td>862</td> <td>830</td> <td>859</td> <td>830</td> <td>814</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>763</td> <td>810</td> <td>848</td> <td>826</td> <td>849</td> <td>804</td> <td>755</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>718</td> <td>885</td> <td>1080</td> <td>997</td> <td>936</td> <td>768</td> <td>712</td> </tr> </tbody> </table> Em=776 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	417	559	655	610	642	643	615	B	734	766	820	804	803	793	752	C	780	812	862	830	859	830	814	D	763	810	848	826	849	804	755	E	718	885	1080	997	936	768	712		
	1	2	3	4	5	6	7																																												
A	417	559	655	610	642	643	615																																												
B	734	766	820	804	803	793	752																																												
C	780	812	862	830	859	830	814																																												
D	763	810	848	826	849	804	755																																												
E	718	885	1080	997	936	768	712																																												
14h	Luz natural 	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>274</td> <td>379</td> <td>514</td> <td>502</td> <td>460</td> <td>365</td> <td>343</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>514</td> <td>593</td> <td>638</td> <td>636</td> <td>619</td> <td>572</td> <td>530</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>445</td> <td>488</td> <td>521</td> <td>553</td> <td>530</td> <td>500</td> <td>460</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>309</td> <td>364</td> <td>400</td> <td>422</td> <td>404</td> <td>354</td> <td>306</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>279</td> <td>468</td> <td>727</td> <td>702</td> <td>561</td> <td>335</td> <td>275</td> </tr> </tbody> </table> Em=467 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	274	379	514	502	460	365	343	B	514	593	638	636	619	572	530	C	445	488	521	553	530	500	460	D	309	364	400	422	404	354	306	E	279	468	727	702	561	335	275	
		1	2	3	4	5	6	7																																											
A	274	379	514	502	460	365	343																																												
B	514	593	638	636	619	572	530																																												
C	445	488	521	553	530	500	460																																												
D	309	364	400	422	404	354	306																																												
E	279	468	727	702	561	335	275																																												
Luz natural + artificial 	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>615</td> <td>778</td> <td>900</td> <td>880</td> <td>884</td> <td>881</td> <td>810</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1004</td> <td>1100</td> <td>1180</td> <td>1158</td> <td>1153</td> <td>1120</td> <td>1040</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1030</td> <td>1073</td> <td>1144</td> <td>1127</td> <td>1136</td> <td>1088</td> <td>1046</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>859</td> <td>901</td> <td>941</td> <td>935</td> <td>987</td> <td>949</td> <td>924</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>763</td> <td>854</td> <td>1118</td> <td>1040</td> <td>1047</td> <td>879</td> <td>843</td> </tr> </tbody> </table> Em=977 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	615	778	900	880	884	881	810	B	1004	1100	1180	1158	1153	1120	1040	C	1030	1073	1144	1127	1136	1088	1046	D	859	901	941	935	987	949	924	E	763	854	1118	1040	1047	879	843		
	1	2	3	4	5	6	7																																												
A	615	778	900	880	884	881	810																																												
B	1004	1100	1180	1158	1153	1120	1040																																												
C	1030	1073	1144	1127	1136	1088	1046																																												
D	859	901	941	935	987	949	924																																												
E	763	854	1118	1040	1047	879	843																																												

Tabela 20: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições *in loco* e as simulações sob condição de céu encoberto padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 18 de março de 2010.

		Simulação		Medição <i>in loco</i>																																																	
18/103/2010 – céu encoberto	10h	+Luz natural		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>91</td> <td>143</td> <td>226</td> <td>203</td> <td>191</td> <td>117</td> <td>107</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>160</td> <td>191</td> <td>202</td> <td>202</td> <td>178</td> <td>159</td> <td>146</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>157</td> <td>172</td> <td>184</td> <td>179</td> <td>175</td> <td>155</td> <td>139</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>144</td> <td>167</td> <td>196</td> <td>205</td> <td>187</td> <td>150</td> <td>123</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>171</td> <td>367</td> <td>609</td> <td>524</td> <td>436</td> <td>158</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	91	143	226	203	191	117	107	B	160	191	202	202	178	159	146	C	157	172	184	179	175	155	139	D	144	167	196	205	187	150	123	E	171	367	609	524	436	158	120	Em=201 lux
			1	2	3	4	5	6	7																																												
	A	91	143	226	203	191	117	107																																													
	B	160	191	202	202	178	159	146																																													
C	157	172	184	179	175	155	139																																														
D	144	167	196	205	187	150	123																																														
E	171	367	609	524	436	158	120																																														
+Luz natural artificial		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>417</td> <td>559</td> <td>655</td> <td>610</td> <td>642</td> <td>643</td> <td>615</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>734</td> <td>766</td> <td>820</td> <td>804</td> <td>803</td> <td>793</td> <td>752</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>780</td> <td>812</td> <td>862</td> <td>830</td> <td>859</td> <td>830</td> <td>814</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>763</td> <td>810</td> <td>848</td> <td>826</td> <td>849</td> <td>804</td> <td>755</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>718</td> <td>885</td> <td>1080</td> <td>997</td> <td>936</td> <td>768</td> <td>712</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	417	559	655	610	642	643	615	B	734	766	820	804	803	793	752	C	780	812	862	830	859	830	814	D	763	810	848	826	849	804	755	E	718	885	1080	997	936	768	712	Em=776 lux		
	1	2	3	4	5	6	7																																														
A	417	559	655	610	642	643	615																																														
B	734	766	820	804	803	793	752																																														
C	780	812	862	830	859	830	814																																														
D	763	810	848	826	849	804	755																																														
E	718	885	1080	997	936	768	712																																														
14h	+Luz natural		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>274</td> <td>379</td> <td>514</td> <td>502</td> <td>460</td> <td>365</td> <td>343</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>514</td> <td>593</td> <td>638</td> <td>636</td> <td>619</td> <td>572</td> <td>530</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>445</td> <td>483</td> <td>521</td> <td>553</td> <td>530</td> <td>500</td> <td>460</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>309</td> <td>364</td> <td>400</td> <td>422</td> <td>404</td> <td>354</td> <td>306</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>279</td> <td>463</td> <td>727</td> <td>702</td> <td>561</td> <td>335</td> <td>275</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	274	379	514	502	460	365	343	B	514	593	638	636	619	572	530	C	445	483	521	553	530	500	460	D	309	364	400	422	404	354	306	E	279	463	727	702	561	335	275	Em=467 lux	
		1	2	3	4	5	6	7																																													
A	274	379	514	502	460	365	343																																														
B	514	593	638	636	619	572	530																																														
C	445	483	521	553	530	500	460																																														
D	309	364	400	422	404	354	306																																														
E	279	463	727	702	561	335	275																																														
+Luz natural artificial		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>615</td> <td>778</td> <td>900</td> <td>880</td> <td>884</td> <td>881</td> <td>810</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1004</td> <td>1100</td> <td>1180</td> <td>1158</td> <td>1153</td> <td>1120</td> <td>1040</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1030</td> <td>1073</td> <td>1144</td> <td>1127</td> <td>1136</td> <td>1088</td> <td>1046</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>859</td> <td>901</td> <td>941</td> <td>935</td> <td>987</td> <td>949</td> <td>924</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>763</td> <td>851</td> <td>1118</td> <td>1040</td> <td>1047</td> <td>879</td> <td>813</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	615	778	900	880	884	881	810	B	1004	1100	1180	1158	1153	1120	1040	C	1030	1073	1144	1127	1136	1088	1046	D	859	901	941	935	987	949	924	E	763	851	1118	1040	1047	879	813	Em=977 lux		
	1	2	3	4	5	6	7																																														
A	615	778	900	880	884	881	810																																														
B	1004	1100	1180	1158	1153	1120	1040																																														
C	1030	1073	1144	1127	1136	1088	1046																																														
D	859	901	941	935	987	949	924																																														
E	763	851	1118	1040	1047	879	813																																														

Tabela 21: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições *in loco* e as simulações sob condição de céu claro padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 21 de junho de 2010.

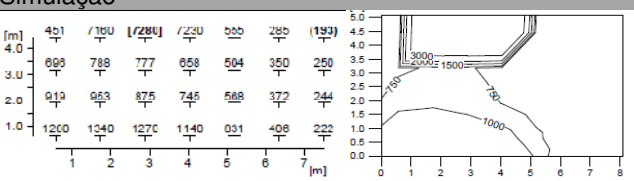
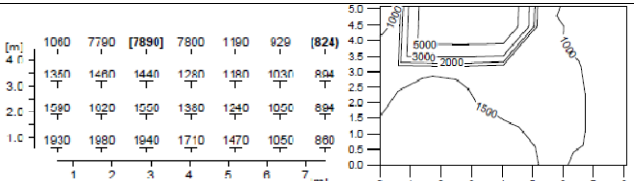
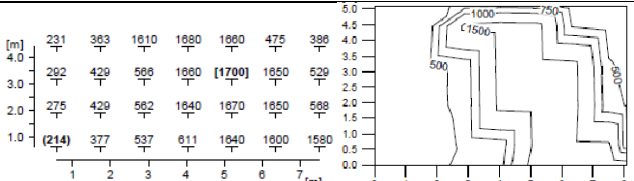
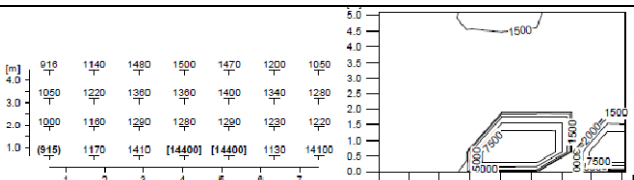
		Simulação	Medição <i>in loco</i>																																																
21/06/2010 – céu claro	10h	Luz natural  Em=1370 lux	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>203</td> <td>225</td> <td>372</td> <td>370</td> <td>352</td> <td>226</td> <td>194</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>276</td> <td>355</td> <td>351</td> <td>360</td> <td>296</td> <td>256</td> <td>232</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>271</td> <td>240</td> <td>230</td> <td>267</td> <td>246</td> <td>212</td> <td>182</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>261</td> <td>260</td> <td>258</td> <td>260</td> <td>212</td> <td>170</td> <td>138</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>337</td> <td>420</td> <td>608</td> <td>656</td> <td>535</td> <td>207</td> <td>164</td> </tr> </tbody> </table> Em=291 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	203	225	372	370	352	226	194	B	276	355	351	360	296	256	232	C	271	240	230	267	246	212	182	D	261	260	258	260	212	170	138	E	337	420	608	656	535	207	164
			1	2	3	4	5	6	7																																										
	A	203	225	372	370	352	226	194																																											
	B	276	355	351	360	296	256	232																																											
C	271	240	230	267	246	212	182																																												
D	261	260	258	260	212	170	138																																												
E	337	420	608	656	535	207	164																																												
Luz natural + artificial  Em=2010 lux	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>406</td> <td>529</td> <td>613</td> <td>640</td> <td>757</td> <td>697</td> <td>670</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>618</td> <td>805</td> <td>872</td> <td>849</td> <td>838</td> <td>845</td> <td>808</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>930</td> <td>898</td> <td>980</td> <td>959</td> <td>964</td> <td>915</td> <td>854</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>861</td> <td>874</td> <td>869</td> <td>808</td> <td>825</td> <td>800</td> <td>746</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>875</td> <td>930</td> <td>1132</td> <td>1115</td> <td>1041</td> <td>745</td> <td>686</td> </tr> </tbody> </table> Em=830 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	406	529	613	640	757	697	670	B	618	805	872	849	838	845	808	C	930	898	980	959	964	915	854	D	861	874	869	808	825	800	746	E	875	930	1132	1115	1041	745	686		
	1	2	3	4	5	6	7																																												
A	406	529	613	640	757	697	670																																												
B	618	805	872	849	838	845	808																																												
C	930	898	980	959	964	915	854																																												
D	861	874	869	808	825	800	746																																												
E	875	930	1132	1115	1041	745	686																																												
14h	Luz natural  Em=950 lux	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>512</td> <td>620</td> <td>771</td> <td>748</td> <td>751</td> <td>633</td> <td>650</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>764</td> <td>931</td> <td>968</td> <td>956</td> <td>924</td> <td>941</td> <td>920</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>670</td> <td>680</td> <td>700</td> <td>689</td> <td>603</td> <td>672</td> <td>789</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>542</td> <td>577</td> <td>691</td> <td>666</td> <td>775</td> <td>757</td> <td>762</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>766</td> <td>728</td> <td>1160</td> <td>1255</td> <td>1069</td> <td>744</td> <td>866</td> </tr> </tbody> </table> Em=779 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	512	620	771	748	751	633	650	B	764	931	968	956	924	941	920	C	670	680	700	689	603	672	789	D	542	577	691	666	775	757	762	E	766	728	1160	1255	1069	744	866	
		1	2	3	4	5	6	7																																											
A	512	620	771	748	751	633	650																																												
B	764	931	968	956	924	941	920																																												
C	670	680	700	689	603	672	789																																												
D	542	577	691	666	775	757	762																																												
E	766	728	1160	1255	1069	744	866																																												
Luz natural + artificial  Em=2630 lux	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>717</td> <td>868</td> <td>984</td> <td>1036</td> <td>954</td> <td>1054</td> <td>993</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>1213</td> <td>1366</td> <td>1439</td> <td>1405</td> <td>1386</td> <td>1336</td> <td>1251</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>1179</td> <td>1235</td> <td>1330</td> <td>1321</td> <td>1317</td> <td>1266</td> <td>1281</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td>1069</td> <td>1171</td> <td>1243</td> <td>1226</td> <td>1280</td> <td>1255</td> <td>1242</td> </tr> <tr> <th>E</th> <td>1112</td> <td>1345</td> <td>1882</td> <td>1685</td> <td>1686</td> <td>1587</td> <td>1302</td> </tr> </tbody> </table> Em=1258 lux		1	2	3	4	5	6	7	A	717	868	984	1036	954	1054	993	B	1213	1366	1439	1405	1386	1336	1251	C	1179	1235	1330	1321	1317	1266	1281	D	1069	1171	1243	1226	1280	1255	1242	E	1112	1345	1882	1685	1686	1587	1302		
	1	2	3	4	5	6	7																																												
A	717	868	984	1036	954	1054	993																																												
B	1213	1366	1439	1405	1386	1336	1251																																												
C	1179	1235	1330	1321	1317	1266	1281																																												
D	1069	1171	1243	1226	1280	1255	1242																																												
E	1112	1345	1882	1685	1686	1587	1302																																												

Tabela 22: Comparação entre valores de iluminância obtidos nas medições *in loco* e as simulações sob condição de céu encoberto padrão CIE, para as 10h e 14h do dia 21 de junho de 2010.

		Simulação		Medição <i>in loco</i>																																																		
21/06/2011 – céu encoberto	10h	Luz natural		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>203</td> <td>225</td> <td>372</td> <td>370</td> <td>352</td> <td>226</td> <td>194</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>276</td> <td>355</td> <td>351</td> <td>360</td> <td>296</td> <td>256</td> <td>232</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>271</td> <td>240</td> <td>230</td> <td>267</td> <td>246</td> <td>212</td> <td>182</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>261</td> <td>260</td> <td>258</td> <td>260</td> <td>212</td> <td>170</td> <td>138</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>337</td> <td>420</td> <td>608</td> <td>656</td> <td>535</td> <td>207</td> <td>164</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	203	225	372	370	352	226	194	B	276	355	351	360	296	256	232	C	271	240	230	267	246	212	182	D	261	260	258	260	212	170	138	E	337	420	608	656	535	207	164	Em=72 lux	Em=291 lux
			1	2	3	4	5	6	7																																													
	A	203	225	372	370	352	226	194																																														
	B	276	355	351	360	296	256	232																																														
C	271	240	230	267	246	212	182																																															
D	261	260	258	260	212	170	138																																															
E	337	420	608	656	535	207	164																																															
Luz natural + artificial		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>406</td> <td>529</td> <td>613</td> <td>640</td> <td>757</td> <td>697</td> <td>670</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>818</td> <td>885</td> <td>872</td> <td>849</td> <td>838</td> <td>845</td> <td>808</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>930</td> <td>898</td> <td>980</td> <td>959</td> <td>964</td> <td>915</td> <td>854</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>861</td> <td>874</td> <td>869</td> <td>808</td> <td>825</td> <td>800</td> <td>746</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>875</td> <td>930</td> <td>1132</td> <td>1115</td> <td>1041</td> <td>745</td> <td>606</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	406	529	613	640	757	697	670	B	818	885	872	849	838	845	808	C	930	898	980	959	964	915	854	D	861	874	869	808	825	800	746	E	875	930	1132	1115	1041	745	606	Em=714 lux	Em=830 lux		
	1	2	3	4	5	6	7																																															
A	406	529	613	640	757	697	670																																															
B	818	885	872	849	838	845	808																																															
C	930	898	980	959	964	915	854																																															
D	861	874	869	808	825	800	746																																															
E	875	930	1132	1115	1041	745	606																																															
14h	Luz natural		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>512</td> <td>620</td> <td>771</td> <td>748</td> <td>751</td> <td>633</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>764</td> <td>931</td> <td>968</td> <td>966</td> <td>924</td> <td>941</td> <td>920</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>670</td> <td>680</td> <td>700</td> <td>689</td> <td>603</td> <td>672</td> <td>789</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>542</td> <td>577</td> <td>691</td> <td>666</td> <td>775</td> <td>757</td> <td>762</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>766</td> <td>728</td> <td>1180</td> <td>1255</td> <td>1089</td> <td>744</td> <td>868</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	512	620	771	748	751	633	650	B	764	931	968	966	924	941	920	C	670	680	700	689	603	672	789	D	542	577	691	666	775	757	762	E	766	728	1180	1255	1089	744	868	Em=30 lux	Em=779 lux	
		1	2	3	4	5	6	7																																														
A	512	620	771	748	751	633	650																																															
B	764	931	968	966	924	941	920																																															
C	670	680	700	689	603	672	789																																															
D	542	577	691	666	775	757	762																																															
E	766	728	1180	1255	1089	744	868																																															
Luz natural + artificial		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>717</td> <td>868</td> <td>984</td> <td>1036</td> <td>954</td> <td>1054</td> <td>993</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1213</td> <td>1366</td> <td>1436</td> <td>1405</td> <td>1386</td> <td>1336</td> <td>1251</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1179</td> <td>1235</td> <td>1330</td> <td>1321</td> <td>1317</td> <td>1268</td> <td>1281</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>1069</td> <td>1171</td> <td>1243</td> <td>1226</td> <td>1280</td> <td>1255</td> <td>1242</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>1112</td> <td>1345</td> <td>1882</td> <td>1685</td> <td>1686</td> <td>1587</td> <td>1302</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	A	717	868	984	1036	954	1054	993	B	1213	1366	1436	1405	1386	1336	1251	C	1179	1235	1330	1321	1317	1268	1281	D	1069	1171	1243	1226	1280	1255	1242	E	1112	1345	1882	1685	1686	1587	1302	Em=672lux	Em=1258 lux		
	1	2	3	4	5	6	7																																															
A	717	868	984	1036	954	1054	993																																															
B	1213	1366	1436	1405	1386	1336	1251																																															
C	1179	1235	1330	1321	1317	1268	1281																																															
D	1069	1171	1243	1226	1280	1255	1242																																															
E	1112	1345	1882	1685	1686	1587	1302																																															

Conforme observado nas tabelas acima, a simulação que teve um comportamento mais próximo dos observados *in loco*, foi a realizada para o dia 22 de dezembro, sob condição de céu encoberto padrão CIE. Por mais que os valores absolutos tenham se apresentado bastante diferentes, chegando à uma diferença de cerca de 300% em alguns pontos, a distribuição da luz no interior da sala de aula ocorreu de forma similar, onde os pontos de maior iluminância se situaram nas mesmas zonas e os incrementos obtidos com o uso da luz artificial em conjunto com a natural, ocorrem de forma parecida, onde se registrou um incremento médio de 250% tanto na simulação, como na medição *in loco*.

Acredita-se que esta maior aproximação ocorreu devido ao céu, no dia da medição, ter permanecido encoberto, aproximando-se, portanto, do padrão CIE. Já, nas demais medições o céu estava claro, com pouca concentração de nuvens e seus resultados não obtiveram valores próximos aos simulados para as duas condições de céu. Apenas observou-se que a distribuição da luz no interior da sala de aula ocorreu de forma parecida com a simulada, tendo os pontos de maior e menor iluminância localizados em zonas semelhantes da sala de aula. Este fato pode ser explicado pelas grandes variações de luminosidade decorrentes da característica de um céu parcialmente encoberto e que o tornam de difícil análise.

Assim, de maneira a analisar os elementos considerados determinantes do desempenho lumínico da edificação, foi utilizada, como base para os estudos, a simulação realizada para o dia 22 de dezembro sob condição de céu encoberto padrão CIE.

5.4.1 Aberturas

Com base nos dados obtidos nas medições e nas simulações, observou-se que os pontos de menor iluminação estão situados afastados das janelas, e no perímetro da sala de aula. Devido a este fato estar atrelado às superfícies transparentes do ambiente analisado, acredita-se que o dimensionamento das janelas da edificação poderia ter tido um maior impacto no desempenho lumínico da sala de aula, caso sua largura tivesse maior dimensão.

Para isto, foi feita uma simulação da sala de aula com as janelas aumentadas em três módulos na fachada norte, cinco módulos na fachada sul e com a utilização de uma porta feita de madeira e vidro, conforme a figura a seguir:

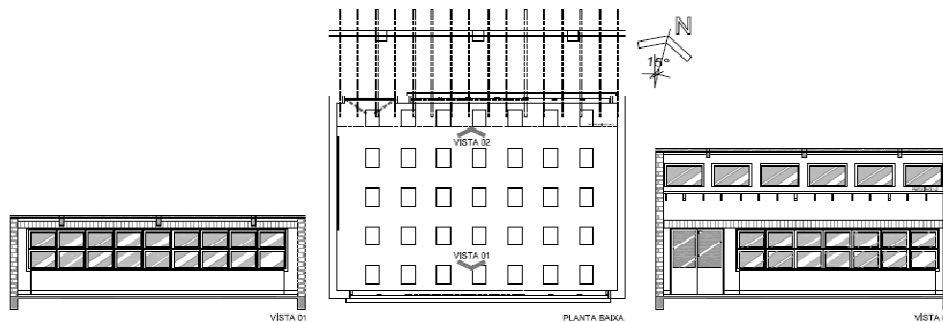


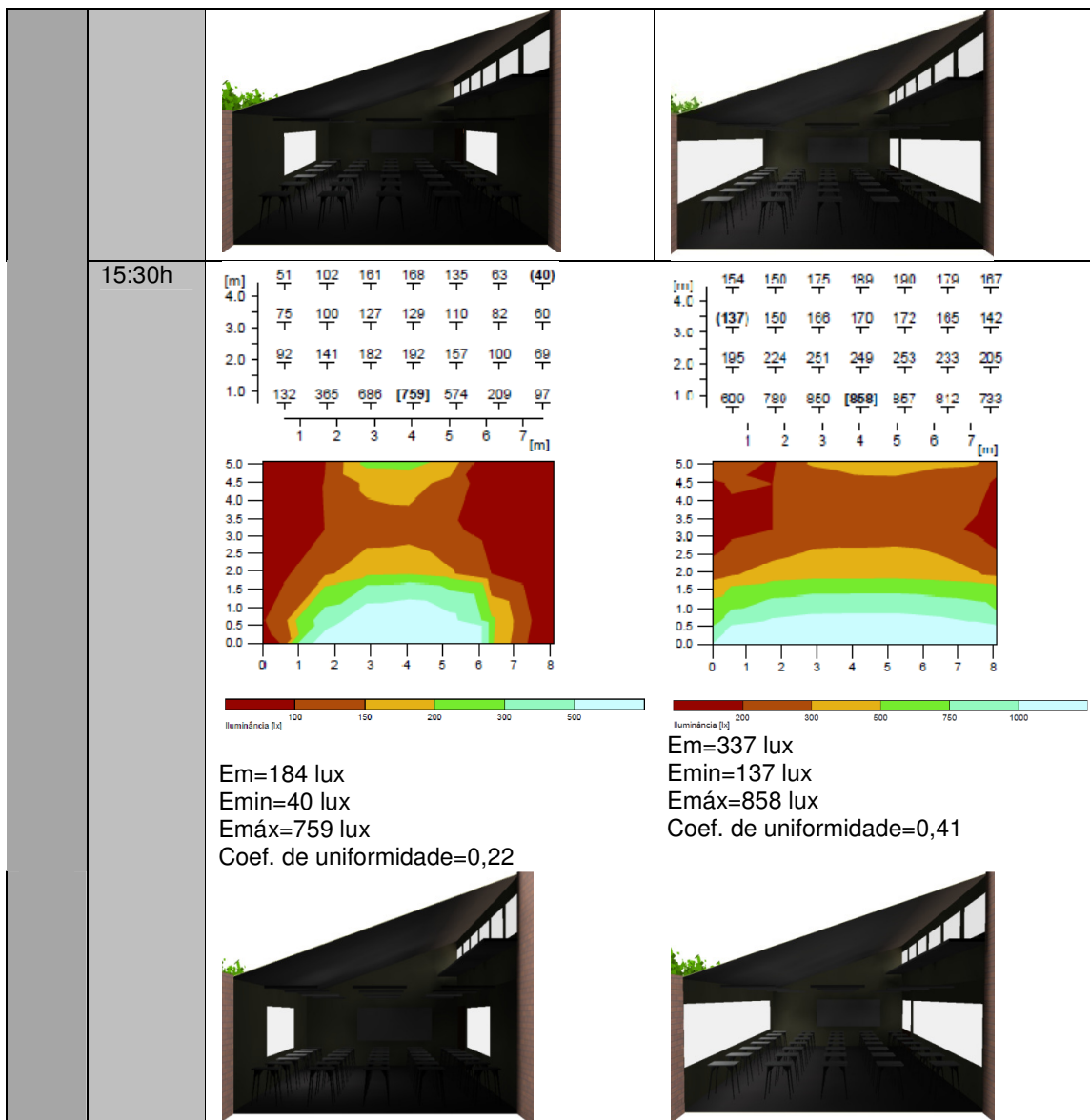
Figura 62: Vistas internas da sala de aula com janelas e portas alteradas.

A partir da simulação realizada, sob as condições descritas acima, observa-se na tabela abaixo que os níveis de iluminância obtidos no interior da sala de aula aumentaram, assim como o coeficiente de uniformidade resultante.

Ou seja, uma maior largura das janelas e a locação de um vidro na parte superior da porta resultaram num aumento de cerca de 80% na iluminância média do recinto, ao mesmo tempo em que houve uma melhor distribuição da luminosidade no espaço, incrementando os baixos níveis de iluminância registrados nos pontos afastados das janelas, porém mantendo-se altos valores de iluminância junto à fachada sul.

Tabela 23: Comparação entre valores de iluminância e coeficiente de uniformidade obtidos na simulação da situação atual da sala de aula e para esta, provida de uma maior superfície envidraçada.

		Simulação situação atual	Simulação com aumento das superfícies envidraçadas																																																																																																		
22 de dezembro – céu encoberto padrão CIE	10h	<table border="1"> <tr> <td>[m]</td> <td>0,4</td> <td>1,26</td> <td>2,01</td> <td>2,10</td> <td>1,63</td> <td>7,9</td> <td>(50)</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>94</td> <td>127</td> <td>158</td> <td>157</td> <td>134</td> <td>106</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>119</td> <td>173</td> <td>227</td> <td>242</td> <td>196</td> <td>126</td> <td>92</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>162</td> <td>468</td> <td>853</td> <td>[936]</td> <td>719</td> <td>256</td> <td>118</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </table> <p> Em=230 lux Emin=50 lux Emáx=936 lux Coef. de uniformidade=0,22 </p>	[m]	0,4	1,26	2,01	2,10	1,63	7,9	(50)	4.0								3.0	94	127	158	157	134	106	73	2.0	119	173	227	242	196	126	92	1.0	162	468	853	[936]	719	256	118			1	2	3	4	5	6	7	<table border="1"> <tr> <td>[m]</td> <td>1,07</td> <td>1,87</td> <td>2,17</td> <td>2,37</td> <td>2,37</td> <td>2,24</td> <td>2,09</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>(165)</td> <td>188</td> <td>207</td> <td>215</td> <td>211</td> <td>201</td> <td>184</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>234</td> <td>270</td> <td>305</td> <td>312</td> <td>322</td> <td>303</td> <td>282</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>750</td> <td>999</td> <td>1060</td> <td>[1070]</td> <td>1040</td> <td>1030</td> <td>914</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </table> <p> Em=419 lux Emin=165 lux Emáx=1070 lux Coef. de uniformidade=0,39 </p>	[m]	1,07	1,87	2,17	2,37	2,37	2,24	2,09	4.0								3.0	(165)	188	207	215	211	201	184	2.0	234	270	305	312	322	303	282	1.0	750	999	1060	[1070]	1040	1030	914			1	2	3	4	5	6	7
	[m]	0,4	1,26	2,01	2,10	1,63	7,9	(50)																																																																																													
4.0																																																																																																					
3.0	94	127	158	157	134	106	73																																																																																														
2.0	119	173	227	242	196	126	92																																																																																														
1.0	162	468	853	[936]	719	256	118																																																																																														
		1	2	3	4	5	6	7																																																																																													
[m]	1,07	1,87	2,17	2,37	2,37	2,24	2,09																																																																																														
4.0																																																																																																					
3.0	(165)	188	207	215	211	201	184																																																																																														
2.0	234	270	305	312	322	303	282																																																																																														
1.0	750	999	1060	[1070]	1040	1030	914																																																																																														
		1	2	3	4	5	6	7																																																																																													



5.4.2 Proteções solares

A existência de um grande beiral junto à fachada norte protege, de forma efetiva da incidência direta da radiação solar através das janelas baixas desta fachada, além de servir de proteção à circulação situada junto a esta. Já, a fachada sul, por ser a menos atingida pela radiação solar direta, possui uma pequena proteção, o que permite com que a parcela do céu visível, a partir dos pontos situados ao longo desta fachada seja considerável e responsável por altos valores de iluminância sobre as superfícies de trabalho. Uma consequência destes altos níveis de iluminância, é a ocorrência de reflexões indesejadas sobre as classes dos alunos, o que pode ocasionar ofuscamento aos seus usuários.

De forma a contornar esta situação, e demonstrar possíveis soluções, duas alternativas foram elaboradas:

A primeira solução seria a colocação interna de uma persiana horizontal reflexiva, ao longo da janela da fachada sul. Esta solução, além de simples, prática e econômica, busca proporcionar, ao usuário da edificação, autonomia no controle da luminosidade penetrante, permitindo que, através da regulagem, a luz seja redirecionada no interior da edificação, evitando sua incidência direta sobre as superfícies de trabalho.

A segunda solução proposta é o prolongamento do beiral existente. A partir das análises da trajetória solar e da parcela de céu visível, a partir das classes justapostas à fachada sul, foi projetado um novo beiral, com cerca de 1 (um) metro de projeção, dimensão necessária para barrar a porção de céu visível, a partir destes pontos (Figura 65).

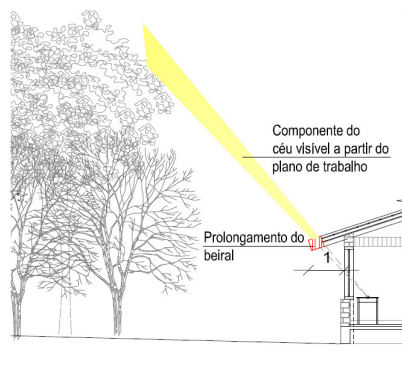


Figura 63: Componente do céu visível, a partir do plano de trabalho e proposta de prolongamento do beiral.

Com o intuito de analisar as conseqüências deste prolongamento do beiral, esta situação foi simulada e comparada com a simulação da situação atual. Abaixo estão expostos os resultados obtidos, em duas das simulações realizadas:

Tabela 24: Comparação entre as simulações da situação atual da sala de aula e desta com prolongamento do beiral da fachada Sul.

22 de dezembro – céu encoberto padrão CIE	10h	<p>Em=230 lux Emin=50 lux Emáx=936 lux Coef. de uniformidade=0,22</p>	<p>Em=161 lux Emin=48 lux Emáx=454 lux Coef. de uniformidade=0,30</p>
	14h	<p>Em=227 lux Emin=48 lux Emáx=905 lux Coef. de uniformidade=0,21</p>	<p>Em=158 lux Emin=48 lux Emáx=454 lux Coef. de uniformidade=0,30</p>

Com base nas informações obtidas a partir das simulações, nota-se que ao prolongar o beiral da fachada sul, os níveis de iluminância registrados sobre as superfícies das classes situadas ao longo desta fachada reduzem em cerca de 50%. Quanto aos valores mínimos registrados, estes permaneceram os mesmos, enquanto que a iluminância média teve seu valor reduzido em 31%

Assim, concluí-se que a proteção da fachada sul, de forma a barrar a parcela de céu visível a partir dos pontos localizados junto à sua janela, não se mostrou como uma boa alternativa, pois, por mais que reduza os altos níveis de iluminância sobre as classes dos alunos, reduz de forma significativa a iluminância média da sala de aula.

5.4.3 Prateleira de luz

Para melhor compreender a contribuição da prateleira de luz no desempenho lumínico da edificação e poder fazer recomendações à respeito deste elemento, foram analisados os resultados da simulação da sala de aula provida deste elemento, em comparação com esta mesma sala, em três situações distintas.

Na primeira situação, a sala de aula foi simulada sem a prateleira de luz e, nas demais, a sala de aula teve este elemento redimensionado conforme alguns estudos realizados sobre a incidência da radiação solar nesta fachada, que podem ser conferidos no esquema a seguir:

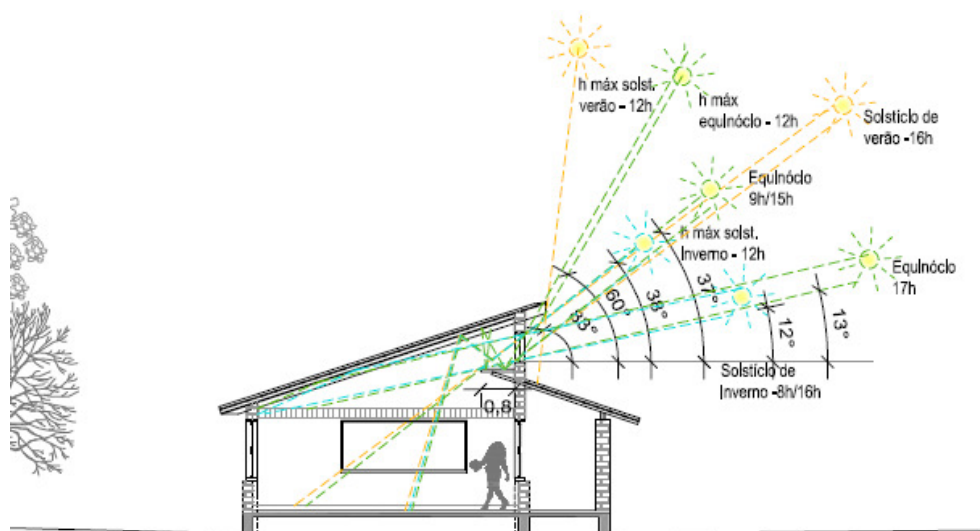


Figura 64: Esquema da incidência solar sobre a prateleira de luz existente.

A incidência da radiação solar direta, através da esquadria superior da fachada norte ocorre, principalmente, no solstício de inverno, equinócios de primavera e verão e nas primeiras e últimas horas do dia. Isto acontece devido à altura solar verificada nestas situações ser menor, facilitando, assim, sua penetração no interior da edificação. Já, no verão, devido à altura solar ser mais elevada e ser, em parte, barrada pelo beiral existente, sua penetração ocorre, basicamente, no final da tarde.

Assim, a prateleira de luz da sala de aula deve barrar a incidência da radiação solar e redirecioná-la ao interior da edificação a partir da reflexão da luz em sua superfície. Neste momento comenta-se, apenas, sobre a radiação solar direta, porém deve-se considerar que a prateleira de luz também contribui na distribuição da luz difusa no interior do espaço.

Um dado observado é que parte da incidência que ocorre, às 16 horas do solstício de verão, às 9:00 e 15:00 horas, dos equinócios e às 12:00 horas, do solstício de inverno, penetra diretamente no interior da edificação, sem ser refletida na prateleira de luz. Caso esta prateleira tivesse 20 centímetros a mais em sua largura, esta incidência seria refletida ao interior da edificação e contribuiria para a iluminação de pontos centrais e mais ao fundo da sala de aula, como de mostrado na figura a seguir:

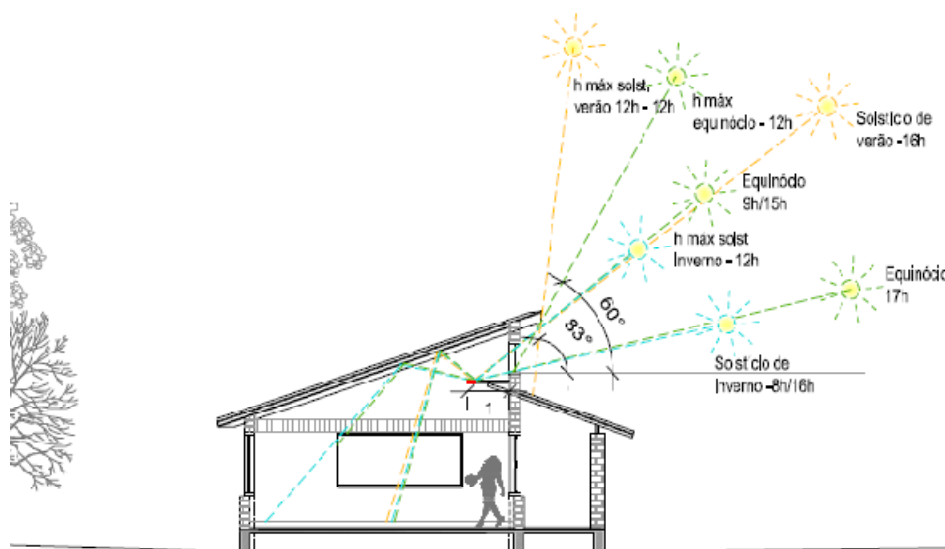


Figura 65: Esquema da incidência solar sobre a prateleira de luz redimensionada para 1 metro de largura.

Para utilizar a radiação solar das épocas do ano em que se verifica uma maior altura solar, acredita-se que o prolongamento da prateleira de luz ao exterior da edificação seria uma alternativa interessante. A partir das análises realizadas abaixo, verifica-se que a utilização deste elemento, na mesma inclinação do telhado, é ainda mais eficaz na reflexão da luz para o interior da sala de aula.

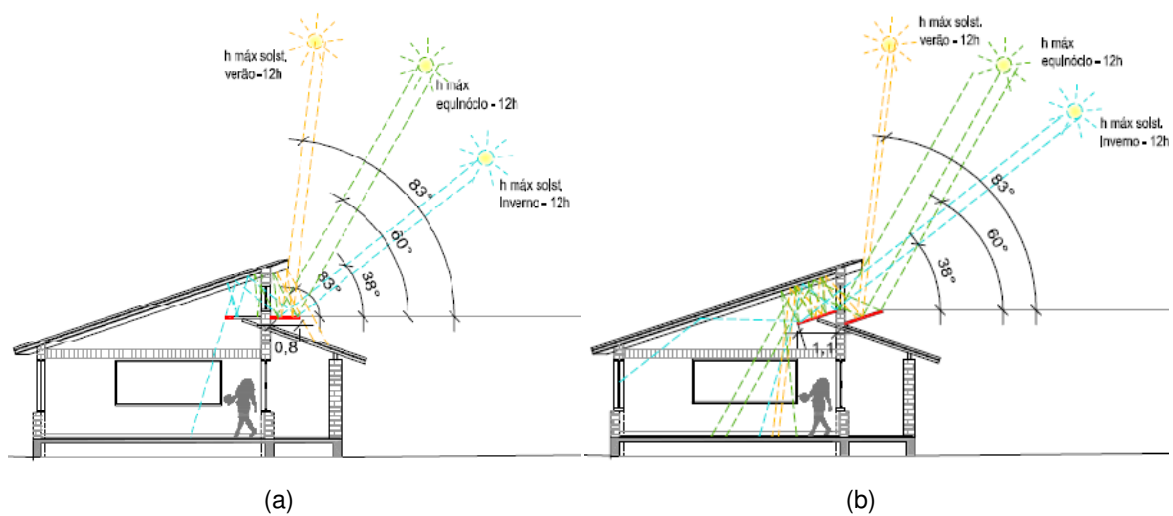


Figura 66: Esquema de incidência da radiação solar sobre a superfície da prateleira de luz, em duas situações distintas: prateleira interna e externa na horizontal (a) e prateleira interna e externa, com mesma inclinação do telhado (b)

Importante ressaltar que os esquemas de incidência solar apresentados estão considerando o ângulo de reflexão da luz simétrico à normal do ponto de incidência. Desta forma, a superfície da prateleira está sendo considerada um refletor perfeito, fato improvável ao considerar as características dos materiais que, geralmente, possuem, tanto características difusoras, como especulares.

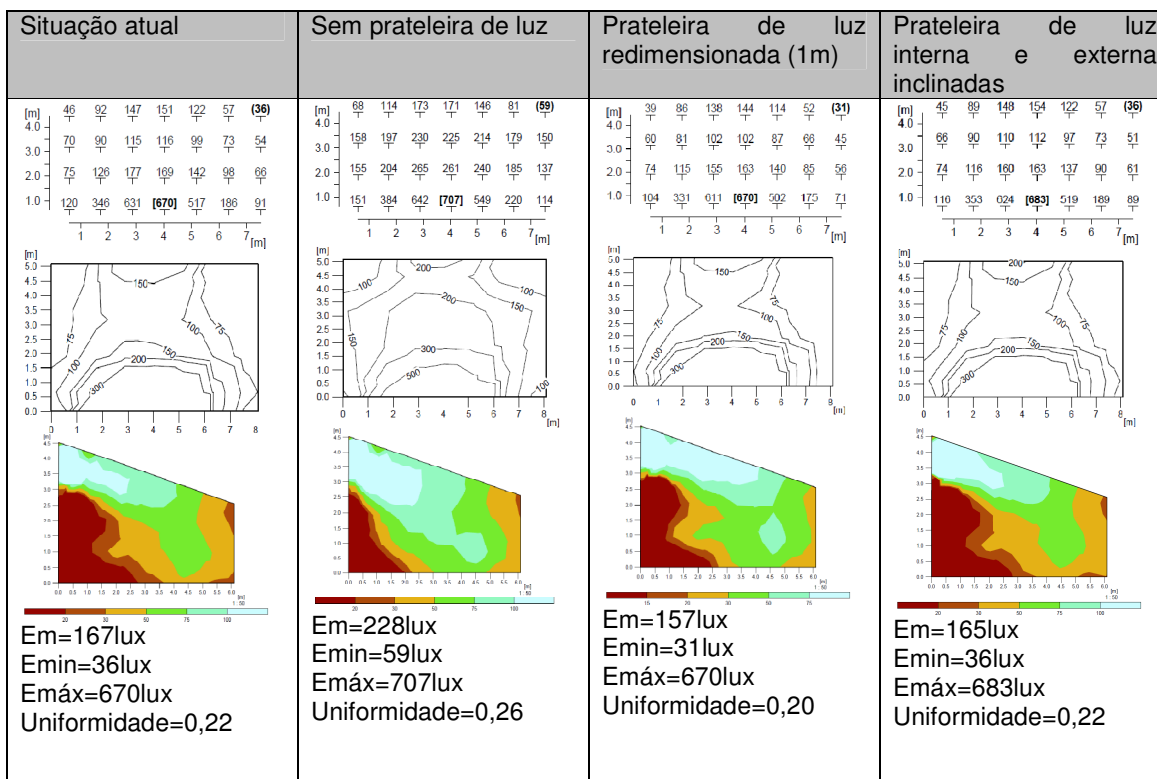
A partir das proposições realizadas, partiu-se para as simulações. A primeira considerou a situação atual da sala de aula, com uma prateleira de luz de 80cm de largura, a segunda considerou a sala de aula sem prateleira de luz, a terceira teve a prateleira de luz redimensionada para uma largura de 100 cm e a quarta considerou a existência de uma prateleira de luz inclinada, tanto no exterior, como no interior da edificação.

Em um primeiro momento foram realizadas simulações sob céu encoberto padrão CIE, nos horários e datas em que a prateleira de luz tem sua maior contribuição. Porém, a partir do resultado das simulações realizadas, verificou-se que as propostas de alterações para a prateleira de luz não causaram grandes alterações no nível de iluminância obtido sobre o plano de trabalho dos alunos. Este fato pode ser justificado devido à função da prateleira de luz, sob céu encoberto, ser basicamente de distribuir a luz natural no interior da edificação.

Um dado curioso obtido refere-se ao incremento nos níveis de iluminância e distribuição da luz no interior da sala de aula, quando esta foi simulada sem a prateleira de luz. A partir

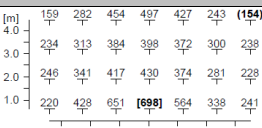
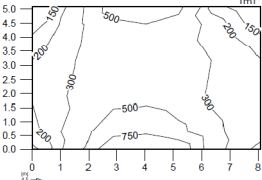
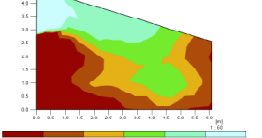
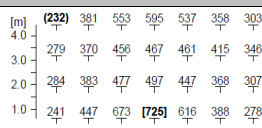
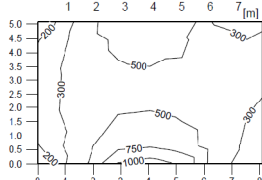
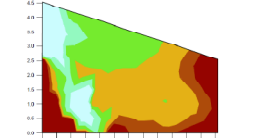
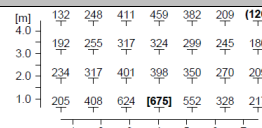
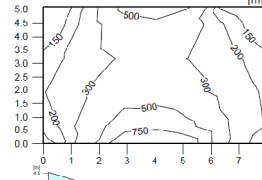
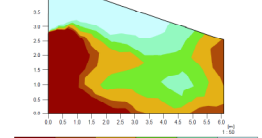
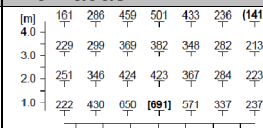
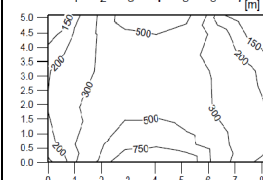
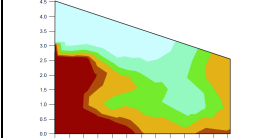
desta informação, contata-se que a contribuição da prateleira de luz, sob céu encoberto, não ocorre.

Tabela 25: Resultados das simulações verificando a influência da prateleira de luz nos níveis de iluminância obtidos sobre as classes dos alunos. Resultados obtidos para as 16:00 horas do dia 22 de dezembro, sob condição de **céu encoberto padrão CIE**.



Devido às prateleiras de luz terem sua maior contribuição na reflexão da luz solar direta, sob uma condição de céu claro, as simulações foram novamente realizadas, de forma a verificar a contribuição que as alterações propostas teriam sobre o desempenho lumínico da edificação.

Tabela 26: Resultados das simulações verificando a influência da prateleira de luz nos níveis de iluminância obtidos sobre as classes dos alunos. Resultados obtidos para as 16:00 horas do dia 22 de dezembro, sob condição de **céu claro padrão CIE**.

Situação atual	Sem prateleira de luz	Prateleira de luz redimensionada (1m)	Prateleira de luz interna e externa inclinadas
   Em=354lux Emin=154lux Emáx=698lux Uniformidade=0,43	   Em=424lux Emin=232lux Emáx=725lux Uniformidade=0,55	   Em=320lux Emin=126lux Emáx=675lux Uniformidade=0,39	   Em=350lux Emin=141lux Emáx=691lux Uniformidade=0,40

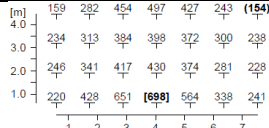
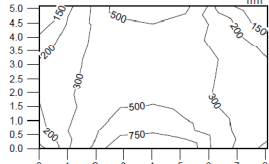
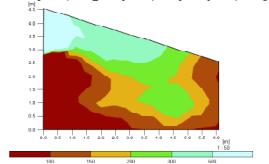
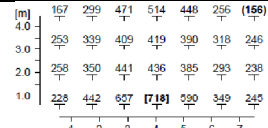
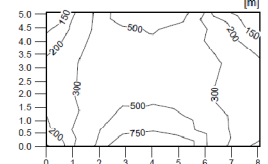
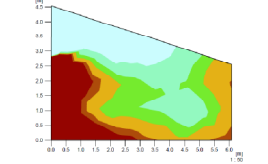
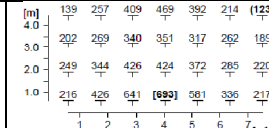
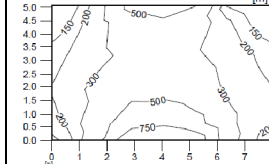
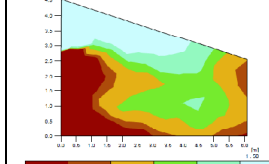
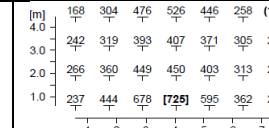
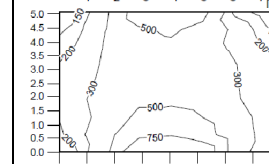
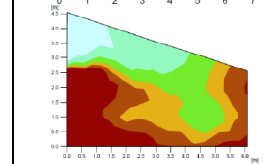
A partir do exposto acima, pode-se verificar a influência da prateleira de luz no redirecionamento da luz incidente. Na situação atual, visualiza-se que a luz, ao penetrar no ambiente tem uma pequena parcela refletida nas superfícies da prateleira e do teto; na condição da sala de aula desprovida de prateleira de luz, a incidência da radiação solar chega diretamente aos pontos próximos à esta janela; já, nas condições com a prateleira redimensionada, observa-se uma maior atuação da prateleira de luz na reflexão desta luz para a superfície do teto e desta para os pontos mais afastados da janela.

Porém, por mais que este direcionamento da luz ao interior da sala de aula tenha sido incrementado nas alterações propostas, não foram observados melhores níveis de iluminância sobre as superfícies de trabalho dos alunos.

Frente à isto, fizeram-se novas simulações da sala de aula, alterando as características de reflexão da prateleira de luz. Porém, novamente não foram observadas alterações nos níveis de iluminância obtidos. Por fim, alteraram-se, além das características do material das prateleiras, o material do forro. Anteriormente, ambas as superfícies estavam sendo tratadas como materiais com características de reflexão difusa, já na simulação realizada e

apresentada abaixo, utilizou-se um material especular de forma a visualizar seu impacto nos níveis de iluminância obtidos sobre as superfícies de trabalho:

Tabela 27: Resultados das simulações verificando a influência da prateleira de luz nos níveis de iluminância obtidos sobre as classes dos alunos. Para esta simulação, tanto a prateleira de luz, como o teto, foram consideradas superfícies com características de reflexão especular. Resultados obtidos para às 16 horas do dia 22 de dezembro, sob condição de **céu claro padrão CIE**.

Situação atual	Situação atual, novo material	Prateleira de luz redimensionada (1m)	Prateleira de luz interna e externa inclinadas
   Em=354lux Emin=154lux Emáx=698lux Uniformidade=0,43	   Em=368 lux Emin=156 lux Emáx=718 lux Uniformidade=0,42	   Em=334lux Emin=123lux Emáx=693lux Uniformidade=0,37	   Em=371 lux Emin=156 lux Emáx=725 lux Uniformidade=0,42

Destaca-se a pequena influência do material de revestimento das superfícies da prateleira de luz e do teto na eficácia da prateleira de luz, como refletora dos raios solares incidentes.

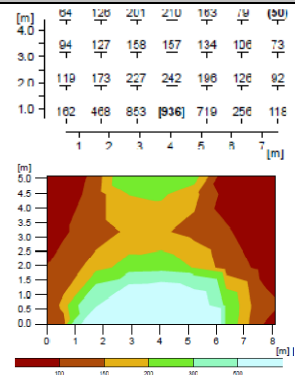
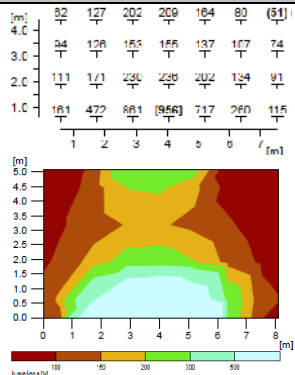
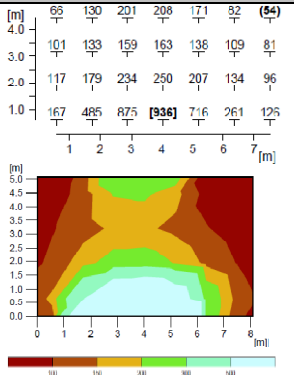
Apenas com a utilização de um material mais refletor, puderam-se observar as contribuições que um redimensionamento das prateleiras de luz proporciona. Assim, observou-se que a utilização de uma prateleira de luz, com a mesma inclinação do teto e com projeção ao exterior, proporciona uma melhora de 4,8% nos níveis de iluminância sobre as superfícies de trabalho dos alunos.

Assim recomenda-se, além de um redimensionamento da prateleira de luz, a troca de seu material de revestimento por um de características de reflexão, como as dos metais e espelhos.

5.4.4 Cor das superfícies

De maneira a analisar a contribuição das cores das superfícies da sala de aula, abaixo foi feito um estudo do impacto que a alteração da cor do piso e das paredes teria sobre os níveis de iluminância obtidos sobre os planos de trabalho dos alunos, para uma data qualquer e sob condição de céu encoberto padrão CIE.

Tabela 28: Análise da influência da cor das superfícies do piso e das paredes nos níveis de iluminância registrados sobre as classes dos alunos. Simulação realizada sob condição de **céu encoberto padrão CIE**.

Situação atual, piso cinza escuro e paredes com pintura amarelo claro	Situação simulada, com piso claro	Situação simulada, com paredes brancas
 <p>Em=230 lux Emin=50lux Emáx=936lux Uniformidade=0,22</p>	 <p>Em=231 lux Emin=51lux Emáx=956lux Uniformidade=0,22</p>	 <p>Em=235 lux Emin=54lux Emáx=936lux Uniformidade=0,23</p>

Observou-se que a influência da troca da cor do piso nos níveis de iluminância obtidos sobre os planos dos trabalhos dos alunos é mínima e não contribui para o desempenho lumínico da edificação. Confirmando-se, portanto, o referenciado na bibliografia consultada nesta pesquisa, a respeito da insignificante contribuição da cor do piso nos níveis de iluminação obtidos no interior da edificação.

Quanto à cor das paredes, esta possui uma influência relativamente considerável, principalmente junto aos pontos situados próximos à estas superfícies. Observou-se que a alteração da sua cor resultou em um acréscimo de 2,17% no nível de iluminância médio e de 4,54% no coeficiente de uniformidade obtido.

5.4.5 Sistema de iluminação artificial

O sistema de iluminação artificial projetado para a sala de aula da edificação escolar atende aos requisitos mínimos de iluminância exigidos por Norma. Porém, conforme foi apresentado na revisão bibliográfica, um sistema de iluminação bem pensado deve levar em consideração outras questões, como as relativas à escolha dos equipamentos de iluminação e à distribuição das luminárias e circuitos, conforme as atividades desenvolvidas no espaço e a presença da luz natural.

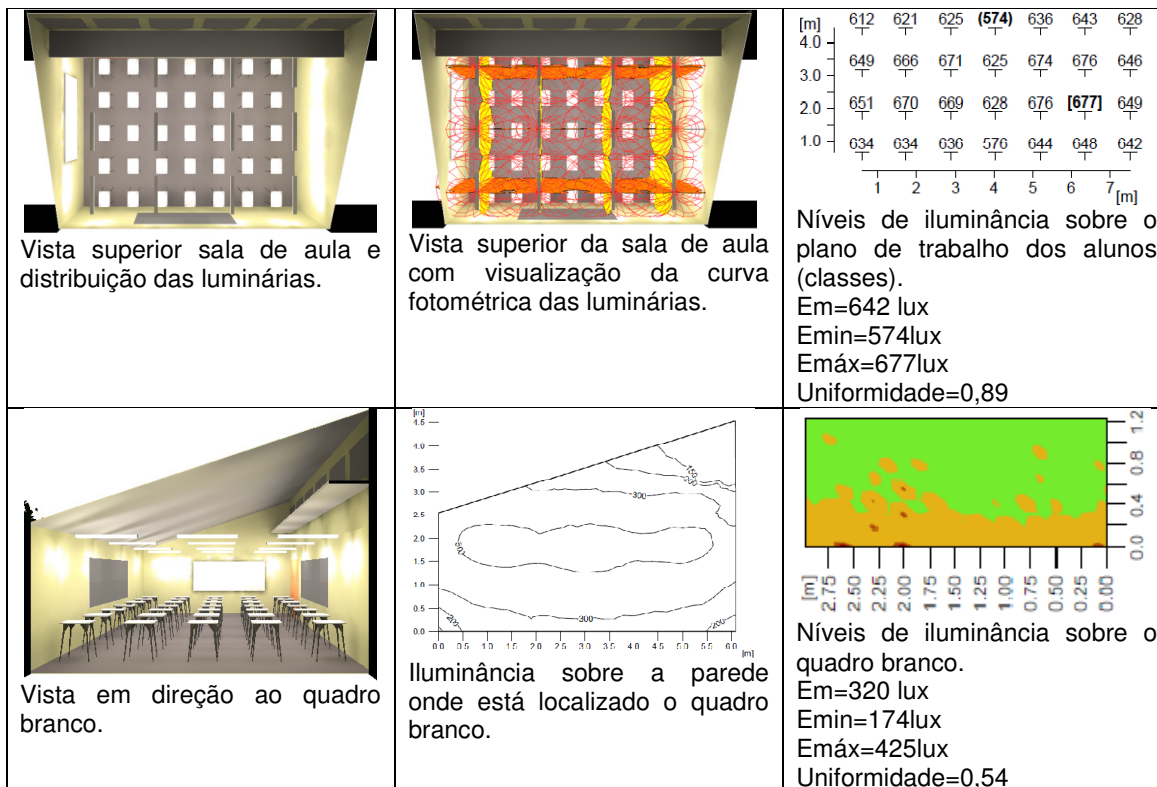
A partir da análise dos resultados das medições *in loco*, observou-se que o sistema de iluminação artificial da sala de aula analisada não foi projetado de forma a complementar a iluminação natural, quando esta não é suficiente. Assim, a existência de circuitos, ajustados à forma de distribuição da luz natural no recinto, não foi considerada.

Outro fator observado durante as visitas *in loco* e nas simulações abaixo, é a existência de ofuscamentos indesejados sobre algumas superfícies da sala de aula. Este fato ocorre, basicamente, devido à dois fatores. O primeiro diz respeito à distribuição das luminárias no ambiente, desconsiderando a curva fotométrica destes equipamentos, o que acaba gerando pontos pouco ou muito iluminados sobre as superfícies. O segundo fator diz respeito ao tipo de luminária utilizada, que, devido a ter suas lâmpadas expostas, acaba ofuscando diretamente os usuários, através da sua visualização e, indiretamente, através da sua reflexão nas superfícies, como no caso do quadro branco e das classes dos alunos.

Para analisar as questões levantadas acima e propor melhorias, o sistema de iluminação artificial da sala de aula foi simulado com auxílio do software Relux. Nestas simulações foram utilizadas luminárias com as mesmas características fotométricas das existentes no local e que estão detalhadas no item 6.1.4, deste trabalho.

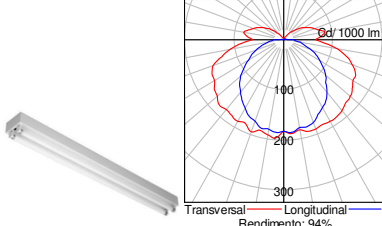
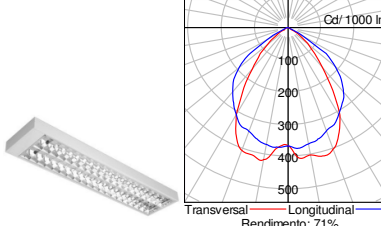
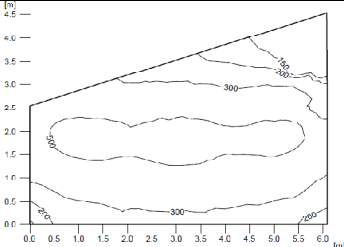
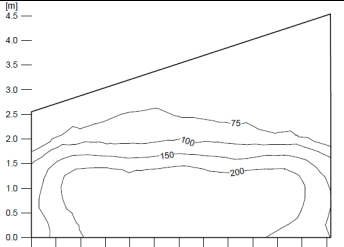


Os resultados da simulação da situação atual do sistema de iluminação artificial da sala de aula podem ser conferidos na tabela abaixo:

Tabela 29: Resultados da simulação do sistema de iluminação artificial atual da sala de aula analisada.



O primeiro item que se buscou abordar foi o tipo de luminária utilizada, sua distribuição no espaço e o ofuscamento causado por esta sobre as superfícies. De maneira a compreender o impacto da utilização de uma luminária adequada, primeiramente a sala de aula foi simulada alterando-se apenas o tipo de luminária para uma que dispusesse de dispositivos anti-ofuscantes, como aletas refletoras.

Tabela 30: Tabela comparativa entre os resultados da simulação da situação atual da sala de aula, com o uso de uma luminária com características anti-ofuscantes.

	Situação atual	Situação atual, com alteração do tipo da luminária utilizada
Tipo da luminária utilizada na simulação	 <p>Fonte: Catálogo Lumicenter (2009)</p> <p>Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente, equipada com 2 lâmpadas fluorescentes T10, de 40W.</p>	 <p>Fonte: Catálogo Lumicenter (2009)</p> <p>Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente, refletor e aletas parabólicas em alumínio anodizado de alta pureza e refletância, equipada com 2 lâmpadas fluorescentes T10 de 40W.</p>
Iluminância sobre a parede onde está localizado o quadro branco.	 <p>$E_m=354$ lux $E_{min}=76$ lux $E_{máx}=654$ lux</p>	 <p>$E_m=140$ lux $E_{min}=21$ lux $E_{máx}=242$ lux</p>
Vista em direção ao quadro branco.		

A partir do visualizado acima, a troca do tipo da luminária poderia contribuir na diminuição dos ofuscamentos existentes no interior da sala de aula, principalmente sobre o quadro branco. Porém nota-se, ainda, a presença de área iluminadas demasiadamente, fato justificado pela distribuição das luminárias no recinto.

Devido à este fato e à outras características do sistema existente, recomenda-se a utilização de lâmpadas e luminárias mais eficientes em uma nova distribuição e que considere a iluminação da superfície do quadro branco.

Para a iluminação geral da sala de aula, indica-se o uso de uma luminária de fecho simétrico (Figura 69a) e, para a iluminação do quadro branco, uma de fecho assimétrico, direcionado para o quadro (Figura 69b).

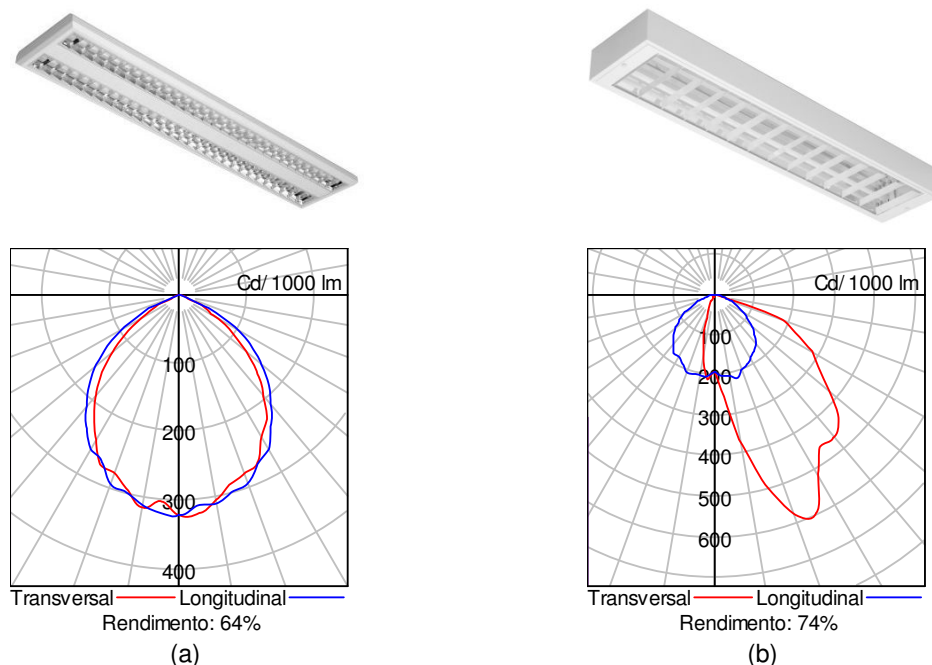


Figura 67: Características dos modelos das luminárias propostas para substituir as existentes (a) e para iluminar o quadro branco (b). Fonte: Catálogo Lumicenter (2009)

Ambas as luminárias possuem dispositivos anti-ofuscantes e são equipadas com duas lâmpadas T5, de 28W cada. Estas lâmpadas, em comparação com às utilizadas anteriormente, possuem maior eficiência energética e fluxo luminoso, chegando à consumir 40% menos de energia que as lâmpadas T10. Importante ressaltar que o uso destas lâmpadas já havia sido recomendado pelos projetistas da edificação, porém esta especificação não foi atendida.


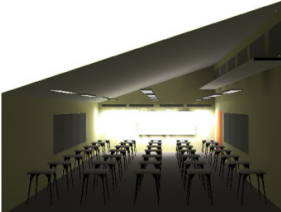

Quanto à distribuição das luminárias no interior da sala de aula, recomenda-se que esta atenda a dois cenários distintos. Em um primeiro momento, deve satisfazer à necessidade de iluminação geral da sala de aula, a partir da distribuição das luminárias de forma uniforme e mantendo-se uma iluminância média mínima de 500 lux, valor recomendado pela norma NBR5413 (ABNT, 1992), que contempla as diversas atividades desenvolvidas no interior da sala de aula e as necessidades de usuários de diferentes faixa-etárias.

O segundo cenário considera a iluminação da parede onde está o quadro branco. Recomenda-se que esta seja solucionada independentemente do restante do sistema de iluminação artificial, pelo fato de necessitar de um diferente tipo de luminária e devido à necessidade de seu acionamento ocorrer conforme a atividade desenvolvida no interior da sala de aula. Assim, este sistema poderá ser utilizado isoladamente, utilizando 100% da sua capacidade, ou em conjunto com o sistema de iluminação geral da sala de aula, onde se propõe que seja utilizada apenas 50% da sua capacidade. Ou seja, para maior flexibilidade e melhor desempenho lumínico, recomenda-se que as luminárias tenham suas lâmpadas instaladas em circuitos independentes, o que permite que as luminárias acendam em 100% da sua capacidade (duas lâmpadas ligadas) ou em 50% (com apenas uma lâmpada ligada).

Na tabela abaixo se pode verificar o resultado da simulação realizada, a partir das recomendações feitas acima, para diferentes situações de uso da sala de aula.

Tabela 31: Simulação das recomendações realizadas.

	Iluminação geral	Iluminação da superfície do quadro branco em 100%	Iluminação geral + Iluminação da superfície do quadro branco em 50%
Vista superior da sala de aula com visualização da curva fotométrica das luminárias.			
Níveis de iluminância sobre o plano de trabalho dos alunos (classes).	<p>Em=564 lux Emin=457 lux Emáx=623 lux Uniformidade=0,81</p>	<p>Em=106 lux Emin=141 lux Emáx=509 lux Uniformidade=0,14</p>	<p>Em=618 lux Emin=569 lux Emáx=729 lux Uniformidade=0,92</p>
Níveis de iluminância sobre o quadro branco.	<p>Em=116 lux Emin=25 lux Emáx=154 lux Uniformidade=0,22</p>	<p>Em=506 lux Emin=318 lux Emáx=682 lux Uniformidade=0,63</p>	<p>Em=373 lux Emin=263 lux Emáx=468 lux Uniformidade=0,70</p>

	Iluminação geral	Iluminação da superfície do quadro branco em 100%	Iluminação geral + Iluminação da superfície do quadro branco em 50%
Vista interna da sala de aula.			

Conforme apresentado acima, verificou-se que a implementação destas alterações na sala de aula poderia ser algo interessante, de forma a se obter um espaço iluminado conforme as necessidades requeridas pelo seu uso, privilegiando os planos de trabalho considerados. Devido à cada alteração proposta acarretar em consequências nas demais, buscou-se um equilíbrio para o atendimento satisfatório de todas, privilegiando-se a situação de uso, em que tanto a iluminação da superfície do quadro, como a do plano de trabalho estejam em uso. Este fato se justifica devido a este ser o cenário necessário para a maior parte das atividades desenvolvidas no interior da sala de aula.

Em paralelo às propostas realizadas acerca dos equipamentos a serem utilizados no sistema de iluminação artificial, a distribuição das luminárias no interior da sala de aula teve um cuidado permanente em ocorrer de forma a complementar o sistema de iluminação natural. Para isto, as luminárias foram dispostas paralelamente às janelas e recomenda-se que sejam agrupadas em três circuitos independentes

Assim o projeto luminotécnico da sala de aula se distribuiria em 5 circuitos, conforme apresentado na figura abaixo:

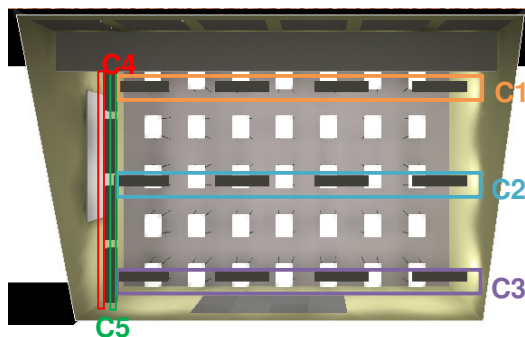


Figura 68: Proposta de distribuição das luminárias e em 5 circuitos

Frente às diversas possibilidades de acionamento do sistema de iluminação artificial, acredita-se que a economia gerada por esta utilização “parcial” da sua capacidade vá impactar consideravelmente nos gastos energéticos da edificação.

Para finalizar as recomendações à cerca do sistema de iluminação artificial da sala de aula analisada, levanta-se a possibilidade de dimerização das lâmpadas. Desta forma o sistema de iluminação artificial seria totalmente flexível às necessidades lumínicas da sala de aula.

6 CONCLUSÕES

A seguir, serão feitas conclusões à respeito dos resultados obtidos neste trabalho e que foram apresentados no capítulo anterior. Em um primeiro momento serão retomados os objetivos desta pesquisa, de forma a apontar a maneira com que foram alcançados e, posteriormente, serão feitas as considerações finais a respeito deste estudo.

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O objetivo geral deste trabalho, que é **avaliar o desempenho lumínico de uma edificação escolar construída a partir de estratégias sustentáveis e bioclimáticas, através da efetividade das decisões projetuais, das características físicas e construtivas da escola, das medições *in loco*, e da simulação da sala de aula e dos seus principais elementos**, foi atingido ao longo desta pesquisa através do cumprimento dos objetivos específicos deste trabalho.

Após optar pelo desenvolvimento desta pesquisa junto à escola de Feliz, que foi fruto de um projeto desenvolvido pelo NORIE/UFRGS, partiu-se para a etapa de obtenção de informações a respeito desta edificação. Assim, através de um estudo exploratório do projeto da edificação e de visitas *in loco*, buscou-se analisar as características físicas e construtivas da escola. A partir dos resultados obtidos, puderam-se observar todos os elementos que compõe a sala de aula analisada e que contribuem diretamente para o seu desempenho lumínico. Com base nos estudos bibliográficos realizados, tanto as aberturas, como as proteções solares e a prateleira de luz existente foram detalhadas e tiveram seu funcionamento analisado, assim como todas as superfícies foram observadas conforme sua cor e limpeza.

Frente às análises realizadas e as informações obtidas, sentiu-se a necessidade de compreender de que forma a edificação e seus principais elementos foram pensados e projetados, segundo o ponto de vista de seu desempenho lumínico. Para tanto, cumpriu-se com um dos objetivos específico deste trabalho que é **descrever as decisões projetuais tomadas pelos autores da edificação escolar**. Através de uma entrevista com um dos

arquitetos responsáveis pelo projeto da escola, pôde-se compreender suas intenções e analisar o impacto de suas decisões no resultado final da edificação. Além disso, foram verificados e levantados aspectos importantes, que no momento de projeção não foram considerados e que, hoje, os autores acreditam que uma maior atenção seria dispensada; como é o caso do sistema de iluminação artificial que poderia ter resultados melhores, caso fosse pensado em conjunto com o sistema de iluminação natural e conforme as atividades desenvolvidas no interior do recinto.

De maneira a verificar a eficácia das decisões projetuais e analisar o desempenho lumínico da edificação, resultante da ação conjunta dos elementos levantados nas etapas anteriores, foram **realizadas medições in loco**.

Estas medições, que correspondem a mais um objetivo específico do trabalho, foram realizadas em três datas distintas e sua metodologia atendeu ao recomendado pela norma NBR-15215 (ABNT, 2004). Com todos estes dados em mãos, partiu-se para uma nova etapa, a de tabulação de dados. A partir dos resultados obtidos, foram feitas considerações a respeito do desempenho lumínico da sala de aula, em diferentes estações do ano e sob diferentes condições de céu. Assim, dois objetivos específicos foram contemplados: **comparar os resultados obtidos nas medições lumínicas e analisar o comportamento lumínico da edificação ao longo das três medições realizadas, uma referente ao equinócio de outono e, as demais, referentes aos solstícios de verão e inverno**.

Observou-se que, nas medições realizadas, a edificação teve um comportamento similar, onde os planos de trabalho mais e menos iluminados situaram-se nas mesmas zonas da sala de aula. Sobre as classes justapostas à fachada sul, foram obtidos os maiores valores de iluminância, devido à parcela de céu visível a partir destes pontos ser considerável. Junto à fachada norte, obtiveram-se valores relativamente baixos, devido à proteção que o beiral existente exerce sobre a esquadria baixa situada nesta fachada. Já os planos de trabalho mais afastados das janelas obtiveram os menores valores de iluminância.

Neste momento questionou-se a eficácia da prateleira de luz como um elemento de redirecionamento da luz para as zonas menos iluminadas e não apenas como um elemento sombreador dos pontos situados sob sua estrutura.

Além de valores de Iluminância, foram abordados os Fatores de Luz Diurna correspondentes e os Coeficientes de Uniformidade. Tanto os valores de Iluminância, como os Coeficiente de Uniformidade obtidos foram baixos, demonstrando a pouca contribuição da luz natural nos níveis de iluminação obtidos no interior da sala de aula, além da

distribuição pouco uniforme desta luz no interior do recinto, demonstrando, assim, a existência de pontos mais iluminados do que outros.

Esta mesma desuniformidade foi observada sobre a superfície do quadro branco, que, por vezes, tem sua visibilidade prejudicada pela reflexão da luz. Este foi outro dado levantado e que foi verificado não apenas sobre a superfície do quadro branco, como sobre as superfícies das classes dos alunos. Além de o revestimento destas superfícies ser um material bastante liso e brilhoso, alguns fatores contribuem para a existência de contrastes excessivos sobre estas superfícies, como é o caso das luminárias utilizadas, que possuem suas lâmpadas expostas, sem nenhum tipo de difusor ou refletor.

A partir das informações obtidas pôde-se analisar o comportamento lumínico da edificação ao das três medições e ainda contemplar ao objetivo específico de **comparar os resultados das medições lumínicas com as intenções projetuais dos autores da edificação.**

Com base nesta comparação, foram elencados itens que possivelmente não tiveram a devida atenção de seus projetistas e impactam negativamente a edificação no seu desempenho. De maneira a compreender a atuação e influência de cada um destes elementos, sob diferentes perspectivas e condições de uso, contemplou-se o objetivo de **simular a sala de aula e seus principais elementos.**

Esta simulação deu embasamento para a análise do comportamento dos elementos que compõe a edificação. Pôde-se avaliar desde as cores das superfícies e suas características de reflexão, como as dimensões das esquadrias e prateleira de luz. Com base nos resultados obtidos, testaram-se possíveis alterações para estes elementos. Algumas proposições atingiram o objetivo de contribuir para um melhor desempenho lumínico da sala de aula, enquanto que outras tiveram contribuições pouco significativas nesta direção. A exemplo pode-se chamar atenção para o impacto positivo de um redimensionamento das aberturas e da proposição de um novo sistema de iluminação artificial, ao mesmo tempo em que, observa-se a pouca contribuição do redimensionamento da prateleira de luz e da alteração das cores das superfícies das paredes e piso. Assim, a partir do teste destas proposições, cumpriu-se com o objetivo específico de **elencar possíveis alterações na edificação.**

Deve-se considerar que este estudo tem algumas limitações em seus resultados devido às medições terem sido realizadas em apenas três datas distintas e as simulações não considerarem características diversas de céu. Além destas limitações, é importante ressaltar que algumas dificuldades foram enfrentadas no uso desta ferramenta de simulação no momento da escolha dos materiais de revestimento das superfícies e na simulação de

elementos externos à edificação, como os maciços de vegetação existentes. Por fim, com base nos resultados obtidos e nas dificuldades e limitações enfrentadas, cumpriu-se com o objetivo específico final deste trabalho, que é **fornecer recomendações para futuros projetos de edificações preocupadas com o desempenho lumínico do ambiente construído.**

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por edificações sustentáveis, de menor impacto ambiental e maior desempenho térmico, lumínico e acústico tem se mostrado presente nos dias de hoje, onde o tema sustentabilidade tem sido tão discutido. De maneira a encontrar novas formas de co-habitar o planeta e preservá-lo para as futuras gerações, os projetistas tem, aos poucos, destinado maior atenção às questões voltadas ao conforto ambiental.

Dentro do conforto ambiental nota-se uma inclinação para uma maior preocupação quanto às questões térmicas, em detrimento das lumínicas e acústicas, que, por sua vez, não são menos importantes e impactantes no desempenho final da edificação.

Quanto ao desempenho lumínico, este não apenas contempla questões voltadas à sua eficiência energética, mas também se refere ao desempenho físico e mental de seus usuários. Assim, o bom desempenho lumínico só é atingido ao contemplar as necessidades dos usuários, conforme as atividades que são desenvolvidas no interior do espaço edificado. Conforme abordado neste trabalho, em ambientes escolares, onde a permanência dos usuários ocorre por períodos prolongados e as atividades visuais são intensas, o conforto lumínico tem papel determinante para o desempenho das atividades de aprendizado.

Desta forma, o objeto de estudo deste trabalho - uma sala de aula de uma edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas - teve seu desempenho lumínico abordado através de análises, medições e simulações. Assim, buscou-se analisar as características físicas e construtivas da edificação escolar, avaliar o seu desempenho lumínico e compreender e aferir as decisões projetuais.

A partir dos resultados obtidos, puderam-se constatar algumas qualidades e deficiências da edificação e propor algumas melhorias. Para os futuros projetos de edificações mais sustentáveis, fica evidente a importância e o impacto das decisões projetuais nos resultados obtidos e a necessidade de conhecimento a respeito de como fazer uso da luz natural, em conjunto com a artificial.

Para isso, recomenda-se, além de estudo bibliográfico, a busca de um repertório de projetos que exemplifiquem edificações bem resolvidas, quanto ao conforto lumínico, e uma constante atualização à respeito de novas tecnologias e ferramentas de projeto.

De um modo geral, destaca-se a importância de estudos à respeito das características lumínicas do sítio de implantação da edificação, à priori das decisões projetuais. Após, indica-se a utilização de ferramentas específicas para análise dos elementos propostos, de forma a averiguar sua eficiência, antes de serem implementados na edificação. Neste momento, a implantação da edificação no terreno, o posicionamento das aberturas, o dimensionamento das proteções solares e os materiais de revestimento são testados, assim como o projeto de iluminação artificial é simulado, sob diversas condições de uso.

Verificou-se, a partir deste estudo de caso realizado, que, a análise destas características, à priori da execução do projeto, tem impacto direto no resultado do desempenho lumínico da edificação e no atendimento às intenções projetuais dos autores da edificação, cujos resultados podem, posteriormente, ser aferidos em medições *in loco*.

Portanto, cabe aos projetistas, antes de efetivarem suas decisões, projetá-las e testá-las. Para isto, hoje existem diversas ferramentas de projeto, como os softwares, que podem dar respostas rápidas à algumas questões de projeto. Porém, deve-se ter um conhecimento mínimo, para que se possa compreender e adequar os resultados gerados à algumas questões específicas de cada caso e que, muitas vezes, estes programas não consideram em seus resultados. Frente à isto, destaca-se a importância de se ter maiores informações à respeito destas ferramentas, suas limitações e suas indicações, para que assim, arquitetos e engenheiros possam se apropriar destes programas na proposição e testes de diferentes soluções para seus projetos.

Enquanto não se pode basear apenas nos resultados gerados por estes programas, concomitante ao uso destas ferramentas, sugere-se o uso de outros métodos, como os de cálculo, de utilização de modelos reduzidos, ou então, de medições *in loco*.

Outro fato importante, constatado através dos resultados obtidos neste trabalho, é que uma vez resolvido o projeto e todas as suas características, parte-se para uma etapa tão importante quanto o ato de projetar corretamente: a execução. Com base no estudo de caso realizado, verificou-se que, muitas vezes, o projetado é executado de forma diferente ao recomendado, ou então, simplesmente não é cumprido. Assim, ressalta-se novamente a figura do arquiteto ou engenheiro, não apenas como autor da edificação, mas como facilitador do processo de execução, ao proporcionar informações, sanar dúvidas e, ainda,

garantir a comunicação entre os diversos profissionais envolvidos, de maneira a certificar-se da compreensão e colaboração de todos para com o projeto idealizado.

6.3 SUGESTÕES PARA MELHORIAS DA EDIFICAÇÃO

Com o intuito de dar um retorno à comunidade escolar, proporcionar um maior conforto lumínico aos seus usuários e também gerar economia nos gastos com energia elétrica, foram elencadas algumas possíveis melhorias para a sala de aula analisada. Dentre as diversas questões já levantadas neste estudo, expõem-se, a seguir, aquelas de fácil execução e que demandam menor investimento financeiro. São elas:

- Alteração da porta de acesso para uma executada em madeira e vidro, de forma a aumentar a superfície envidraçada da fachada norte;
- Instalação de persianas internas ao longo da janela da fachada sul, de maneira a reduzir ofuscamentos sobre as superfícies das classes adjacentes e redirecionar a luz proveniente da parcela de céu visível, a partir destes pontos;
- Pintura das paredes internas da sala de aula de branco, para incrementar os níveis de reflexão da luz;
- Inclinação da prateleira de luz interior, revestimento de sua superfície com material especular e prolongamento da sua estrutura para o exterior da edificação;
- Troca das classes dos alunos por outras executadas em material opaco, reduzindo-se, assim, o ofuscamento sobre estas superfícies;
- Redistribuição das luminárias e circuitos, dispondo-os paralelamente às janelas da sala de aula, possibilitando, assim, a melhor complementação da luz natural pela artificial;
- Troca do modelo das luminárias utilizadas para uma que possua dispositivos anti-ofuscantes, como aletas refletoras;
- Uso de lâmpadas fluorescentes tubulares T5, de 28W, que além de possuir maior eficiência energética, possui maior vida útil e menor depreciação do seu fluxo luminoso, com o passar dos anos;

- Utilização de luminárias anti-ofuscantes e de fecho assimétrico ao longo da parede onde está situado o quadro branco, de forma a proporcionar uma iluminação mais homogênea desta superfície.

6.4 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Devido ao tema abordado nesta pesquisa ser extenso e possível de desmembramento segundo diferentes enfoques, sugere-se para a comunidade de pesquisadores da área de conforto ambiental, focada no desempenho lumínico das edificações, o desenvolvimento de pesquisas que busquem:

- a) Divulgar a existência de outros estudos de caso à respeito do desempenho lumínico de edificações sustentáveis e bioclimáticas, de forma a gerar portfólio à futuros projetos.
- b) Aprofundar o conhecimento a respeito dos softwares de iluminação, fazendo recomendações acerca da sua aplicação, nas diversas etapas de projeto e avaliação de edificações existentes.
- c) Divulgar o conhecimento e a importância das propriedades radiantes dos materiais nos resultados lumínicos obtidos no interior das edificações.
- d) Aprofundar as discussões à cerca do método de obtenção dos valores de fator de Luz Diurna em locais de clima sub-tropical, cuja característica de céu predominante é o Parcialmente Nublado.
- e) Aprofundar as discussões à cerca do impacto das características do céu nos resultados das simulações e das medições *in loco*.
- f) Aprofundar as discussões à respeito do processo projetual e o seu impacto no desempenho lumínico da edificação.
- g) Elaborar e divulgar metodologias de projeto para edificações preocupadas com seu desempenho lumínico, de forma a atender aos requisitos mínimos exigidos, conforme a atividade desenvolvida em seu interior.

Para dar continuidade à análise da edificação escolar abordada neste estudo, foram feitas algumas sugestões para futuros trabalhos, de maneira a continuar esta pesquisa e abordar assuntos que não puderam ser contemplados. Assim, recomenda-se:

- a) Avaliação mais aprofundada a cerca da prateleira de luz existente e a possível execução de protótipos com diferentes dimensões e materiais de revestimento.
- b) Avaliação do impacto das melhorias propostas no consumo energético da edificação.
- c) Verificação, através de medições e simulações, dos níveis de luminância sobre os planos de trabalho dos alunos e do quadro branco, de forma a avaliar os ofuscamentos existentes.
- d) Verificação da satisfação dos usuários da edificação, para posterior comparação com os resultados obtidos com as medições;
- e) Avaliação do desempenho térmico e acústico da edificação, para posterior análise do conforto ambiental da edificação, de forma holística;

Assim, finaliza-se este trabalho acreditando ter contribuído para uma maior divulgação do tema **desempenho lumínico em edificações projetadas com estratégias sustentáveis e bioclimáticas**. Acredita-se ter contribuído para o repertório de estudos de caso sobre o tema, além de ter levantado questões relevantes, frente ao ato de projetar e avaliar estas edificações. Almeja-se, então, servir de inspiração para novos projetos e novas edificações, que busquem atingir sua função através de soluções preocupadas com o meio-ambiente e o conforto de seus usuários.

REFERÊNCIAS

ADAM, R. S. **Princípios do ecoedifício: interação entre ecologia, consciência e edifício**. São Paulo: Aquariana, 2001. 128p.

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

_____. **NBR 15215-1: Iluminação Natural: parte 1: Conceitos Básicos e Definições**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15215-2: Iluminação Natural: parte 2: Procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 15215-4: Iluminação Natural: parte 4: Verificação Experimental das Condições de Iluminação Interna de Edificações: Método de Medição**. Rio de Janeiro, 2004.

AMORIM, C. N. D. **Diagrama Morfológico: instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural**. Paranoá – Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, n° 3. Programa de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

AMORIM, C. N. D. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I - Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável**. Paranoá – Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, n° 2. Programa de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

BERTOLOTI, D. **Iluminação Natural em Projetos de Escolas: Uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar a energia**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2007.

BERTI, J. **Simulação computacional de iluminação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Unidade Feliz**. 2009. 81 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOGO, A. J.; PEREIRA, F. O. R. **Análise do potencial de conservação de energia elétrica em escolas pela utilização da iluminação natural**. In: NUTAU 1998. São Paulo, 1998.

BRANDSTON, H. M. **Aprender a ver: a essência do design da iluminação**. Tradução Paulo Sergio Scarazzato. 1 ed. São Paulo: De maio comunicações e Editora, 2010. 154 p.

CARDOSO, S. O. C. F. **Avaliação das condições da iluminação natural em salas típicas de edifícios de escritórios em Maceió - AL**. 2006. Dissertação (Mestrado em dinâmicas do espaço habitado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas.

CHRISTAKOU, E. D. **Simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília.

CHRISTAKOU, E.; AMORIM, C. N. D. **Computer simulation of daylight: a comparison for architect's utilization**. In: PLEA 2005 - Passive and Low Energy Architecture, 2005, Beirute, Líbano. Anais. Disponível em: <<http://www.unb.br/fau/qualilumi>>. Acesso em: 06 julho 2010.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE ILUMINAÇÃO. CIE. Disponível em: <<http://www.cie.co.at>>. Acesso em: 15 novembro 2011.

COELHO, A. B. **Qualidade Arquitectónica Residencial**. Rumos e factores de análise. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2000. 475p.

COELHO-DE-SOUZA, C. H. **Proposta de Método para Avaliação da Sustentabilidade Ambiental de Pequenos Municípios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA.CEEE. Disponível em: <www.ceee.com.br>. Acesso em: 4 julho 2011.

EASTERBY-SMITH, M.; THORPE, R.; LOWE, A. **Management Research: An Introduction**. London, Sage, 1991.

FELIZ (Prefeitura Municipal de Feliz). **Código de Obras, Lei Municipal N.º 618/87**. Feliz, RS: 1987.

GEMELLI, C. B. **Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Lumínico de Edificação Escolar com Estratégias Sustentáveis e Bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

HADDAD, J.; YAMACHITA, R. A. **Os avanços tecnológicos em sistemas de iluminação e o correspondente impacto na eficiência energética das instalações**. XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Curitiba – PR, 2005

HESCHONG, L; WRITE L, R; OKURA S. **Daylighting impacts on human performance in school**. *Journal of the Illuminating Engineering Society*.2002. Disponível em: <http://www.lightingcontrols.com/campus/pdfs/IESNA_paper41_schools.pdf>. Acessado em: 18 nov 2011.

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

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA – IESNA. **The IESNA lighting handbook : reference & application**. 9 ed. New York : IES, 2000. 1000 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 julho 2010.

KREBS ARQUITETOS ASSOCIADOS. **Memorial Descritivo do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí**. Porto Alegre: KREBS ARQUITETOS ASSOCIADOS, 2003.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, LABEEEE. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. **Analysis SOL-AR**. Versão 6.2. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 20 maio 2010

RORIZ, M. **Luz do Sol**: radiação solar e iluminação natural. Versão 1.1. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1995. Disponível em: <<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>>. Acesso em: 20 maio 2011.

LAUDARES, D.; MUELLER, C. Iluminação e Sustentabilidade. **Revista LUME Arquitetura**, 26 ed. p. 28-35, abr./jun. 2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Pw, 1997. 192p.

LIMA, T. B. S.; CHRISTAKOU, E. D. **Projeto de Iluminação Natural: Ferramentas para Cálculo e Avaliação**. Paranoá – Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, n° 3. Programa de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

LOPES, A. C. S. **Avaliação de duas propostas de Sistema de Iluminação Artificial Suplementar ao Sistema de Iluminação Natural existente em sala de aula padrão**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

LUMISOFT 2008. Disponível em: www.lumicenter.com.br. Acesso em: 02 julho 2011.

MASCARELLO, V. L. D. **Princípios Bioclimáticos e princípios de Arquitetura Moderna – Evidências no Edifício Hospitalar**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MOREIRA, V. A. **Iluminação Elétrica**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1999. 189p.

OSRAM. **Iluminação: conceitos e projetos**. Disponível em: <http://www.osram.com.br>. Acesso em: 13 abril 2011.

OCHOA, J. H. **Análise do Conforto Ambiental em Salas de Aula da Universidade Federal de Goiás**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Construção Civil e Mecânica das Estruturas, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

PEREIRA, O. R. P.; SOUZA, M. B. S. **Iluminação**. Apostila de conforto ambiental Iluminação–Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://www.labcon.ufsc.br/graduacao_disc_ofere.php>. Acesso em: 14 junho 2010.

PEREIRA, O. R. P. **Iluminação natural no ambiente construído**. Material didático–Curso de Iluminação Natural no Ambiente Construído. III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, ANTAC, Gramado, 1995. Disponível em: <http://www.labcon.ufsc.br/graduacao_disc_ofere.php>. Acesso em: 14 junho 2010.

PROCEL. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 20 julho 2010.

RAMOS, D. Q.; PORTO, M. M.; **Avaliação da iluminação natural em salas de aula: estudo de caso - Escolas públicas de Teresina-PI**. In: ENTAC 2006. Florianópolis, 2006.

RELUX. Relux Professional 2007 Manual. Disponível em: <www.relux.ch>. Acesso em: 12 abril 2010.

REINHART, C. WALKENHORST, O. Daylighting – Light, Form and people. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 715-717, 2006. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 20 jan. 2010.

ROBBINS, C. L. **Daylighting design and analysis**. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1986. 877 p.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Studio Nobel, Fundação do Desenvolvimento Administrativo (FUNDAÇÃO), 1993

SATTLER, M. A. **Habitacões de baixo custo mais sustentáveis: a casa Alvorada e o Centro Experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis**. Porto Alegre: ANTAC, 2007. (Vol. 8). (coleção Habitare). 488p.

SCHMID, A. L. **A idéia de conforto: Reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. 338p.

SILVA, Maria da Luz P. **Análise de dois empreendimentos educacionais construídos segundo princípios de sustentabilidade, no estado do Rio Grande do Sul**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SZOKOLAY, S. V. **Environmental Science Handbook**. Lancaster: The construction Press, 1980. 532p.

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

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

TUBELO, R. C. S. **Análise do Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Estudo de Caso do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. **Climáticus 4.2.** Disponível em: <<http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/index.html>>. Acesso em: 7 maio 2011.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura.** 3 ed. São Paulo: Geros, 2007. 400p.

WIKIPÉDIA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em: 20 jan. 2010.

WU, W.; NG, E. A review of the development of daylighting in schools. **Lighting Research and Technology**, v. 35, p. 111-125, 2003. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexos/33.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2011.

APÊNDICE A – ENTREVISTA REALIZADA JUNTO COM UM DOS ARQUITETOS PROJETISTAS DA EDIFICAÇÃO

A entrevista abaixo foi realizada em Setembro de 2010 através de trocas de e-mail entre a autora da pesquisa e o arquiteto Carlos Krebs, um dos autores da edificação escolar.

1.

Pesquisadora (07/09/2010): O que embasou as decisões projetuais quanto ao desempenho lumínico da edificação? (tanto natural como artificial).

Arq. Carlos Krebs (13/09/2010): “Quanto ao desempenho lumínico da edificação, nossa intenção era, além de atender as prescrições no que se refere às escolas (tomando por base a legislação local e os requisitos do MEC), buscar exceder sempre que possível os parâmetros mínimos. Entretanto, a maior preocupação sempre esteve voltada para um conforto térmico, visto que a região apresenta temperaturas muito elevadas nos meses mais quentes do ano e que, bem ou mal, a "oferta de luz" é um problema sempre mais contornável que aqueles apurados com a temperatura...

Pela disposição dos Blocos A, B, C, D e E e do Núcleo Central projetados na implantação, tínhamos a vantagem de explorar corretamente os fatores de iluminação. Assim, a disposição em paralelo das esquadrias das faces Sul e Norte, enquanto favorecem a ventilação cruzada, atendem o estabelecido legalmente para a modulação desenvolvida. A linha de esquadrias na parte superior da elevação Norte (responsáveis pela exaustão do ar interno em dias quentes) acrescentam a possibilidade de iluminação por emprego da reflexão da luz no forro, ampliando a oferta lumínica e protegendo o ambiente da incidência solar direta, e permitem que parte da iluminação artificial dos ambientes permaneça desligada ao longo do dia.

Os dados quantitativos referentes ao desempenho esperado foram testados pela Prof^a e Arq Ana Elisa Fernandes em curso realizado na Suécia em 2004, mas com foco no conforto térmico. O trabalho dela resultou na alteração projetual referente à elevação do solo da laje térrea, permitindo a ventilação cruzada sob a edificação. Quanto a iluminação artificial, foi previsto, a partir do Projeto Executivo Elétrico, o emprego de luminárias fluorescentes do tipo tubular que tivessem um desempenho superior à média do que o mercado oferecia na época. Dentro de um Projeto Elétrico convencional, manteve-se sempre "um olho na regra, outro no orçamento".”

2.

Pesquisadora (07/09/2010): No projeto das janelas/prateleiras de luz, foi realizado algum projeto específico para seu dimensionamento? Foi utilizado algum tipo de software?

Arq. Carlos Krebs (13/09/2010): “Para o desenho e dimensionamento das bandejas de luz não foi utilizado nenhum software para o desenvolvimento em si, mas utilizou dados via software, como o *Programa de Gráfico Solar via Universidade do Oregon* (clique no link), além do próprio desenho via CAD, com o uso do VectorWorks 8 e Art•Lantis 3.5, este último para renderizações.”

3.

Pesquisadora (07/09/2010): A. Quanto ao sistema de iluminação artificial vocês preveram os circuitos de acionamento das luminárias das salas de aula? B. As luminárias e lâmpadas utilizadas foram especificadas por vocês? C. Foi feito algum projeto luminotécnico, com cálculo/uso de softwares? D. Houve algum cuidado com a iluminação do quadro negro?

Arq. Carlos Krebs (13/09/2010):“3.a. Foi solicitado ao projetista elétrico a divisão dos circuitos referente as luminárias em três linhas, conforme a distribuição das classes/carteiras.

3.b. As lâmpadas e luminárias foram especificadas pelo projetista elétrico, de acordo com o que foi mencionado na resposta 1. 3.c. Que eu saiba, não houve estudo específico via software (como Relux, por exemplo) para o desenvolvimento do Projeto Elétrico, assim como eu não havia desenvolvido anteriormente nos arquivos do Projeto Luminotécnico. 3.d. Infelizmente, não foi pensado uma iluminação específica para o quadro-negro, tampouco a possibilidade de emprego de iluminação para telão e projetor – algo que hoje certamente seria considerado.”

4.

Pesquisadora (19/09/2010):Portanto não chegaram ao ponto de especificar qual lâmpada/luminária seria utilizada?

Arq. Carlos Krebs (21/09/2010):“Pelo que me recordo, foi solicitado ao Projetista Elétrico que utilizasse lâmpadas fluorescentes tubulares T-5, ficando ao cargo dele a definição do melhor modelo de luminária dentro de uma visão centrada muito mais em economia de valores do que propriamente em eficiência...”

APÊNDICE B – MODELO DE FOLHA UTILIZADA NAS MEDIÇÕES REALIZADAS *IN LOCO*

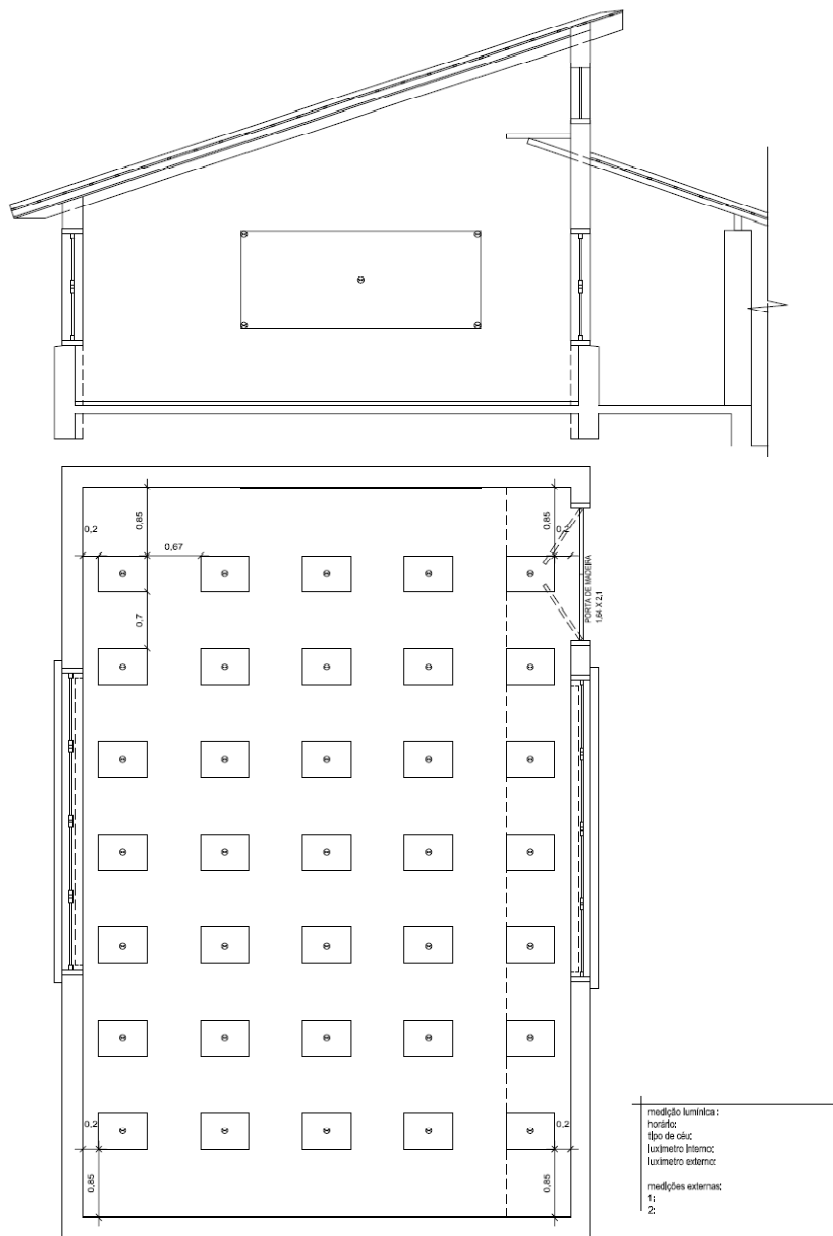


Figura B.1: Modelo de folha utilizada nas medições.

APÊNDICE C – CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL – MÉTODO DOS LUMENS

Recinto:	Sala de Aula - Escola de Feliz		Atividade do Ambiente:	Acadêmica		
		Formulas e/ou significados	Valor	Unidade	Outras Informações	
Descrição do Ambiente	1	Comprimento	a	9,00	m	
	2	Largura	b	6,00	m	
	3	Área	$A = a \cdot b$	54	m ²	
	4	Pé-Direito	H	3,40	m	
	5	Pé-Direito Útil	$h = H - h_{pltr} - h_{pend}$	1,70	m	
	6	Índice do Recinto (K)	$K = a \cdot b / h(a+b)$	2.117647059		
	7	Fator de Depreciação	Fd	1,25		
	8	Coefficiente de Reflexão	Teto p1	8		
	9	Coefficiente de Reflexão	Paredes p2	7		
	10	Coefficiente de Reflexão	Piso p3	7		
Características da Iluminação	11	Iluminância Planejada	E_m	500	lx	
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		6100	K	
	13	Índice de Reprodução de Cores		80	IRC	
Lâmpadas e Luminárias	14	Tipo de Lâmpada		T10 - 40W		
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	ϕ	2500	lm	
	16	Lâmpadas por Luminária	z	2	unid	
	17	Tipo da Luminária		2x40W		
	18	Fator de Fluxo Luminoso	BF*	0,90	BF	ED32A26 P
	19	Grupo da Luminária (tab ¹ Efic. Recinto)		NR		
	20	Eficiência da Luminária	η_L	NR		
	21	Eficiência do Recinto	η_R	NR		
	22	Fator de Utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$	0,73		
	23	Quantidade de Lâmpadas (sugerida no cálculo)	$n = E_m \cdot A \cdot F_d / \phi \cdot F_u \cdot BF$	20,54794521	unid	
24	Quantidade de Lâmpadas (utilizadas)	n REAL	24	unid		
25	Quantidade de Luminárias	$N = n/z$	10,2739726	unid		
Cálculo de Controle	26	Quantidade de Luminárias na Instalação	N	12	unid	
	27	Iluminância Alcançada	$E = z \cdot N \cdot \phi \cdot F_u \cdot BF / A \cdot F_d$	584	lx	
Consumo de Instalação	28	Potência Total Instalada	$P_1 = n \cdot W^* / 1000$	0,78	kW	32,5
	29	Densidade da Potência	$D = P_1 \cdot 1000/A$	14,44444444	W/m ²	
	30	Densidade da Potência Relativa	$D_1 = D \cdot 100/E$	2,473363775	W/m ² p/100 lx	

* W – Potência do conjunto lâmpada + acessório (consultar catálogo PHILIPS para obter valores orientativos)
 * BF = Fator de fluxo luminoso do reator (considerar este valor no caso de utilização de lâmpadas de descarga)