

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA**

**SUZANA DAMICO FONSECA**

**CONTRIBUIÇÕES PARA UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO DE SALAS DE AULA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CURITIBA  
2009**

**SUZANA DAMICO FONSECA**

**CONTRIBUIÇÕES PARA UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO DE SALAS DE AULA**

Dissertação apresentada como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger

**CURITIBA  
2009**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UTFPR – Campus Curitiba

F676c	<p>Fonseca, Suzana Damico</p> <p>Contribuições para uma metodologia de avaliação da eficiência energética em iluminação de salas de aula / Suzana Damico Fonseca. – 2009. 158 f. : il. ; 30 cm</p> <p>Orientador: Eduardo Leite Krüger Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Curitiba, 2009 Bibliografia: f. 123-29</p> <p>1. Salas de aula – Iluminação. 2. Salas de aula – Engenharia ambiental. 3. Energia elétrica – Consumo. 4. Iluminação de interiores. 5. Iluminação natural. 6. Arquitetura e clima. I. Krüger, Eduardo Leite, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. III. Título.</p> <p>CDD 600</p>
-------	--



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação Nº 284


**Contribuições para uma Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética em  
Iluminação de Salas de Aula**


por

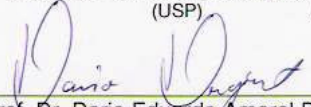
**Suzana Damico Fonseca**

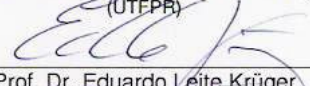
Esta dissertação foi apresentada às 14/15  
do dia **26 de maio de 2009** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM  
TECNOLOGIA, Linha de Pesquisa – Tecnologia e Desenvolvimento, Programa de Pós-  
Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi  
argüida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após  
deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado

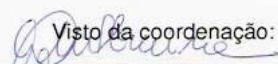
(aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado)

  
Prof. Dr. Paulo Sérgio Scarazzato  
(USP)

  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria de Fátima Raia Cabreira  
(DAELT-UTFPR)

  
Prof. Dr. Dario Eduardo Amaral Dergint  
(UTFPR)

  
Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger  
(UTFPR)  
Orientador

  
Visto da coordenação:

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luciana Martha Silveira  
Coordenadora do PPGTE



---

# Dedicatória

Devo e dedico cada minuto da concretização desta pesquisa ao meu pai, **Egberto Ribeiro da Fonseca**,

E aos meus amores, **Julia e Tomás**, que foram gerados e vieram ao mundo durante a realização do meu mestrado... E que inundam a minha vida de luz...

---

## Agradecimentos

A **Deus**, que interrompeu o caminho em que eu seguia para forçar-me olhar ao lado e escolher um caminho muito melhor. E, principalmente, por ter colocado neste caminho tantas pessoas maravilhosas a quem tenho muito a agradecer!

Aos meus pais **Egberto Ribeiro da Fonseca** e **Eliana Damico Fonseca** - MEU ETERNO PORTO SEGURO... Por todos os anos de dedicação, doação e luta para dar aos filhos dignidade, caráter e a melhor formação. Por terem sido incansáveis, durante a realização deste trabalho, ao deixarem a sua vida de lado para cuidar com tamanho amor dos meus bebês, enquanto eu desenvolvia o meu estudo.

Ao meu esposo **Idam Lauren Stival**, também colega de mestrado, que me deu suporte em algumas disciplinas e contribuiu durante as medições de campo. Ao meu irmão **Leandro Damico Fonseca**, por tantas vezes ter apontado o meu gosto pela iluminação e pelas inúmeras consultorias à língua inglesa. À minha tia **Yara D'Amico** pelo imenso apoio no meu processo de transferência. Às amigas **Adriana Stankiewicz** e **Cristina Rigo** pelo companheirismo e incentivo constantes. Também agradeço à Adriana pelos ensinamentos sobre fluxo de caixa e *payback*.

Ao Professor Doutor **Eduardo Leite Krüger**, que me abriu as portas do PPGTE e além de excelente orientador, se mostrou uma pessoa de conduta exemplar e um grande amigo.

Ao Professor Doutor **Gilson Leandro Queluz**, que então Coordenador do Programa de Pós Graduação em Tecnologia da UTFPR, acreditou no meu potencial e permitiu um exame de seleção fora de época para que eu pudesse transferir o meu mestrado da UFPR para a UTFPR. Ao amigo **Nilson Ubirajara de Almeida**, que me trouxe até o Professor Eduardo, pela amizade e apoio fundamentais durante todo o processo de transferência. Durante tal processo, agradeço também à amiga **Silvana Stumm** pela força.

Aos colegas e amigos da UTFPR: **Cintia Tamura**, **Flavia Minella**, **Francine Rossi**, **Milton de Almeida** e **Wivian Diniz**, que foram fantásticos ao me ajudar nas desgastantes tarefas de preparação das salas de aula e medições da iluminação natural. **Andréa de Souza**, pelo empréstimo de material e principalmente, pelo empenho e disposição para concluir os ensinamentos sobre economia que tanto valorizaram meu trabalho. **Eliane Dumke** pelo empréstimo de material. **Cristiano Konofal** - além do empréstimo de luxímetro - e **Gustavo Gomes**, pela ajuda nas medições de iluminação artificial. **Fabiano Mori**, pelas dicas sobre tarifação da COPEL.

Aos Professores Doutores **Dario Eduardo Amaral Dergint** (UTFPR), **Maria de Fátima Ribeiro Raia Cabreira** (UTFPR), **Paulo Sérgio Scarazzato** (USP/Unicamp/PUC-Campinas), **Joyce Carlo** (UFSC) e **Herivelto Moreira** (UTFPR), pelas preciosas contribuições e correções que aprimoraram este trabalho e pela presença nas bancas de qualificação e/ou defesa. Ao Professor Scarazzato agradeço ainda pelos valiosos ensinamentos sobre iluminação natural.

Ao Professor Doutor **Walter Sanchez** (UTFPR), pela dedicação e ensinamentos sobre consumo de energia. Aos Professores Doutores **Christoph Reinhart** (Harvard University) e

---

**Sergio Colle** (UFSC), ao senhor **Jorge Emilio Rodrigues** (INMET), ao Arquiteto **Dimas Bertolotti**, Msc. (USP), ao Engenheiro **André Doné** (PHILIPS), às equipes do **DEPRO** e **Manutenção Elétrica da UTFPR**, pela elucidação de dúvidas que surgiram durante a pesquisa.

Ao Professor Doutor **Rodrigo Catai** (DACOC-UTFPR), pelo empréstimo de luxímetro, ao senhor **Luiz Carlos Metz** (GEPLAD-UTFPR), ao Professor **José Neri Bonatto** (DETEC-UTFPR) e toda sua **equipe de inspetores e pessoal de segurança**, que viabilizaram a realização de todas as medições de iluminação natural e artificial ao permitirem e auxiliarem o acesso às salas de aula.

Aos **amigos** e **familiares** que compreenderam a minha ausência em diversas ocasiões, torcendo sempre por mim...

E finalmente, à **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES**, pela concessão de bolsa por um ano na UFPR e um ano na UTFPR.

---

## Epígrafe

*“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos.”*

*Fernando Pessoa*



---

## Resumo

Pode-se afirmar que o resultado da degradação ambiental causada pelo homem, gerado pelo uso irracional dos recursos naturais, põe em risco sua própria espécie. Um dos fatores que contribuem para este panorama é a crescente demanda mundial por energia elétrica. No Brasil, segundo dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o consumo de energia se destina, aproximadamente, em 20% à iluminação, cujos sistemas, em sua maioria, fazem uso de tecnologias obsoletas e ineficientes. O Ministério de Minas e Energia estima que o país tenha um imenso potencial de eficiência energética a ser explorado. Apresentam-se neste estudo contribuições para uma metodologia que visa adequar o sistema de iluminação de uma edificação pública destinada ao ensino às exigências da Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, oriunda da Lei de Eficiência Energética Nº. 10.295/01. Para tanto, foram tomadas como amostra algumas salas de aula da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba. Foi elaborado um levantamento sobre a situação do sistema de iluminação artificial existente e averiguado o potencial de uso da iluminação natural nos ambientes. A demanda de energia elétrica para iluminação artificial de cada sala de aula foi estimada para a situação atual e após uma adaptação do sistema de iluminação artificial aos requisitos da Regulamentação. Como resultados, foram encontrados um sistema de iluminação artificial deficiente; um grande potencial de uso da iluminação natural e uma promissora economia na demanda de energia se adaptado o sistema de iluminação atual à Regulamentação. Tendo em vista a utilização de tecnologias apropriadas para a conservação e eficiência energética, sugestões para um projeto luminotécnico foram propostas com o intuito de – caso implantado - diminuir os gastos com o uso da energia destinada à iluminação, propiciar o conforto para os usuários do Campus e contribuir, ainda que de forma modesta, para a preservação de recursos naturais e do meio ambiente.

Palavras-chave: eficiência energética, iluminação natural, FLN, iluminação artificial.

---

## Abstract

The several impacts from environmental degradations due to human activities and to the inadequate use of natural resources endanger our species. One of the factors contributing to this outcome is the growing worldwide demand for electric energy. In Brazil, according to the National Program of Conservation of Energy (*Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*) - PROCEL, energy consumption comprises, approximately, of 20% in artificial lighting, whose systems, in most cases, make use of obsolete and inefficient technologies. The Ministry of Mines and Energy (*Ministério de Minas e Energia*) estimates that the country has a huge potential for energy efficiency to be explored. In this paper, a methodology is presented to adjust the lighting system of a building aimed at public education to the requirements of the Regulation of Voluntary Labeling of Higher Energy Efficiency for Commercial, Service and Public Buildings (*Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos*), according to the Law of Energy Efficiency (*Lei de Eficiência Energética*) Nº. 10.295/01. For that purpose, classrooms of the Federal Technological University of Parana (*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*), Curitiba Campus were analyzed. An assessment was done about the situation of the existing artificial lighting system and the potential use of daylighting in rooms was evaluated. The demand of electric energy for artificial lighting in each classroom was estimated according to the current situation and after improvement of the artificial lighting system to the requirements of regulations. As a result, a deficient artificial lighting system was found, a great potential for using daylighting and a promising economy in demand for energy were found, provided that lighting system was adapted to the current regulations. Considering the use of appropriate technologies for conservation and energy efficiency, suggestions for a simplified lighting design were proposed in order to - if implemented - reduce spending with the use of energy for lighting, provide comfort for the campus users and contribute, even in a modest way, for the preservation of natural resources and the environment.

Keywords: energy efficiency, daylighting, DF, artificial lighting.

---

## Listas de figuras

Figura 1 – Consumo de eletricidade global em 2006. _____	26
Figura 2 – População sem acesso à eletricidade _____	26
Figura 3 – Modelo de etiqueta para a classificação geral do edifício. _____	38
Figura 4 – Mapa de localização e setores (UTFPR-Ctba), cujas entradas principais e secundárias estão indicadas pelas setas vermelhas e azuis. _____	39
Figura 5 – Planta-Tipo do 1º e 3º pavimentos do Bloco E com a indicação das salas de aula (em hachura), da orientação em relação ao norte e posicionamento das janelas (em azul). _	41
Figura 6 – Proporção de obstrução do entorno sugerida pelo <i>Lawrence Berkeley National Laboratory</i> . _____	44
Figura 7 – Luminária Plafonier tipo BB com quatro lâmpadas fluorescentes de 40W. _____	45
Figura 8 – Determinação de $H_m$ ou $H'_m$ _____	49
Figura 9 – Malha de pontos para medições _____	51
Figura 10 – Demarcação dos pontos centrais das áreas de medição diretamente no piso das salas de aula para facilitar as medições da iluminação natural _____	52
Figura 11 – Luxímetros LD-240 (a) e LDR-380 (RS232/Datalogger) (b) _____	52
Figura 12 – Janela de inserção de dados. _____	55
Figura 13 – Valores e gráfico para iluminâncias diárias. _____	56
Figura 14 - Tipos de céu: encoberto, parcialmente encoberto e claro _____	59
Figura 15 – Momento de observação do tipo de céu predominante _____	60
Figura 16 - Campo de trabalho retangular, iluminado com fontes de luz em padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras _____	62
Figura 17 – Croquis das salas de aula estudadas, baseados no método para campo de trabalho retangular, iluminado com fontes de luz em padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras. Salas E101 e E301 (a), salas E104 e E304 (b) e salas E107 e E307 (c)	63
Figura 18 – O efeito da iluminação artificial suplementar permanente (IASPI) em um ambiente. _____	70
Figura 19 – Exemplo da tela de entrada de dados do software Lux 2.0 para a situação atual da sala E301 _____	72
Figura 20 – Dados de saída do software Lux 2.0 para a situação atual da sala E301 _____	73
Figura 21 – Comparação da eficiência luminosa de lâmpadas encontradas no mercado _____	77
Figura 22 – Componentes da luz natural. _____	81
Figura 23 – Exemplo de zona iluminada pela luz do dia a partir da janela, considerando 1,5 vezes a altura do chão ao topo da janela. _____	85
Figura 24 – Luminária FAA02-S228 _____	116

---

## Listas de quadros

- Quadro 1 – Aceitação ou rejeição do projeto segundo o *payback* \_\_\_\_\_ 78
- Quadro 2 – Comparação da radiação solar convertida em iluminância externa (Hopkinson, Petherbridge e Longmore / Alucci) com os dados de iluminância global extraídos do DLN, conforme o tipo de céu ocorrido para cada horário de cada medição de verão \_\_\_\_\_ 88
- Quadro 3 – Comparação da radiação solar convertida em iluminância externa (Hopkinson, Petherbridge e Longmore / Alucci) com os dados de iluminância global extraídos do DLN, conforme o tipo de céu ocorrido para cada horário de cada medição de inverno \_\_\_\_\_ 89
- Quadro 4 – Resumo dos dados de investimentos, fluxos de caixa e *paybacks* referentes ao projeto luminotécnico eficiente para as salas de aula da UTFPR. \_\_\_\_\_ 118

---

## Listas de gráficos

Gráfico 1 – Demanda de energia primária global	23
Gráfico 2 – Comparação da projeção do consumo final de energia elétrica por setor em um período de 25 anos, no Brasil	29
Gráfico 3 – Parcela do consumo de energia elétrica destinado à iluminação em prédios públicos com ou sem condicionamento de ar	31
Gráfico 4 – Comportamento da iluminância natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de verão do dia 18/12/2007 próxima às 9 horas.	81
Gráfico 5 – Comportamento da iluminância natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de verão do dia 18/12/2007 próxima às 17 horas.	82
Gráfico 6 – Comportamento da iluminância natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de inverno do dia 9/07/08 próxima às 9 horas.	82
Gráfico 7 – Comportamento da iluminância natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de inverno do dia 9/07/08 próxima às 17 horas.	83
Gráfico 8 – Comportamento da iluminância natural interna da sala E101, referente aos três dias de medição de verão, num horário próximo às 9 horas.	84
Gráfico 9 – Comportamento da iluminância natural interna da sala E101, referente aos três dias de medição de inverno, num horário próximo às 9 horas.	84
Gráfico 10 – Correlação entre dados reais de radiação solar (convertidos em iluminância) e dados preditivos de iluminância global para as medições de verão	90
Gráfico 11 – Correlação entre dados reais de radiação solar (convertidos em iluminância) e dados preditivos de iluminância global para as medições de inverno	91
Gráfico 12 – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de outono	96
Gráfico 13 – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de inverno	97
Gráfico 14 – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de primavera	97
Gráfico 15 – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de verão	97
Gráfico 16 - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de outono, nas três condições de céu (CC, PE e CE).	99
Gráfico 17 - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de inverno, nas três condições de céu (CC, PE e CE).	100
Gráfico 18 - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de primavera, nas três condições de céu (CC, PE e CE).	101

---

Gráfico 19 - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de verão, nas três condições de céu (CC, PE e CE). \_\_\_\_\_ 102

Gráfico 20 – Variação do índice K em função da geometria de um ambiente \_\_\_\_\_ 111

Gráfico 21 - Consumo de energia elétrica real das salas de aula comparado ao consumo de energia elétrica simulado para as classificações A, B, C e D da Regulamentação para Eficiência Energética \_\_\_\_\_ 114

---

## Listas de tabelas

Tabela 1 – Demanda de energia primária global _____	23
Tabela 2 – Consumo final de energia elétrica e consumo de energia elétrica per capita em 2006 _____	28
Tabela 3 – Dados da projeção do consumo final de energia elétrica por setor no Brasil _____	29
Tabela 4 - Caracterização do consumo de energia elétrica por setor, quanto ao uso final no Brasil _____	30
Tabela 5 – Orientação cardinal das salas de aula do bloco E _____	41
Tabela 6 – Características das salas de aula do bloco E _____	42
Tabela 7 – Quantidade de luminárias, lâmpadas e potência instalada em iluminação artificial das salas de aula. _____	45
Tabela 8 – Refletâncias das superfícies dos ambientes. _____	46
Tabela 9 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos _____	50
Tabela 10 – Dados para a preparação da medição da iluminação natural _____	50
Tabela 11 – Porcentagem de nuvens para os diferentes tipos de céu _____	59
Tabela 12 – Quantidade de pré-requisitos para a classificação da edificação quanto aos critérios da Regulamentação para Eficiência Energética _____	65
Tabela 13 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação ( $DPI_{RL}$ ) para o nível de eficiência pretendido _____	67
Tabela 14 – Dados dimensionais das salas de aula para o cálculo do índice K _____	67
Tabela 15 – Interpolação dos valores $DPI_{RL}$ (tabela 13) para os índices K dos ambientes avaliados neste estudo _____	68
Tabela 16 - Fatores determinantes da iluminância adequada _____	68
Tabela 17 – Iluminâncias internas das salas de aula e coeficientes de variação das iluminâncias _____	86
Tabela 18 – Médias do FLN de cada sala de aula para as medições de verão e inverno, média geral do FLN para cada sala de aula e iluminâncias externas mínima (ponto crítico) e média _____	93
Tabela 19 – Dados de iluminância externa ( $E_e$ ) difusa num plano horizontal - considerando-se o horário legal e adotando-se o horário de verão - extraídos do software DLN _____	94
Tabela 20 – Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009 _____	95
Tabela 21 - Simulação das condições do nível de iluminamento das demais salas de aula, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009 _____	95
Tabela 22 – Iluminâncias internas provenientes da iluminação natural que atendem ou não a Regulamentação para Eficiência Energética _____	104
Tabela 23 – Médias das iluminâncias provenientes do sistema de iluminação artificial de cada sala de aula _____	105

---

Tabela 24 – Avaliação das salas de aula quanto ao cumprimento dos pré-requisitos da Regulamentação para Eficiência Energética (indicados na tabela 12)	106
Tabela 25 – DPI (Densidade de potência de iluminação) e $DPI_R$ (Densidade de potência de iluminação relativa) das salas de aula	107
Tabela 26 – $DPI_{RL}$ de cada sala de aula por nível de eficiência sugerido pela Regulamentação para Eficiência Energética	107
Tabela 27 – Limites DPI indicados pela Regulamentação para Eficiência Energética para cada sala de aula, considerando uma iluminância de 300 lux para a sala E101 (sala de desenho) e de 200 lux para as demais.	108
Tabela 28 – Consumo de energia elétrica real das salas de aula comparado ao consumo de energia elétrica simulado para as classificações A, B, C e D da Regulamentação para Eficiência Energética	109
Tabela 29 – Variação do índice K em função da geometria de um ambiente	111
Tabela 30 - Consumo de energia das salas de aula para o uso conjugado de iluminação natural e artificial (situação atual)	112
Tabela 31 – Consumo de energia das salas de aula para o uso conjugado de iluminação natural e artificial (classificação A)	112
Tabela 32 – Novo $DPI_R$ e nova classificação de eficiência energética a partir de dados extraídos do novo projeto luminotécnico	116



---

## Lista de abreviaturas e siglas

- ABILUX:** Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
- ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANEEL:** Agência Nacional de Energia Elétrica
- ASHRAE:** *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
- C<sub>v</sub>:** Coeficiente de Variação
- CC:** Céu Claro
- CC:** Componente Celeste (páginas 78 e 83)
- CIA:** *Central Intelligence Agency*
- CIE:** *Commission Internationale de l'Eclairage*
- CE:** Céu Encoberto
- COPEL:** Companhia Paranaense de Energia
- CRE:** Componente de Reflexão Externa
- CRI:** Componente de Reflexão Interna
- DLN:** Disponibilidade de Luz Natural
- DOE:** *Department of Energy*
- DPI:** Densidade de Potência de Iluminação
- DPI<sub>R</sub>:** Densidade de Potência de Iluminação Relativa
- DPI<sub>RF</sub>:** Densidade de Potência de Iluminação Relativa Final
- DPI<sub>RL</sub>:** Densidade de Potência de Iluminação Relativa Limite
- E:** Iluminância Interna
- ECEEE:** *European Council for an Energy Efficient Economy*
- EPA:** *United States Environmental Protection Agency*
- FLN:** Fator de Luz Natural
- IASPI:** Iluminação Artificial Suplementar Permanente
- IDMP:** *International Daylight Measurement Programme*
- IEA:** *International Energy Agency*
- IESNA:** *Illuminating Engineering Society of North America*
- INMET:** Instituto Nacional de Meteorologia
- ISO:** *International Organization for Standardization*
- LABEEE:** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
- LBNL:** *Lawrence Berkeley National Laboratory*
- MME:** Ministério de Minas e Energia

---

**Mtep:** Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo

**OECD:** *Organisation for Economic Co-Operation and Development*

**PE:** Céu Parcialmente Encoberto

**PROCEL:** Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

**WWR:** *Window to Wall Ratio*

**UTC:** *Universal Time Coordinated*

**UTFPR:** Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>22</b>
2.1	CONSUMO DE ELETRICIDADE NO BRASIL E MUNDO	24
2.1.1	Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Iluminação Artificial	30
2.2	POLÍTICAS E BARREIRAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO MUNDO	32
2.3	EFICIÊNCIA NO USO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	36
2.3.1	Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas	37
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA E PROCEDIMENTO</b>	<b>39</b>
3.1	SELEÇÃO DAS SALAS DE AULA PARA AVALIAÇÃO	40
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES	42
3.3	PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE LUZ NATURAL DAS SALAS DE AULA	47
3.3.1	Medições da Iluminação Natural	48
3.3.2	Simulação da Iluminância Externa e Estimativa do FLN	53
3.4	PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DAS SALAS DE AULA	60
3.5	CLASSIFICAÇÃO DAS SALAS DE AULA SEGUNDO CRITÉRIOS DA REGULAMENTAÇÃO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	64
3.6	ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA A PARTIR DO USO CONJUGADO DE LUZ NATURAL E ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	69
3.7	SUGESTÕES PARA UM PROJETO LUMINOTÉCNICO EFICIENTE	75
3.8	VIABILIDADE ECONÔMICA	78
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>79</b>
4.1	RESULTADOS SOBRE AS MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES REFERENTES À ILUMINAÇÃO NATURAL DAS SALAS DE AULA	79
4.1.1	Resultado das Medições da Iluminação Natural das Salas de Aula	80
4.1.2	Resultado da Simulação da Iluminância Externa e Cálculo do FLN	87
4.2	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	105

---

<b>4.3</b>	<b>SITUAÇÃO DOS AMBIENTES SEGUNDO CRITÉRIOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>105</b>
<b>4.4</b>	<b>LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ATUAL E DO USO CONJUGADO DE LUZ NATURAL E ARTIFICIAL POR INTERMÉDIO DO SOFTWARE LUX 2.0</b>	<b>108</b>
<b>4.5</b>	<b>PROJETO LUMINOTÉCNICO</b>	<b>115</b>
<b>4.6</b>	<b>ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PELO MÉTODO DO PAYBACK</b>	<b>117</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>119</b>
<b>5.1</b>	<b>SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS</b>	<b>122</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>123</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>130</b>

---

# 1 Introdução

No escopo dos debates sobre uso racional e eficiente dos recursos naturais, muito se tem discutido sobre a importância da conservação e eficiência energética como forma de mitigar os impactos ambientais gerados pela expansão da oferta de energia (COSTA, 2007). Este cenário foi um importante ponto de partida para motivar esta pesquisa. De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL, as edificações públicas e comerciais, por suas características de ocupação e uso, são consideradas potenciais fontes de economia de energia.

Com a criação dos ambientes fabris, oriundos da Revolução Industrial, a iluminação artificial passou a representar, para a humanidade, a adaptação ao trabalho em ambientes escuros e turnos noturnos. Além disto, o fato do homem ser essencialmente visual contribuiu para o seu crescimento contínuo (COSTA, 2005). Pois era possível trazer a luz a quaisquer ambientes cuja iluminação natural era inadequada, insuficiente ou até mesmo inexistente (GRAZIANO JUNIOR, 2006).

No séc.XX, a partir da 2ª Guerra Mundial, a tecnologia da iluminação artificial sofreu um grande avanço. Surgiram novos equipamentos para iluminação e novas fontes de energia para responder aos novos requisitos impostos pelo setor produtivo e de serviços. A iluminação natural passou a ser considerada como sendo de menor importância, uma vez que diversos aspectos de conforto poderiam ser artificialmente modificados (GRAZIANO JUNIOR, 2006; VIANNA; GONÇALVES, 2007).

Atualmente, nos Estados Unidos e Europa, metade da energia consumida é destinada a edifícios. Os sistemas de iluminação artificial são agentes consideráveis no consumo total de energia das edificações, principalmente em edifícios não residenciais (VIANNA; GONÇALVES, 2007). Pesquisas realizadas na Califórnia mostram que cerca de 40% do consumo energético nas escolas pode ser atribuído simplesmente à iluminação elétrica (DEPARTMENT OF ENERGY, 2006).

Em países emergentes, como o Brasil, embora o consumo de energia elétrica não seja tão significativo como em países desenvolvidos (LAMBERTS et al., 2007), o crescimento do consumo de energia elétrica triplicou da década de 80 até o ano 2000.

O Ministério de Minas e Energia (2008b) alerta que o consumo final de eletricidade no Brasil atingiu 412,1 TWh em 2007. Valor 5,7% superior ao consumo em 2006 (390 TWh) e 9,8% superior ao consumo de eletricidade em 2005 (375,2 TWh). Em 2007, o consumo residencial, de 90,9 TWh, foi 5,9% superior ao consumo de 85,8 TWh em 2006, quando foi ultrapassado pela primeira vez, desde o racionamento de energia elétrica, o patamar de consumo do ano 2000, que chegou a 83,6 TWh (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007b).

Nos edifícios de uso público, principalmente em escolas, tem-se observado que a preocupação com o superaquecimento dos ambientes devido à incidência da luz solar, em regiões de clima predominantemente quente e úmido, tem levado ao uso de proteções solares superdimensionadas. O resultado é o bloqueio do acesso da mínima quantidade de luz natural requisitada para o cumprimento das tarefas, implicando no uso permanente dos sistemas artificiais de iluminação e no conseqüente desperdício de energia elétrica (VIANNA; GONÇALVES, 2007). No entanto, se forem corretamente dimensionados, não comprometem a disponibilidade de luz natural nos ambientes. Pereira e Souza (2008) desenvolveram uma metodologia para definição de critérios para uso de dispositivos de proteção solar para as cidades brasileiras.

No Brasil, segundo Lamberts et al. (2007), um início de estudos visando à criação de critérios de eficiência energética para melhor qualificar uma edificação, surgiu como conseqüência da crise de energia de 2001, quando foi sancionada a Lei de Eficiência Energética Nº. 10.295, de 17 de outubro de 2001, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia”. Em 19 de dezembro de 2001, a regulamentação foi publicada sob forma do Decreto 4.059. No Decreto foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. E mais tarde, em outubro de 2003, foi lançado o PROCEL Edifica, através do Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações, estabelecendo vertentes de ação, cada qual apresentando uma série de projetos que visam implementar a eficiência energética na cultura construtiva nacional.

Um destes projetos é a criação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, doravante chamada Regulamentação para Eficiência Energética, que visa à redução do consumo de energia elétrica e ao aproveitamento da iluminação natural. Sua proposta é especificar os requisitos técnicos e os métodos para a classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto a critérios de eficiência energética. Ela será aplicada, inicialmente, em caráter voluntário tanto para as edificações existentes como para as novas. Terá caráter obrigatório,

---

no prazo máximo de 5 anos a partir de sua entrada em vigor<sup>1</sup>, para as novas edificações (LAMBERTS et al., 2007).

Segundo Rodrigues (2002), a principal fonte de iluminação na arquitetura sempre foi a natural. Porém, a iluminação artificial se tornou parte inseparável das edificações desde suas primeiras aplicações no ambiente construído. E não é tão simples empregar a luz artificial de forma eficiente.

Joachim Teichmüller, fundador do Instituto de Tecnologia da Iluminação em Karlsruhe na Alemanha, definiu o termo “*Lichtarchitektur*” como a arquitetura que considera a luz um material de construção. Porém, além do fator físico, a luz se apresenta como um fator decisivo na percepção humana (GANSLANDT; HOFMANN, 2007). A subjetividade em decoração e a sua influência psicológica no dia-a-dia dos indivíduos são fatores que se deparam com grandezas da engenharia convencional, como: reprodução de cores, intensidade luminosa, iluminância, entre outros, e da arquitetura bioclimática, como o aproveitamento da iluminação natural disponível (COSTA, 2005). Um sistema de iluminação artificial depende, portanto, de inúmeros fatores que devem estar harmonizados entre si, sob pena de ocorrerem distorções, fadigas e desperdício de energia elétrica.

A elaboração e a implantação de metas para o combate ao desperdício e para a redução do consumo de energia elétrica são imprescindíveis. Na área da iluminação, projetos luminotécnicos eficientes, que resgatem o uso da luz natural em combinação com a luz artificial, ou o emprego eficiente da iluminação artificial podem alcançar economias de 30% a 70% em edificações não residenciais (GRAZIANO JUNIOR, 2006; VIANNA; GONÇALVES, 2007).

Neste caso, que procedimentos devem ser adotados para a avaliação das condições de eficiência energética da iluminação de salas de aula a partir da aplicação da nova Regulamentação para Eficiência Energética, que está prestes a ser lançada?

Tem-se como premissa que, avaliadas as condições de iluminação dos ambientes de ensino, será possível sugerir mudanças que contribuam para a adequação das salas de aula aos critérios da Regulamentação para Eficiência Energética.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar contribuições para a metodologia de adequação de um edifício público de ensino, já existente, à Regulamentação para Eficiência Energética, enfocando a iluminação de ambientes.

---

<sup>1</sup> Ainda sem data definida.

---

Têm-se como objetivos específicos:

- caracterizar as salas de aula quanto à classificação de eficiência energética em iluminação;
- descrever ações que permitam mudar o quadro de ineficiência energética das salas de aula, direcionando-as para altos níveis de eficiência em iluminação;
- comparar dados de consumo de energia elétrica, antes e depois da aplicação dos conceitos da Regulamentação para Eficiência Energética.

Desta maneira, pretende-se demonstrar que ações de conservação e efficientização poderão contribuir para o melhor aproveitamento dos recursos do Estado, exercer menor pressão sobre o meio ambiente, com a diminuição do desperdício, e oferecer maior conforto para os usuários da edificação estudada.

No capítulo seguinte, é apresentado um referencial teórico sob forma de um breve panorama da demanda de energia global, a situação do consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo, bem como a parcela destinada à iluminação. Comenta-se sobre o uso da eficiência energética global e sobre as ações para a eficiência no uso da energia elétrica.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia para a avaliação do potencial de iluminação natural e artificial do ambiente em estudo, bem como a metodologia para a classificação e adequação deste ambiente segundo critérios da nova Regulamentação para Eficiência Energética. As avaliações foram realizadas nas salas de aula do bloco E - também chamado bloco da engenharia - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Campus Curitiba. Toda a base conceitual em que se fundamentou a metodologia é descrita ao longo deste capítulo.

No capítulo quatro são analisados todos os dados resultantes das medições de iluminação natural e artificial. São também analisados os dados de consumo de uma situação real e simulada sob a ótica da Regulamentação para Eficiência Energética. Em cima desta base de dados propõem-se melhorias no nível de eficiência energética do sistema de iluminação das salas de aula.

E por fim, são apresentadas as considerações finais sobre o estudo no capítulo cinco.



---

## 2 Referencial Teórico

O domínio da energia elétrica, após o período hegemônico do arco voltaico, causou no mundo entusiasmo e assombro para a maioria dos leigos. Não demorou a conscientizar todo mundo que a façanha criava pressupostos para um grande avanço tecnológico, para uma inopinada mutação na vida de toda a humanidade (BONALI, 2001).

Ao avaliar o uso global de energia durante os últimos dois séculos, Geller (2003) mostra que o consumo anual de energia no mundo aumentou 20 vezes desde 1850, 10 vezes desde 1900 e 4 vezes desde 1950. Além do mais, nestes 150 anos, as fontes de energia sofreram grandes mudanças, passando do uso quase que exclusivo da biomassa, ao gás natural, ao petróleo, às fontes de energia renováveis, como a hidrelétrica e a eólica, às modernas fontes de bioenergia e à energia nuclear.

Em outubro de 1973 ocorreu a primeira crise mundial do petróleo. Historicamente, a crise decorreu de acontecimentos políticos anteriores que culminaram com a decisão da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) - Irã, Iraque, Venezuela, Arábia Saudita e Kuwait – de que deixariam de ser companhias distribuidoras do petróleo, para se tornarem os países exportadores deste produto. Conscientes da condição do petróleo como um bem não-renovável, e do vínculo de dependência que as nações industrializadas mantinham com este bem, passaram a fixar os preços deste insumo, obrigando a sociedade a rever sua matriz energética e buscar novas formas de energia (COSTA, 2005; MOREIRA, 2006).

A tabela 1 e o gráfico 1 mostram o crescimento da demanda da energia primária<sup>2</sup> global (em Mtep) dos anos 80 até a projeção do IEA em 2030.

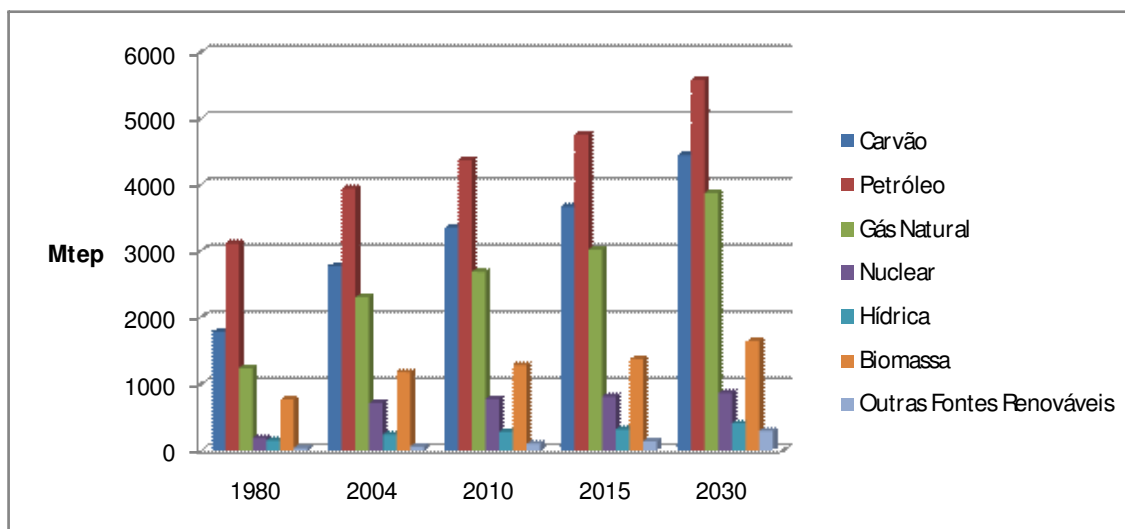
---

<sup>2</sup> Toda forma de energia extraída dos recursos naturais (IEA, 2005).

**Tabela 1** – Demanda de energia primária global

	<b>Demanda de energia primária global (Mtep)</b>				
	1980	2004	2010	2015	2030
Carvão	1785	2773	3354	3666	4441
Petróleo	3107	3940	4366	4750	5575
Gás Natural	1237	2302	2686	3017	3869
Nuclear	186	714	775	810	861
Hídrica	148	242	280	317	408
Biomassa	765	1176	1283	1375	1645
Outras Fontes Renováveis	33	57	99	136	296

FONTE: IEA (2006)

**Gráfico 1** – Demanda de energia primária global

FONTE: IEA (2006)

A cada novo preço para o barril de petróleo, intensificava-se a procura por fontes alternativas que pudessem substituí-lo. Em todos os países, programas de conservação energética foram estimulados em maior ou menor grau (COSTA, 2005).

Foi fundada, em novembro de 1974, a *International Energy Agency*, IEA, uma organização intergovernamental que age como conselheira da política de energia para 28 países, que são também, membros da OECD<sup>3</sup> (*Organisation for Economic Co-Operation and*

<sup>3</sup> Em 1947 foi fundada a Organisation for European Economic Co-operation com o intuito de reconstruir a Europa após a Segunda Guerra Mundial. Em 1961, quando países de outros continentes tornaram-se membros da organização foi fundada a Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD, cujo objetivo é auxiliar os países membros a alcançar um crescimento econômico sustentável.

---

*Development*). Parte do escopo da IEA consiste em melhorar o suprimento de energia e a estrutura de demanda mundial através do desenvolvimento de fontes alternativas de energia e do aumento da eficiência do uso da energia. (IEA, 2005; IEA, 2007).

Apesar do aumento do consumo mundial de energia: 73% entre 1973 e 2006, a intensidade energética, ou seja, o uso de energia por unidade de produção econômica (PIB) sofreu uma grande redução, desde 1973, em vários países da OECD. Na Alemanha a intensidade energética teve uma queda de 43%, 42% nos Estados Unidos, 39% no Reino Unido e 24% no Japão. Grande parte deste declínio se deve a adoção de novas tecnologias para a melhoria da eficiência energética. Porém, as nações da OECD ainda consomem cerca de seis vezes mais energia per capita do que os países em desenvolvimento (GELLER, 2003; ANEEL, 2008).

No Brasil, foram criadas novas políticas energéticas voltadas para a busca de fontes alternativas de energia: a substituição do uso da gasolina pelo álcool, a procura de novos poços de petróleo, a construção de usinas hidrelétricas e nucleares, como Itaipu e Angra dos Reis. Porém, não foi contemplado o incentivo para a redução da demanda de energia e combate ao desperdício. Uma questão chave foi postergada: a conscientização da participação da sociedade nos usos finais de energia (COSTA, 2005; MOREIRA, 2006).

## 2.1 CONSUMO DE ELETRICIDADE NO BRASIL E MUNDO

Um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade é o consumo de energia. Essa inter-relação foi o principal motivo do acentuado crescimento no consumo mundial de energia verificado nos últimos anos (ANEEL, 2008).

Dados da *Central Intelligence Agency* – CIA (2009) informam que o mundo consumiu aproximadamente 17480 TWh de energia elétrica em 2007. A crescente demanda por energia – especialmente por parte das potências emergentes terá, segundo a CIA (2006), forte impacto nas relações geopolíticas. E o fator isolado mais importante a afetar a demanda de energia será o crescimento econômico global, particularmente da China e da Índia.

O cenário projetado pela IEA (2006), em seu relatório *World Energy Outlook* 2006, presume um aumento de 53% da demanda global de energia entre 2004 e 2030, dependendo investimentos da ordem de 20 trilhões de dólares (ano-base 2005).

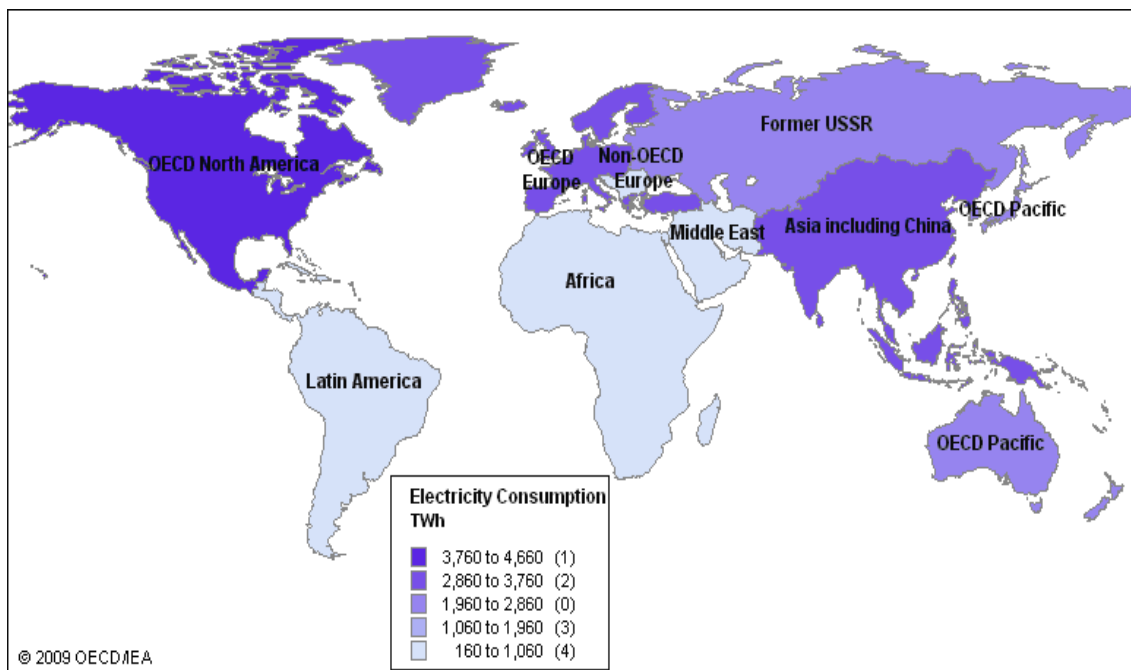
---

Para a demanda global de eletricidade neste mesmo período, estima-se um aumento de aproximadamente 70%, enquanto calcula-se que sejam gastos por volta de 11,3 trilhões de dólares (ano-base 2005) em investimentos para a infra-estrutura de geração, transmissão e distribuição de eletricidade (IEA, 2006).

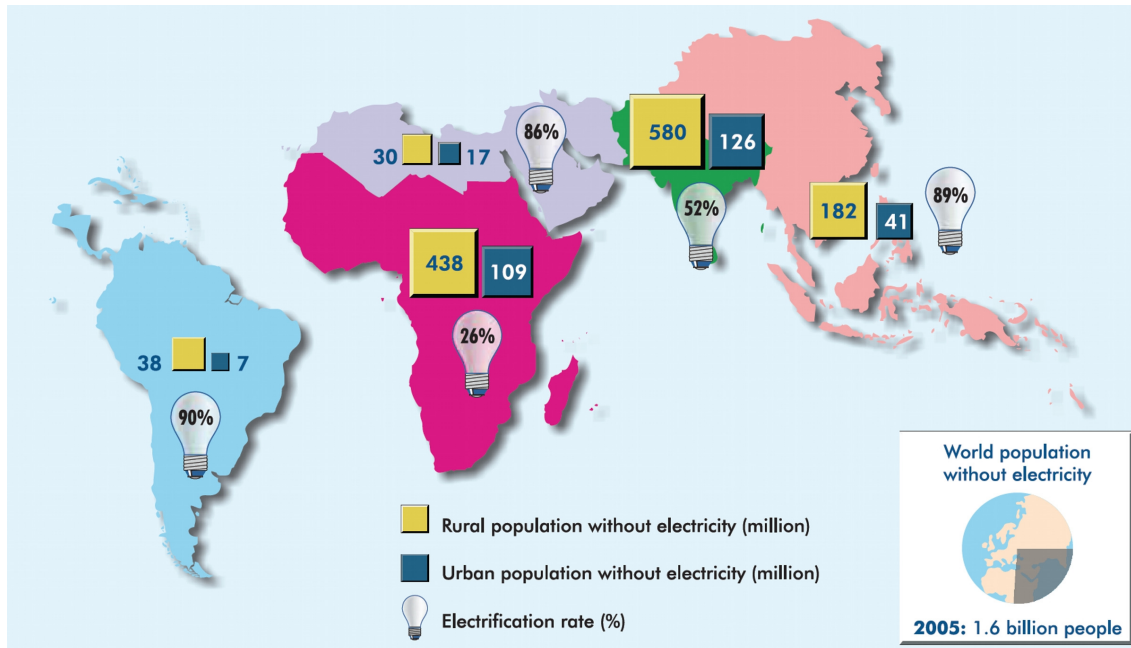
No Brasil, investimentos no setor elétrico serão em torno de 252 bilhões de dólares, entre 2004 e 2030 (IEA, 2006). Segundo o Ministério de Minas e Energia (2006; 2008b), o consumo de eletricidade neste país, de 412 TWh em 2007, poderá duplicar ou até mesmo triplicar em 2030, variando de 775 a 1300 TWh, conforme os quatro possíveis cenários econômicos para o Brasil.

Em 2004, enquanto o consumo global de eletricidade girava em torno de 14400 TWh, o número de pessoas sem acesso à eletricidade era de aproximadamente 1,6 bilhões (IEA, 2006). Estas pessoas dependem quase que inteiramente da lenha e de outras fontes tradicionais de energia para suprir suas necessidades energéticas. Essas famílias não consomem nem eletricidade, nem gás natural – fator que contribui para seu empobrecimento (GELLER, 2003). Isto significa que ainda existe mais de um quarto da população mundial com o direito e a pretensão de usufruir do consumo de energia elétrica. Estima-se que até 2030 esse número caia para 200 milhões, porém, o consumo tende a praticamente duplicar: 28000 TWh (IEA, 2006).

As figuras 1 e 2 ilustram a desigualdade da distribuição da eletrificação no mundo, quanto ao consumo e ao acesso.



**Figura 1** – Consumo de eletricidade global em 2006.  
**FONTE:** IEA (2009)



**Figura 2** – População sem acesso à eletricidade  
**FONTE:** IEA (2006)

---

Os 30 países desenvolvidos que compõem a OECD, como, Estados Unidos, Alemanha, França, Itália, Espanha e Reino Unido estão entre os maiores consumidores de energia elétrica do mundo. Rússia e China, que não fazem parte da Organização, são também grandes consumidores de energia elétrica. Entre os países de maior consumo de energia elétrica *per capita*, se destacam a Islândia, Noruega, Canadá, Finlândia, Suécia, Estados Unidos e Austrália. Enquanto as regiões subsaarianas da África e o Sul da Ásia concentram a maior proporção da população sem acesso à energia elétrica. Cerca de 80% desta população vive nas áreas rurais de países em desenvolvimento (IEA, 2006; ANEEL, 2008, IEA, 2009).

Geller (2003) afirma que o consumo de energia, como a renda, está desigualmente distribuído pelo mundo. Segundo ele, as nações da OECD consumiam, em 1997, cerca de seis vezes mais energia per capita do que os países em desenvolvimento. O consumo de eletricidade está ainda menos equitativamente distribuído do que a energia como um todo. O uso per capita de eletricidade, nas nações da OECD é muito maior do que na Ásia e África. Na Ásia, o uso per capita de eletricidade vem aumentando, mas não na África subsaariana.

Há que se levar em consideração o fato das variáveis climáticas e o potencial energético de uma nação influenciarem consideravelmente a sua demanda de energia elétrica. A necessidade de aquecimento dos ambientes em países de extremo frio, como a Islândia, eleva de forma significativa o consumo de eletricidade. O potencial hidrelétrico e geotérmico deste país é grandioso. Sendo que este último dá origem ao maior sistema de calefação geotérmico do mundo.

Na Austrália, um país de clima quente (variando do clima temperado ao clima desértico e semi-árido), a refrigeração de ambientes, por exemplo, é um fator que contribui para o aumento da demanda.

A tabela 2 apresenta o consumo final e o consumo per capita de alguns países industrializados, membros da OECD e países em desenvolvimento.

**Tabela 2** – Consumo final de energia elétrica e consumo de energia elétrica per capita em 2006

Grupo/Continentes	País	Consumo final de energia elétrica (TWh)	Consumo de energia elétrica por indivíduo (KWh/capita)
OECD	Islândia	9	31306
OECD	Noruega	113	24295
OECD	Finlândia	90	17178
OECD	Canadá	547	16766
OECD	Suécia	138	15230
OECD	Estados Unidos	4052	13515
OECD	Austrália	234	11309
OECD	Nova Zelândia	40	9746
OECD	Japão	1050	8220
OECD	França	479	7585
OECD	Alemanha	590	7175
OECD	Irlanda	28	6500
OECD	Espanha	273	6213
OECD	Reino Unido	375	6192
Ásia/Europa	Rússia	872	6122
OECD	Itália	339	5762
América do Sul	Chile	52	3207
América do Sul	Venezuela	85	3175
América do Sul	Argentina	102	2620
América do Sul	Brasil	390	2060
Ásia	China	2675	2040
Ásia	Índia	558	503
África	Moçambique	9	461
África	Congo	0,57	155
África	Kenya	5	145
África	Tanzânia	2	59
África	Etiópia	3	38

**FONTE: IEA (2009)**

Na América do Sul, o Brasil se destaca como o maior consumidor de eletricidade (390 TWh em 2006 e 412,1 TWh em 2007), seguido da Argentina, com um consumo aproximadamente quatro vezes menor, de 102 TWh em 2006. Quanto ao consumo per capita de energia elétrica, a população brasileira é menos consumidora que a população do Chile, Venezuela e Argentina (ANEEL, 2008, IEA, 2009). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), cerca de 95% da população brasileira tinha acesso à energia elétrica em 2008. São mais de 61,5 milhões de unidades consumidoras em 99% dos municípios brasileiros.

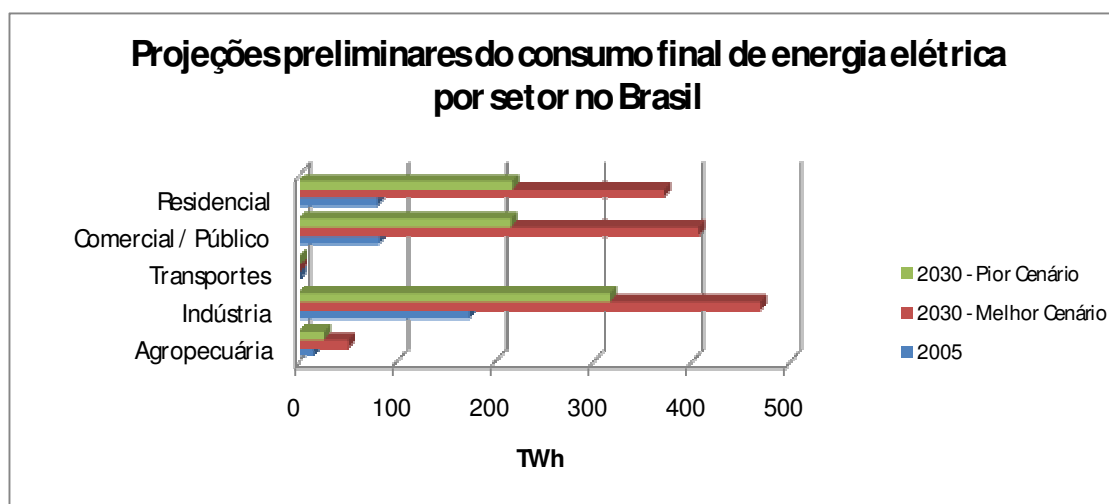
Dentre os consumidores de eletricidade no Brasil, o maior representante é o setor industrial, seguido dos setores comercial/público e residencial. A previsão para 2030 é de que a indústria continue a representar o maior consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo. Porém, este crescimento tende a ser mais lento, caindo, por exemplo, de 50% em 2005 para 41% ou 36% em 2030 (pior ou melhor cenário nacional, respectivamente) no Brasil. A demanda de energia elétrica, tanto global como nacional, crescerá mais rapidamente no setor residencial, seguido do setor comercial/público. Os dados da projeção do consumo de energia elétrica, elaborados pelo Ministério de Minas e Energia, podem ser observados na tabela 3 e no gráfico 2 (IEA, 2005; MME, 2006).

**Tabela 3** – Dados da projeção do consumo final de energia elétrica por setor no Brasil

	2005	2030 Melhor Cenário	2030 Pior Cenário
Agropecuária	14,9	49,7	25,3
Indústria	172,1	469,8	316,3
Transportes	1	2	1,4
Comercial / Público	80,2	406,9	215,5
Residencial	78,5	371,9	217,2

TWh

FONTE: MME (2006)



**Gráfico 2** – Comparação da projeção do consumo final de energia elétrica por setor em um período de 25 anos, no Brasil

FONTE: MME (2006)



### 2.1.1 Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Iluminação Artificial

Edificações residenciais, comerciais e públicas utilizam 42% da energia elétrica consumida no Brasil. No setor residencial, o consumo de eletricidade é de aproximadamente 23% do consumo total nacional. O setor comercial é responsável por 11% e o setor público por 8% do consumo de eletricidade do país (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

A iluminação artificial é responsável por 17% do consumo de energia elétrica no Brasil. Considerando o consumo total de energia elétrica em 2007, de 412,1 TWh, a parcela destinada à iluminação foi de aproximadamente 70TWh. Deste montante, o setor residencial, de acordo com Leonelli (1995), é responsável por 25%, enquanto o setor de serviços (comercial e público) consome cerca de 44% para a iluminação de seus ambientes.

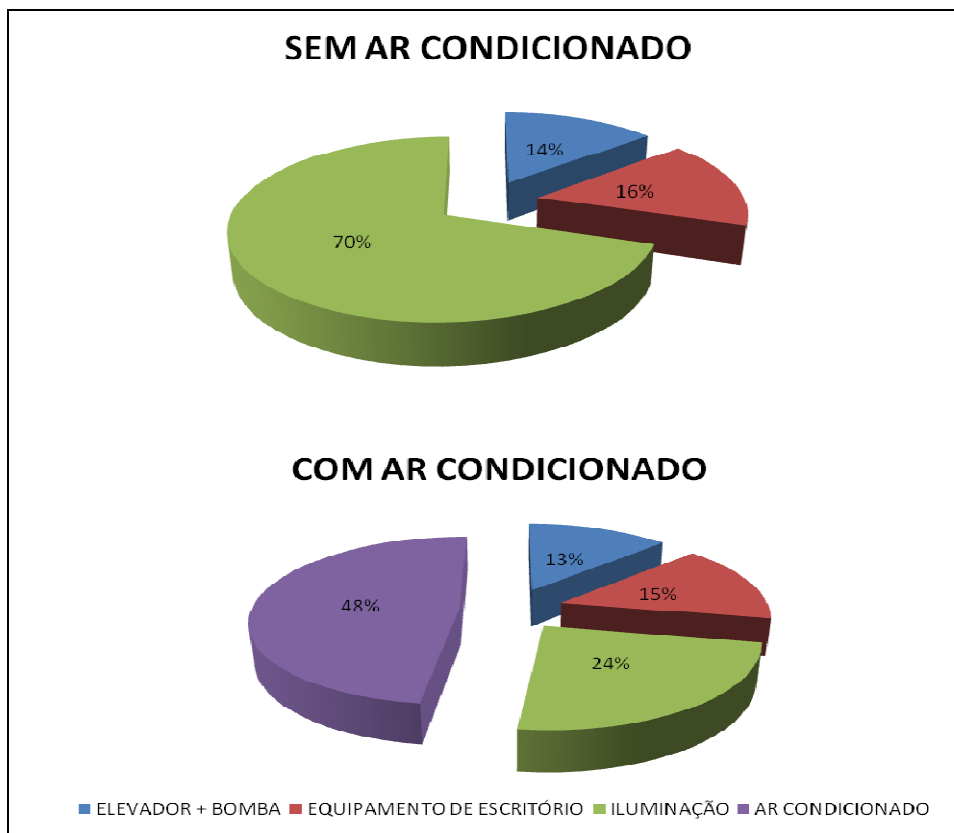
Segundo Costa (2005), o levantamento do consumo brasileiro de energia elétrica, quanto ao seu uso final, em diferentes setores é caracterizado conforme indicado na tabela 4:

**Tabela 4** - Caracterização do consumo de energia elétrica por setor, quanto ao uso final no Brasil

Uso Final	Comercial	Industrial	Residencial
Aquecimento	15%	24%	26%
Refrigeração	22%	4%	31%
Força-motriz	15%	55%	18%
Iluminação	48%	7%	25%
Outros	-	10%	-

**FONTE: COSTA (2005)**

Dados do PROCEL (1988) e Eletrobrás (2008), ilustrados no gráfico 3, indicam que o consumo de iluminação artificial nos prédios públicos gira em torno de 70% para edificações sem condicionamento de ar, e 24% para edificações com condicionamento de ar.



**Gráfico 3** – Parcela do consumo de energia elétrica destinado à iluminação em prédios públicos com ou sem condicionamento de ar  
**FONTE: PROCEL (1988); ELETROBRÁS (2008)**

A *European Commission* (1994) afirma que são raros os edifícios não-residenciais onde a luz natural substitua por completo os sistemas de iluminação artificial. Mas também são raras as tipologias de edificações nas quais a iluminação natural não possa contribuir de maneira substancial. Em hospitais, aproximadamente 20 a 30% do consumo de eletricidade são atribuídos à iluminação artificial. Em fábricas este consumo está em torno de 15%. Em escolas o consumo destinado à iluminação elétrica varia entre 10 e 15% (grande parte do consumo de energia elétrica nas cidades européias é destinado ao aquecimento ou refrigeração de ambientes).

Mills (2002) elaborou uma pesquisa sobre o uso de energia elétrica destinada à iluminação em 38 países. Concluiu que o consumo de eletricidade para iluminação em países industrializados – cujos dados foram disponibilizados - varia de 5% (Bélgica, Luxemburgo) a 15% (Dinamarca, Japão e Holanda). Enquanto que em países em desenvolvimento, como por exemplo a Tanzânia, este consumo pode assumir valores maiores que 86%.

No México, país caracterizado por um consumo de energia total e per capita de 209 TWh e 1993 kWh/capita, respectivamente em 2006, a demanda de energia destinada à iluminação é de aproximadamente 30%. No setor comercial e setor residencial, a iluminação artificial é responsável por 20% a 60% do consumo total de energia elétrica. Quando as edificações apresentam sistema de ar condicionado e refrigeração, o consumo de energia para a iluminação flutua entre 21% e 40% (BANDALA, 1995; GHISI; TINKER, 2004; IEA, 2006).

Uma das maiores economias do mundo, a China, demanda 15% de seu consumo total de energia para a iluminação artificial. São 401 TWh/ano, se considerada a demanda total de 2675 TWh em 2006 (MIN; MILLS; ZHANG, 1995; GHISI; TINKER, 2004; IEA, 2006).

A iluminação elétrica em edificações consome por volta de 20% da demanda total de energia (4052 TWh em 2006) nos Estados Unidos. Naquele ano, foram consumidos 810 TWh somente para a iluminação de edifícios residenciais, comerciais e públicos. Consumo este, equivalente a pouco mais que o dobro do consumo total de energia elétrica no Brasil em 2006 (BODRICK; PETROW; SCHOLAND, 2002; IEA, 2006).

Um dos fatores que explicam o alto consumo de iluminação artificial em muitos países, é que freqüentemente, nas novas construções, a escolha dos detalhes da iluminação (como luminárias e lâmpadas) é postergada para o final da obra. Normalmente nesta etapa, como tem ocorrido em muitas construções residenciais nos Estados Unidos, é comum que se opte pelo menor custo. E, na maioria das vezes, o menor custo significa a adoção de um sistema de iluminação ineficiente (BANWELL, 2004).

Por isso a importância de um projeto inteligente de iluminação, que pondere o investimento inicial e o custo operacional na busca por um sistema eficiente. Tal sistema pode trazer benefícios econômicos, não somente para o usuário, mas para toda a sociedade (ABILUX, 1992).

## 2.2 POLÍTICAS E BARREIRAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO MUNDO

Atualmente, a atenção em torno da eficiência energética tem sido despertada pelos debates sobre a mudança do clima no planeta e a necessidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Porém, há que se destacar que eficiência energética é sinônimo de economia, pois seus

---

usuários usufruem dos mesmos serviços (como iluminação, aquecimento, refrigeração, etc.) por menores custos e, além do mais, os usuários de um sistema eficiente de energia podem gozar de melhores serviços (BERTOLDI, 1997).

Januzzi e Swisher (1997) argumentam que das vantagens da eficiência energética, a mais convincente é que ela quase sempre é mais barata que a produção de energia. Apesar de os equipamentos e sistemas eficientes serem normalmente mais caros que as tecnologias que eles substituem, o custo de conservar 1kWh é geralmente mais barato que a sua produção.

Como já foi dito anteriormente (item 2.1), o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida de uma sociedade estão relacionados com a expansão do consumo de energia. Contudo, de acordo com a ANEEL (2008), esta associação também tem aspectos negativos, como o esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia, o impacto ao meio ambiente produzido por essa atividade e finalmente, os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes de energia e construção de novas usinas. Por tudo isso, uma das maneiras mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo sem comprometer qualidade de vida e desenvolvimento econômico tem sido o estímulo ao uso eficiente de energia.

O *European Council for an Energy Efficient Economy* – eceee (2007) relata que, desde os anos 70, melhorias em eficiência energética têm contribuído para a prosperidade da economia europeia mais do que qualquer outra fonte de energia. Além do mais, os benefícios da eficiência energética vão além das reduções de CO<sub>2</sub>. A redução da demanda de energia ajuda a diminuir outros problemas de ordem ambiental, como a má qualidade do ar nos grandes centros urbanos, a chuva ácida e eutrofização (proliferação excessiva de algas nos mares e lagos).

Apesar da eficiência energética ser uma poderosa “fonte de energia”, a política energética nunca a priorizou por mais tempo que os períodos de crise. Possivelmente isto ocorre porque a eficiência energética, ao contrário das usinas, é invisível. Outro motivo é o fato de serem necessárias inúmeras decisões para a implementação em grande escala de sistemas eficientes de energia (ECEEE, 2007).

Bertoldi (1997) afirma que a falta de informação, de conhecimento sobre o assunto, a falta de incentivos e a falta de capital para investimentos em eficiência energética são barreiras que impedem a sociedade de abandonar o costume do desperdício.

A falta de informação afeta os projetos de eficiência energética de várias maneiras. Primeiro, conduz a uma falta de conhecimento dos clientes sobre os benefícios, tanto financeiros, como ambientais da eficiência energética. Conseqüentemente, estes clientes

---

ficam vulneráveis ao oportunismo daqueles que detêm esta informação, porém a tornam cara e, muitas vezes, inacessível (T'SERCLAES, 2007).

Mas, em contrapartida, algumas organizações, com ou sem fins lucrativos, governamentais ou não, têm concentrado esforços para quebrar as barreiras da falta de conhecimento sobre o assunto e têm difundido de maneira eficaz a importância do uso eficiente de energia sob forma de programas.

Existem diversos tipos de programas: programas com o objetivo de disseminar informações sobre tecnologias eficientes, programas para incentivo de uso da energia solar, programas para a substituição de lâmpadas e outros equipamentos, programas para estabelecer padrões de desempenho energético para equipamentos, etc. (Januzzi; Swisher, 1997).

Em 1991, a *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) lançou o Programa *Green Lights*. As companhias participantes deste programa voluntário concordavam em investir em sistemas de iluminação eficiente enquanto a rentabilidade devida à modernização destes sistemas não prejudicasse a qualidade da iluminação. A EPA providenciava assistência técnica e reconhecimento público aos seus milhares de participantes. Até dezembro de 1994 o *Green Lights* já havia conquistado economias em torno de 1 bilhão kWh (EPA, 2009).

O Programa *Green Lights* foi o precursor de outro programa de caráter voluntário, o *Energy Star Buildings*, parte de um programa maior: o *Energy Star*. Este programa de etiquetagem voluntária foi introduzido pela EPA em 1992 e se destinava a identificar e promover produtos energeticamente eficientes com o intuito de reduzir as emissões gasosas do efeito estufa. Os primeiros produtos etiquetados foram computadores e monitores, posteriormente, equipamentos de escritório, e sistemas de aquecimento e refrigeração residenciais. Em 1996, EPA e DOE firmaram uma parceria para categoria de produtos particulares como iluminação, aparelhos elétricos, equipamentos eletrônicos e outros. O programa de etiquetagem voluntária foi então estendido a novas residências e edificações comerciais e industriais. Após uma década de existência do programa, mais de 40% da população americana já reconhecia o selo *Energy Star*. Hoje, o programa busca a meta de 60% de reconhecimento (ENERGY STAR, 2008; EPA, 2009).

Em 2000, a *European Commission* lançou o Programa Europeu *GreenLight*. É um programa de caráter voluntário, direcionado a empresas privadas e públicas, para a redução do uso de energia elétrica em iluminação. Ao se tornarem parceiras do programa, as empresas se comprometem a adotar soluções para a eficiência energética em iluminação (THE EUROPEAN GREENLIGHT PROGRAMME, 2007).

---

O programa acredita que um *retrofit* no sistema de iluminação artificial destas empresas seja capaz de alcançar economias de energia entre 30% e 50%. Acredita-se também que os investimentos em eficiência energética para a iluminação não sejam apenas lucrativos, mas que mantenham ou até mesmo melhorem a qualidade da iluminação. Para tanto, as empresas devem seguir as seguintes condições (THE EUROPEAN GREENLIGHT PROGRAMME, 2007):

- em espaços já existentes: reabilitar pelo menos 50% dos espaços cujo retrofit do sistema de iluminação seja rentável. Ou, como alternativa, reduzir o consumo total de electricidade para iluminação em pelo menos 30%;
- em espaços novos: escolher as novas instalações de modo a não existirem instalações alternativas que: mantenham ou melhorem a qualidade de iluminação fornecida pela instalação escolhida; tenham um consumo inferior de electricidade e; representem um investimento suplementar que seja rentável (neste caso, evita-se que seja apresentado um sistema quando da adesão e no dia-a-dia seja utilizado um sistema ineficiente);
- realizar as reabilitações nos primeiros cinco anos de adesão ao Programa, enviar anualmente um relatório de progresso e, indicar um responsável da empresa para assegurar a execução do Programa.

Embora a *European Commission* não forneça apoio financeiro aos seus parceiros para melhorias nos sistemas de iluminação, disponibiliza recursos informativos - para a adoção das soluções mais adequadas ao *retrofit* - e reconhecimento público - como placas nos edifícios, campanhas publicitárias, utilização exclusiva do logotipo, prêmios, etc. (THE EUROPEAN GREENLIGHT PROGRAMME, 2007).

A Companhia Johnson & Johnson foi a primeira organização a participar do Programa Europeu *GreenLight*. Desde o ano 2000, reformaram ou construíram novas fábricas com sistemas de iluminação eficientes. A Johnson & Johnson afirma que o *payback* dos investimentos variou de 1,5 a 6 anos dependendo do projeto. Outros parceiros do programa - organizações públicas ou privadas - declararam ter obtido um *payback* que variou de 2,5 a 3,5 anos (THE EUROPEAN GREENLIGHT PROGRAMME, 2007).

Além do Programa *GreenLight*, em 2004, a *European Commission* deu início ao Programa *GreenBuilding*. Este programa visa melhorar a eficiência energética e ampliar a integração das energias renováveis em edifícios não residenciais na Europa, numa base voluntária. Para se filiarem ao programa, as empresas devem apresentar uma redução de

---

consumo da energia primária em suas edificações de pelo menos 25% (GREENBUILDING, 2007).

Atualmente, a lista de parceiros (ou filiados) do Programa *GreenBuilding* vem crescendo. Empresas ou organizações européias dos mais diversos campos de atuação estão concentrando esforços em prol do uso eficiente de energia. São elas: companhias aéreas, aeroportos, prefeituras, bancos, hotéis, hospitais, armazéns, penitenciárias, escritórios, escolas, centros de recreação, igrejas, etc. (GREENBUILDING, 2009).

O LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um dos programas desenvolvidos pelo U. S. Green Building Council (USGBC) - organização sem fins lucrativos empenhada em expandir práticas de construções sustentáveis. LEED é um sistema de classificação voluntária para o desenvolvimento de edificações sustentáveis de alta performance que utiliza ferramentas práticas, de fácil compreensão e uso, e que fornece resultados imediatos e mensuráveis sobre o potencial de sustentabilidade. Aborda todos os tipos de construção e enfatiza estratégias para a economia de água, eficiência energética, seleção de materiais e recursos e para qualidade do ambiente construído.

### 2.3 EFICIÊNCIA NO USO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O governo federal brasileiro criou em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que “promove a racionalização do consumo de energia elétrica, para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética” (ELETROBRÁS, 2008).

Em seus 20 anos de existência, o PROCEL já economizou 22 bilhões de quilowatt-hora, o que corresponde ao consumo aproximado de 13 milhões de residências durante o período de um ano. Nestas duas décadas foram investidos por volta de R\$ 855 milhões, que proporcionaram uma postergação de novos investimentos no sistema elétrico brasileiro da ordem de R\$ 15 bilhões (ELETROBRÁS, 2008).

Segundo a Eletrobrás (2005), conservar energia é racionalizar, e não, racionar. É eliminar desperdícios sem perder a qualidade de vida, o conforto e a segurança. É produzir o máximo de desempenho (como por exemplo, ambientes bem iluminados, refrigerados ou aquecidos) com o mínimo de consumo de energia. E principalmente, não é avareza, mas sim, uma atitude moderna, lógica e consciente.

### 2.3.1 Etiquetação Voluntária de Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

A Regulamentação para Etiquetação Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos representa uma das ações da Eletrobrás através do programa PROCEL Edifica visando à redução do consumo de energia elétrica. Sua proposta é especificar os requisitos técnicos e os métodos para a classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. Como já foi comentado na introdução deste trabalho, a Regulamentação para Eficiência Energética - quando oficialmente publicada - será aplicada em caráter voluntário para as edificações existentes. Para as novas edificações terá caráter voluntário por cinco anos, passando posteriormente a ser obrigatória.

A concessão da etiqueta será realizada na fase de projeto, para as novas edificações; após o Habite-se, para as edificações concluídas e após o *retrofit*<sup>4</sup> com vistas à melhoria da eficiência energética, para as edificações já existentes. A Regulamentação para Eficiência Energética exige que os edifícios atendam aos requisitos relativos à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, à eficiência do sistema de condicionamento do ar e ao desempenho da envoltória. A envoltória é o conjunto dos planos externos da edificação, compostos por fachadas, empenas, cobertura, brises, marquises, aberturas, bem como quaisquer elementos que o compõe (MME, 2008a).

Para a obtenção da classificação do edifício como um todo (figura 3), as classificações por requisitos devem ser avaliadas, resultando numa classificação final. São atribuídos pesos para cada requisito, e de acordo com a pontuação final, variando de 5 a 1, é obtida uma classificação que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

O sistema de iluminação tem um peso de 30% na avaliação da edificação. O restante fica dividido entre sistema de condicionamento de ar (40%) e envoltória (30%).

---

<sup>4</sup> Segundo Ghisi (1997), *retrofit* é o termo utilizado para definir qualquer tipo de reforma. Entre os profissionais e pesquisadores envolvidos com eficiência energética em edificações, o termo é utilizado para definir alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica visando a sua conservação.



<b>Energia</b> (Elétrica)	
Nome	XXXXXXX
Endereço	YYYYYYY
Cidade/UF	ZZZZZ/ZZ
Validade	20/07/2012
Grupo Tarifário	A4
<b>Mais eficiente</b>  <b>Menos eficiente</b>	<b>A</b>
<b>PONTUAÇÃO ALCANÇADA</b> Eficiência Iluminação Eficiência Condicionamento de ar Eficiência Envolória Incentivos	<b>XYZ</b> B A A 0
  <p>PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</p> <p>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</p>	

**Figura 3** – Modelo de etiqueta para a classificação geral do edifício.  
**FONTE:** MME (2007a)

### 3 Metodologia e Procedimento

Este trabalho compreendeu pesquisa de campo com medições *in loco* e posterior simulação dos ambientes (salas de aula) da UTFPR. O objetivo foi apresentar uma metodologia desenvolvida com base em um estudo de caso.

A pesquisa de campo foi realizada no bloco E, também conhecido por bloco da engenharia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Campus Curitiba. O prédio da Universidade, localizado na Avenida Sete de Setembro nº. 3165 do bairro Rebouças, ocupa uma área total de 48.392 m<sup>2</sup>, enquanto a área do bloco E - segundo maior em área útil e terceiro maior em ambientes de ensino - é de 3.386 m<sup>2</sup> (COSTA, 2007). O mapa de localização e setores da UTFPR do Campus Curitiba (figura 4) permite visualizar a situação do bloco E (em destaque) na planta da Universidade.



**Figura 4** – Mapa de localização e setores (UTFPR-Ctba), cujas entradas principais e secundárias estão indicadas pelas setas vermelhas e azuis.

**FONTE:** UTFPR (2007)

---

Pretendeu-se com este estudo levantar ações importantes para a avaliação, classificação e adequação de uma edificação já existente segundo os critérios da Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Para tanto, as seguintes etapas foram abordadas:

- seleção das salas de aula para avaliação;
- caracterização dos ambientes;
- procedimento para avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural das salas de aula;
- procedimento para avaliação do sistema de iluminação artificial das salas de aula;
- estimativa de consumo de energia a partir do uso conjugado de luz natural e iluminação artificial;
- classificação das salas de aula segundo critérios da Regulamentação para Eficiência Energética;
- sugestões para um projeto luminotécnico com base na Regulamentação para Eficiência Energética;
- viabilidade econômica pelo método *payback*.

### 3.1 SELEÇÃO DAS SALAS DE AULA PARA AVALIAÇÃO

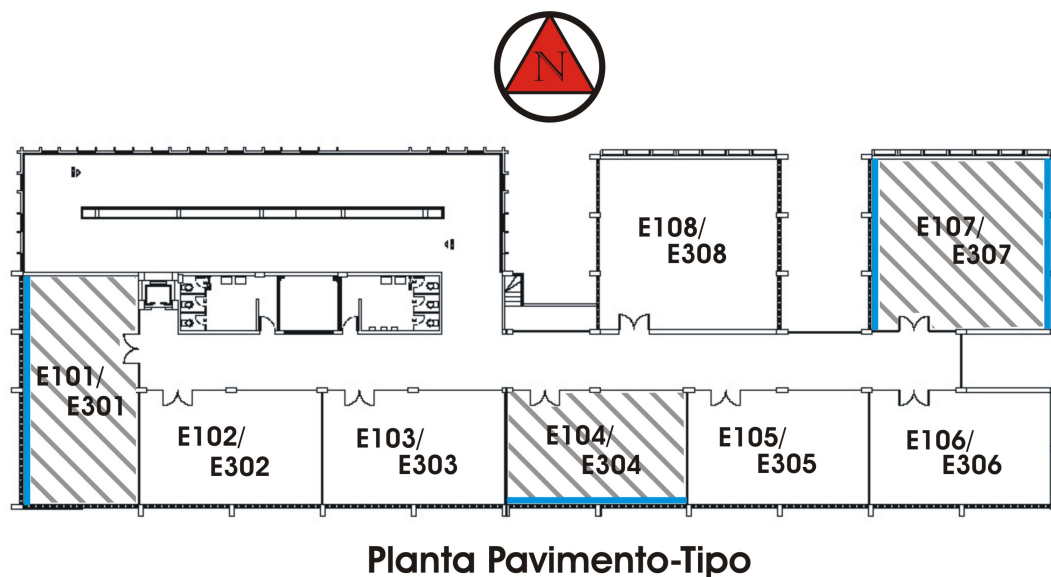
A coleta de dados teve início com a escolha das salas de aula destinadas à avaliação. O bloco E apresenta um subsolo, um hall térreo e dois mezaninos destinados a atividades administrativas. As atividades acadêmicas se concentram em três andares, os quais apresentam a mesma planta arquitetônica. Costa (2007) fez um levantamento das instalações, das condições de uso e dos sistemas de iluminação artificial em todo o campus da UTFPR. Constatou que o sistema de iluminação do bloco E é antigo e que este bloco é o que concentra o maior número de ambientes de ensino utilizados no período noturno. Cada pavimento do bloco contém oito salas de aula que se dividem em três modelos com orientações cardeais distintas (tabela 5).

**Tabela 5 – Orientação cardinal das salas de aula do bloco E**

E101	E301	E104	E304	E107	E307
Oeste	Oeste	Sul	Sul	Leste/Oeste	Leste/Oeste

Foi selecionado um ambiente de cada modelo no pavimento-tipo mais baixo (primeiro andar) e no pavimento-tipo mais alto (terceiro andar), totalizando seis amostras de salas de aula: E101, E104, E107, E301, E304 e E307. A disposição destes ambientes (em hachura), bem como a orientação de suas janelas (em azul), podem ser observadas na planta do pavimento-tipo do 1º e 3º andares do bloco E representada pela figura 5.

As medições nas salas de aula com as mesmas características arquitetônicas e mesma orientação solar, deveriam ocorrer no mesmo instante, ou o mais próximo disto, conforme horários pré-definidos entre os pesquisadores. Optou-se, portanto, por não efetuar as medições nas salas de aula do segundo andar devido à indisponibilidade de equipamentos para o levantamento das iluminâncias.



**Figura 5** – Planta-Tipo do 1º e 3º pavimentos do Bloco E com a indicação das salas de aula (em hachura), da orientação em relação ao norte e posicionamento das janelas (em azul).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES

Com base nas dimensões dos ambientes, na contribuição de iluminação natural, nas condições dos circuitos e potência instalada destinados à iluminação artificial, bem como nas características da iluminância recomendada pela norma NBR 5413, é possível classificar as salas de aula de acordo com os critérios de eficiência energética recomendados pela Regulamentação para Eficiência Energética, citada no capítulo 2.

Através de um levantamento por inspeção, fez-se uma avaliação dos ambientes sobre suas características dimensionais e físicas. Desta maneira, foi possível encontrar, entre outros fatores, a potência instalada em iluminação para cada sala de aula.

Na tabela 6 são apresentadas as características dimensionais das salas de aula e uma das características físicas destes ambientes (obstrução do entorno).

**Tabela 6** – Características das salas de aula do bloco E

SALAS	E101	E301	E104	E304	E107	E307
L - largura do ambiente (m)	6,25	6,25	6,25	6,25	9,60	9,60
C - comprimento do ambiente (m)	12,35	12,35	9,75	9,75	9,20	9,20
Pé-direito (m)	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
Área do vão da janela (m <sup>2</sup> )	16	16	12,42	12,42	7,4	7,4
Área de caixilhos (m <sup>2</sup> )	2,93	2,93	2,38	2,38	1,55	1,55
Fator caixilho (K <sub>c</sub> )	0,82	0,82	0,81	0,81	0,79	0,79
Área da parede da fachada (m <sup>2</sup> )	36,43	36,43	28,76	28,76	27,14	27,14
Fator WWR	0,36	0,36	0,35	0,35	0,22	0,22
Obstrução do entorno <sup>5</sup>	Não	Não	Não	Não	Sim	Amena

Nesta etapa do estudo, avaliou-se a relação da área envidraçada das janelas pela área da parede que as contém.

A Razão Janela-Parede (RJP), mais conhecida por fator WWR (*Window to Wall Ratio*) é uma variável importante na avaliação do entorno da edificação, segundo Carlo e Lamberts (2008). Algumas pesquisas (TOLEDO; LAMBERTS; PIETROBON, 1995; CHEN; SHAO; CHAN, 2007) mostram a sua influência direta no consumo e na economia de energia

<sup>5</sup> Os blocos G, F e T não obstruem as janelas das salas E101, E301, E104 e E304, por serem todos mais baixos.

elétrica relacionados à iluminação artificial e, por este motivo o WWR foi avaliado neste estudo. O fator WWR é a razão da área útil da janela pela área total da parede da fachada em que se encontra esta janela. A área útil da janela é dada pela área do vão da janela subtraída da área de caixilhos.

$$WWR = \frac{A_{jan} - A_{caixilho}}{A_{parede}} \quad (\text{eq.1})$$

Onde:

$A_{jan}$  é a área da abertura (vão) da janela, em  $m^2$ ;

$A_{caixilho}$  é a área da esquadria e de todos aqueles elementos que reduzem a área efetiva da abertura, em  $m^2$ ;

$A_{parede}$  é a área total da parede da fachada que contém a abertura da janela, em  $m^2$ .

Segundo Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975), o desconto correspondente aos caixilhos ou molduras das janelas, nos cálculos de iluminação natural, se apresenta na forma de uma constante de obstrução. Esta constante ou fator de obstrução se dá pela razão da área efetivamente envidraçada e a área total do vão da janela.

A norma NBR 15215-3 – Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos, recomenda calcular o fator de caixilho ( $K_c$ ) pela expressão indicada a seguir, e cujos fatores são os mesmos descritos acima:

$$K_c = \frac{A_{jan} - A_{caixilho}}{A_{jan}} \quad (\text{eq.2})$$

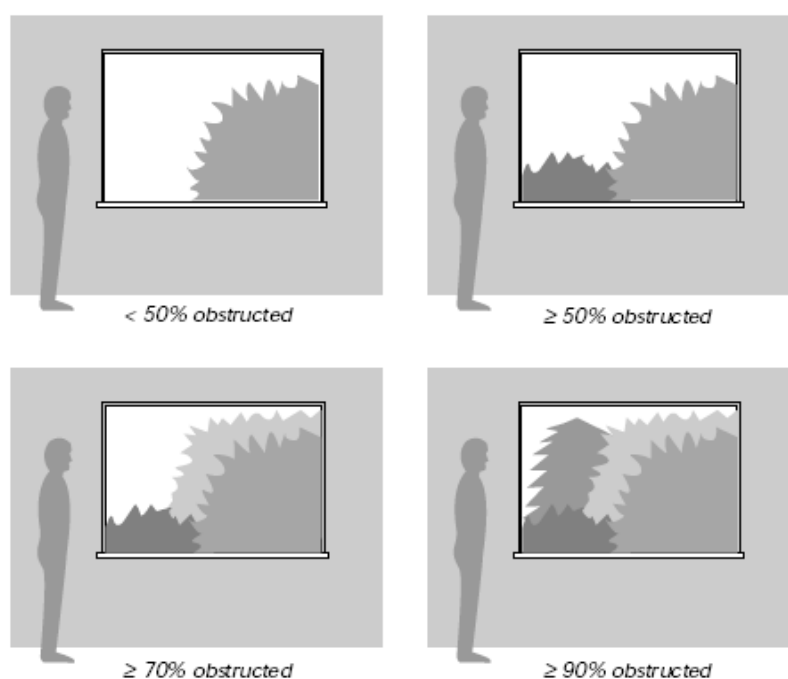
Verifica-se na tabela 6, que para todas as salas de aula foram efetuados os cálculos acima descritos. Nas salas E107 e E307, as duas paredes laterais são idênticas, tanto no que diz respeito às dimensões, como às janelas e aos caixilhos. Portanto, considerou-se apenas uma das paredes para o desenvolvimento dos cálculos.

Normalmente, em localidades com diversas construções, o céu – observado da janela de um ambiente - é obstruído por edificações e vegetação (LBNL, 2007).

A obstrução do entorno, uma das características físicas dos ambientes, foi avaliada de forma qualitativa, com base na proporção de obstrução sugerida pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* – LBNL (2007) indicada na figura 6. Com o intuito de avaliar

visualmente esta proporção, o LBNL recomenda que se posicione no centro da janela a uma distância de 3,3 metros da mesma.

Para uma proporção de obstrução inferior a 50% considerou-se negativa a obstrução do entorno; para a variação de proporção de obstrução entre 50% e 70% considerou-se uma obstrução amena e finalmente, para uma proporção de obstrução igual ou superior a 90% considerou-se positiva a obstrução do entorno. As avaliações qualitativas foram indicadas na tabela 6.



**Figura 6** – Proporção de obstrução do entorno sugerida pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory*.

**FONTE: LBNL (2007)**

Quanto às demais características físicas dos ambientes, foram levantados os dados relacionados ao número de interruptores, divisão de circuitos, aos tipos de luminárias e lâmpadas, bem como suas quantidades e as refletâncias das superfícies de cada sala de aula.

Em todos os ambientes tomados como amostra, o acionamento dos circuitos de iluminação artificial ocorre de maneira transversal às janelas. Para cada circuito existe um interruptor, totalizando:

- quatro interruptores para as salas E101 e E301;
- dois interruptores para as salas E104 e E304;

- três interruptores para as salas E107 e E307.

Nestas salas de aula, são utilizadas luminárias comerciais Plafonier tipo BB<sup>6</sup> para quatro lâmpadas fluorescentes de 40W (figura 7). Os reatores utilizados por estas luminárias são eletromagnéticos, do tipo duplo, ou seja, um para cada duas lâmpadas e consomem, em média, 94W (2 lâmpadas de 40W + 14W equivalentes às perdas do reator) (SPOT, 2008). Tanto as luminárias quanto os reatores são sistemas antigos, não mais fabricados. As quantidades de luminárias e lâmpadas e a potência instalada para a iluminação artificial das salas de aula - considerando o consumo dos reatores - estão indicadas na tabela 7. Note-se que a potência instalada de cada ambiente é dada pelo produto da quantidade de reatores por seu consumo.



**Figura 7** – Luminária Plafonier tipo BB com quatro lâmpadas fluorescentes de 40W.

**Tabela 7** – Quantidade de luminárias, lâmpadas e potência instalada em iluminação artificial das salas de aula.

SALAS	E101	E301	E104	E304	E107	E307
Luminárias (unidade)	8	8	4	4	6	6
Lâmpadas (unidade)	32	32	16	16	24	24
Reatores (unidade)	16	16	8	8	12	12
Potência instalada em iluminação (W)	1504	1504	752	752	1128	1128

As refletâncias de mobiliário e acabamentos também foram observadas nesta etapa do estudo com base em Costa (2005) e Osram (2007). Segundo a Eletrobrás (2005), refletância é a relação entre o fluxo luminoso refletivo e o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície e geralmente é dada em porcentagem.

<sup>6</sup> A equipe de manutenção elétrica da UTFPR não tem os dados sobre o fabricante destas luminárias, visto que são muito antigas.



Foram levantadas as cores e materiais empregados nos ambientes e buscou-se na literatura – Costa (2005) e Osram (2007) - valores médios destes índices. Na tabela 8, estão destacados os valores médios de refletâncias relativos às superfícies relevantes das salas de aula. Costa (2005) alerta que quando cores e materiais envelhecem com a ação do tempo, as refletâncias tendem a reduzir em torno de 20%.

**Tabela 8** – Refletâncias das superfícies dos ambientes.

SALAS	E101	E301	E104	E304	E107	E307
Cor das Paredes	Creme claro	Creme claro	Creme claro	Creme claro	Creme claro	Creme claro
Refletância das Paredes	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Cor do Teto	Branco marfim	Branco marfim	Branco marfim	Branco marfim	Branco marfim	Branco marfim
Refletância do Teto	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Tipo do Piso	Parquet carvalho escuro	Parquet carvalho escuro	Parquet carvalho escuro	Parquet carvalho escuro	Granilha	Parquet carvalho escuro
Refletância do Piso	30%	30%	30%	30%	55%	30%
Cor das Mesas	Branco	Marrom claro	Branco	Marrom /Verde claros*	Branco	Marrom claro
Refletância das Mesas	80%	25%	80%	25% / 45%	80%	25%
Cor das Cadeiras	Marrom claro	Preto	Azul turquesa	Marrom /Verde claros*	Azul turquesa	Marrom claro
Refletância das Cadeiras	25%	5%	25%	25% / 45%	25%	25%
Refletância média do mobiliário	52,5%	15%	52,5%	35%	52,5%	25%
Cor das Cortinas	Azul-escuro	Azul-escuro	Azul-escuro	Azul-escuro	Azul-escuro	Azul-escuro
Refletância das Cortinas	10%	10%	10%	10%	10%	10%

\*Mesas e cadeiras em duas cores, na proporção de 50% cada.

**FONTE: COSTA (2005); OSRAM (2007)**

### 3.3 PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE LUZ NATURAL DAS SALAS DE AULA

Esta etapa do estudo consiste em dois objetivos principais:

- levantar as condições de iluminação natural nos ambientes em dois períodos extremos do ano, os solstícios de verão e inverno, por meio de medições com equipamentos apropriados;
- estimar a partir de procedimento com software específico, o Fator de Luz Natural (FLN), para cada ponto medido, obtendo-se um FLN médio por ambiente. Com este valor, pode-se obter o potencial de aproveitamento de luz natural das salas de aula para outras épocas do ano e sob diferentes condições do céu.

O FLN (Fator de Luz Natural) é a razão entre a iluminância interior num dado ponto de um ambiente e a quantidade de iluminação natural disponível no exterior desobstruído da edificação. Este é um fator fixo, expresso em valores percentuais, que demonstra a variabilidade da quantidade de luz natural interior de acordo com as alterações da luminosidade do céu (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975; VIANNA; GONÇALVES, 2007). Phillips (2004) atenta para o fato de que o fator de luz diurna não é uma figura final, mas dá uma boa indicação do nível de iluminação natural disponível. Pode ser chamado também de Fator de Luz Diurna (FLD) ou Coeficiente de Luz Diurna (CLD).

Para os cálculos do FLN, adotam-se os tipos de céu padronizados pela CIE (*Commission Internationale de L'Éclairage*), que podem ser claro ou encoberto e são encontrados na norma ISO 15469:2004 (ISO,2004). A CIE também adota o modelo de céu intermediário, porém, segundo Vianna e Gonçalves (2007), este modelo ainda não está padronizado. Isto se dá pelo fato do céu parcialmente encoberto apresentar grande variabilidade na distribuição das luminâncias (IESNA, 2000).

O céu intermediário ou parcialmente encoberto é um céu com presença de nuvens que não cobrem totalmente a abóbada celeste. Para este tipo de céu possui-se ainda um conhecimento limitado, especialmente com relação ao seu formato, grau de cobertura e tipo mais freqüente de nuvens. É, no entanto, um tipo de céu dos mais freqüentes em território brasileiro e deve ser considerado em estudos de iluminação natural. (SOUZA; PEREIRA, 2004).

### 3.3.1 Medições da Iluminação Natural

De posse de todas as características dimensionais dos ambientes amostrais – indicadas na seção anterior, partiu-se para o início do terceiro procedimento tratado na pesquisa: a medição dos níveis de iluminação natural disponível nas salas de aula.

Segundo a norma NBR 15215-4 – Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição, a avaliação da iluminância de um ambiente deve ser realizada em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro) e em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho). Os dados devem ser coletados a partir do início do expediente, em intervalos de 2 em 2 horas e levando-se em consideração o horário legal.

Devido à variação da quantidade de nuvens no céu durante o dia, que dá origem aos três tipos de céu conhecidos: céu claro, parcialmente encoberto e encoberto, tem-se como consequência a variação da luz natural incidente no plano de trabalho. Com o intuito de obter uma média característica da disponibilidade de luz natural – por intermédio do FLN - para cada sala de aula, realizaram-se medições em três dias distintos (dois dias a mais que a recomendação da norma) e próximos ao início de cada um dos solstícios (verão e inverno).

Levou-se em consideração nesta etapa o estudo de Ghisi (1997), no qual admitiu que três dias de medições em cada uma das estações de solstício aumentarim as chances de alcançar uma média representativa para o FLN, que poderia ser utilizada em cálculos para todas as estações do ano, incluindo os equinócios de primavera e outono.

Outro aspecto relevante é que o planejamento de três dias de medições garante que, na ocorrência de algum imprevisto durante um ou dois dias, os dados de uma medição (ao menos) serão coletados.

Definidos os dias e horários, antes do início das medições propriamente ditas, foi determinada a quantidade de pontos em cada ambiente tomado como amostra, conforme designado pela NBR 15215-4. A partir das dimensões físicas das salas de aula encontrou-se, para cada qual, o índice do local ( $k$ ) através da equação 3.

$$k = \frac{C \cdot L}{H_m \cdot (C + L)} \quad (\text{eq.3})$$

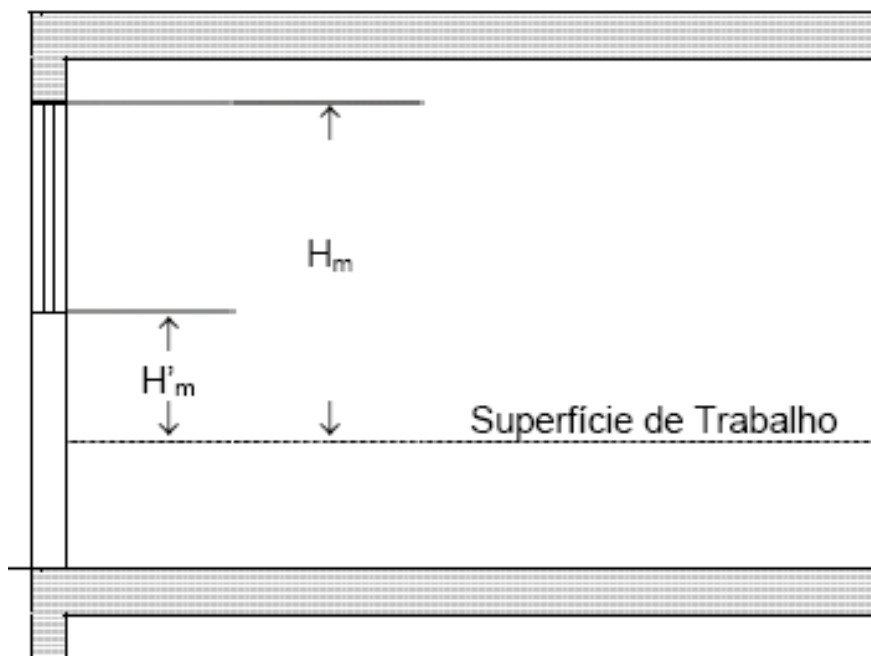
Onde:

$L$  é a largura do ambiente, em metros;

$C$  é o comprimento do ambiente, em metros;

$H_m$  é a distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho e o topo da janela, conforme indicado na figura 8.

De acordo com a norma, quando o peitoril da janela estiver a mais de 1 m acima do plano de trabalho, deve-se tomar  $H_m$  como a distância vertical entre a superfície de trabalho e o peitoril da janela, ou seja, utiliza-se  $H'_m$ , também indicado na figura 8.



**Figura 8** – Determinação de  $H_m$  ou  $H'_m$   
**FONTE: ABNT (2004b)**

O índice  $k$  caracteriza um número mínimo de pontos a serem medidos. Estes pontos podem ser aumentados sempre que se desejar melhor caracterização ou precisão da iluminância do ambiente, conforme Boer e Fischer (1978) apud Costa (2005).

**Tabela 9** - Quantidade mínima de pontos a serem medidos

<b>k</b>	<b>Nº de Pontos</b>
$k < 1$	9
$1 \leq k < 2$	16
$2 \leq k < 3$	25
$k \geq 3$	36

**FONTE: ABNT (2004b)****Tabela 10** – Dados para a preparação da medição da iluminação natural

	<b>SALAS</b>	<b>E101</b>	<b>E301</b>	<b>E104</b>	<b>E304</b>	<b>E107</b>	<b>E307</b>
Altura do plano de trabalho (m)		0,95	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
$H_m$ - distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela (m)		1,95	2,15	2,15	2,15	-	-
$H'_m$ - distância vertical entre a superfície de trabalho e o peitoril (m)		-	-	-	-	1,35	1,35
Índice k		2,13	1,93	1,77	1,77	3,47	3,47
Número mínimo de pontos a serem medidos		25	16	16	16	36	36
Quantidade de pontos medidos		28	28	20	20	36	36

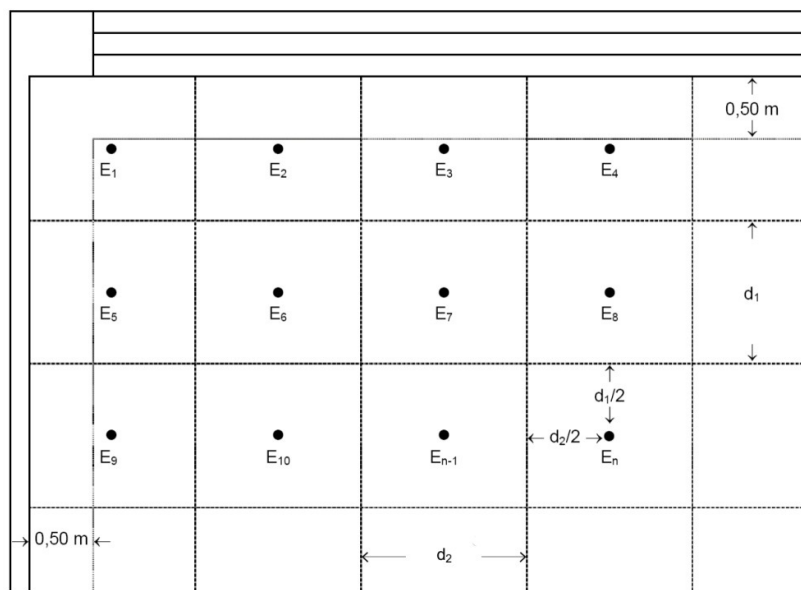
Encontrou-se o índice k dos ambientes amostrais partindo-se das dimensões de comprimento e largura das salas de aula (tabela 6) e altura da superfície de trabalho até o peitoril da janela ou o topo da janela. Através deste índice foi obtido o número mínimo de pontos a serem medidos em cada sala (tabela 9).

Em algumas das salas de aula tomou-se o cuidado de aumentar a quantidade destes pontos a fim de garantir uma simetria nas medições. A altura do plano de trabalho é uma das variáveis que interfere na distribuição da malha de pontos para medição da iluminância proveniente da luz natural.

Na sala E301, por exemplo, cujo plano de trabalho está a 0,75m do piso, o número de pontos recomendado pela norma devido ao índice k foi 16. Esta quantidade foi aumentada para que fosse possível a comparação dos níveis de iluminância com a sala E101, cujo plano de trabalho está a 0,95m do piso, resultando em uma malha de 25 pontos.

O ambiente interno de cada sala de aula foi dividido em áreas iguais, com formato o mais próximo possível de um quadrado. Para tanto, a NBR 15215-4 sugere que  $d_1$  e  $d_2$  (figura 9) tenham valores similares. Tal requisito levou a um novo ajuste no número de pontos centrais das áreas a serem avaliadas: nas salas E101 e E301 o número de pontos para medição aumentou de 25 para 28 e, nas salas E104 e E304 este número passou de 16 para 20 pontos (tabela 10).

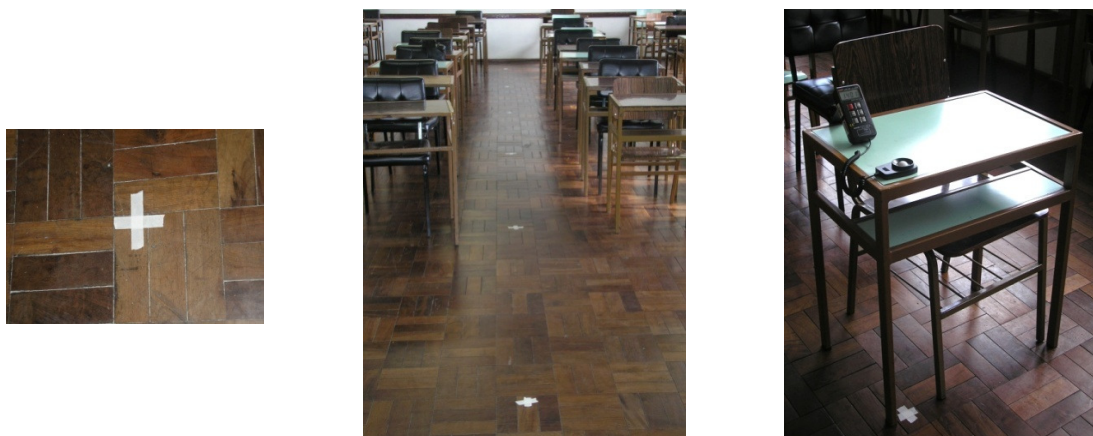
A iluminância foi medida no centro de cada área, respeitando-se um afastamento mínimo de 0,50 m das paredes (figura 9).



**Figura 9** – Malha de pontos para medições  
**FONTE: ABNT (2004b)**

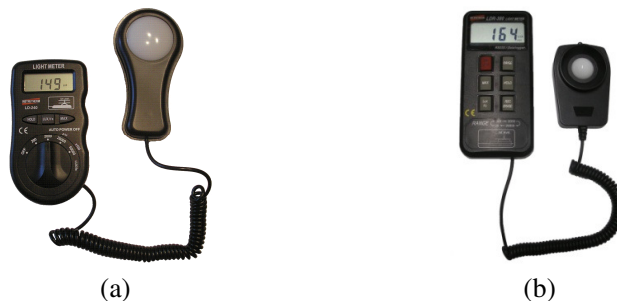
A distribuição da malha de pontos resultante para a medição da iluminação natural em cada sala de aula pode ser observada nas figuras a, b e c do apêndice 1.

Para facilitar a agilidade dos pesquisadores no momento da coleta de dados, demarcaram-se os pontos centrais das áreas de medição diretamente no piso das salas, com fita adesiva colorida, um dia antes do início das medições. As marcas foram retiradas apenas depois de decorridos os três dias de pesquisa (figura 10).



**Figura 10** – Demarcação dos pontos centrais das áreas de medição diretamente no piso das salas de aula para facilitar as medições da iluminação natural

O levantamento da iluminância das salas de aula foi realizado com o auxílio de dois fotômetros, devidamente calibrados, denominados luxímetros digitais: LD-240 e LDR-380 (RS232/Datalogger), ambos do fabricante Instrutherm (figura 11).



**Figura 11** – Luxímetros LD-240 (a) e LDR-380 (RS232/Datalogger) (b)

No período do verão, que correspondeu ao período de férias da instituição, tomaram-se as medidas manualmente, de 2 em 2 horas, durante o expediente normal, em cinco diferentes horários: 9, 11, 13, 15 e 17 horas do horário de verão e em três dias próximos: 18, 20 e 21 de dezembro de 2007. Toda a iluminação artificial foi desligada e as cortinas dos ambientes foram totalmente abertas. Seguindo a norma, as fotocélulas dos equipamentos de medição foram expostas à luz aproximadamente 5 minutos antes da primeira leitura. Em cada medição foi considerada a quantidade de luz no ponto e no plano onde a tarefa é usualmente executada, seja horizontal, vertical ou em qualquer outro ângulo. Além disto, evitou-se a exposição direta da fotocélula aos raios solares que invadem os ambientes.

Outra recomendação da norma é que as medições sejam realizadas num plano horizontal a 75 cm do piso quando a altura da superfície de trabalho não for especificada ou conhecida.

Durante a coleta de dados no verão, percebeu-se a oscilação das medidas indicadas pelos luxímetros devido à variabilidade da iluminação natural. Em cada ponto da medição, aguardou-se 10 segundos até a estabilização do equipamento, ou quando passado este período, escolheu-se a medida ocorrida com maior frequência. Procedeu-se da mesma maneira nas medições de inverno.

O início do solstício de inverno, 22 de junho, coincide com um período bastante ativo da UTFPR, inclusive nos finais de semana. Prevaleceu o horário legal para a coleta de dados às 9, 11, 13, 15 e 17 horas, e adotou-se o mesmo procedimento seguido nas medições de iluminância durante o solstício de verão, porém perdeu-se um dia de medição para três das salas de aula (E301, E304 e E307) pela impossibilidade de adentrá-las, pois estavam sendo utilizadas para mini-cursos e cursos de pós-graduação.

A cada horário dos três dias de medições, tanto de verão (18, 20 e 21 de dezembro de 2007) como de inverno (28, 29 de junho e 9 de julho de 2008) e em cada sala de aula, foi observado o tipo de céu predominante durante o procedimento de coleta dos dados de iluminâncias. Estes dados são relevantes para a etapa de simulação de dados e estão indicados nas planilhas a e b do apêndice 2.

Optou-se por realizar as medições nos mesmos horários (9, 11, 13, 15 e 17 horas), tanto no horário de verão como no horário legal na época do inverno, pelo fato do estudo tratar das condições reais dos ambientes avaliados e das implicações causadas pela iluminação natural durante o expediente normal de aulas.

### 3.3.2 Simulação da Iluminância Externa e Estimativa do FLN

Qualquer ambiente, com aberturas laterais ou zenitais voltadas para a abóbada celeste, sofre influência direta da iluminância externa à edificação em seu nível de iluminação natural interno.

Utilizando-se um equipamento com fotocélula e um anel de sombreamento para que o sensor esteja protegido dos raios solares diretos (ABNT, 2004b), é possível coletar dados da iluminância externa difusa. Porém, esse anel de sombreamento encobre uma parte da iluminância que deveria ser medida. Para se obter uma estimativa de quanto seria o valor do



iluminamento sem o uso do anel, é necessário lançar mão de um fator de correção normalmente indicado pelo fabricante do anel (BERTOLOTTI, 2007). A indisponibilidade de mais um luxímetro, a compra de um novo equipamento – o anel de sombreamento -, e a necessidade de se deslocar um maior número de pessoas para as medições externas, tornou este método inviável para o desenvolvimento deste estudo. Optou-se, portanto, por seguir os passos abaixo listados, os quais serão detalhados nesta etapa do procedimento:

- utilizar o software DLN para encontrar a iluminância externa teórica para cada dia e horário das medições, de acordo com o tipo de céu observado;
- comparar a iluminância externa teórica com a iluminância externa predita, obtida a partir de conversão matemática da radiação solar global em plano horizontal;
- determinar o FLN para cada ponto dos ambientes e o FLN médio para cada sala de aula;
- estimar a iluminância média interna para os equinócios (primavera e outono), sob as diversas condições de céu.

Em 1991, foi lançado pela CIE o Programa Internacional de Medições de Luz Natural ou *International Daylight Measurement Programme* (IDMP) (IDMP, 2008), com o objetivo de estimular os países a implementarem estações medidoras de luz natural, visando ao estabelecimento de futuras normas e recomendações com o intuito de melhor utilizar aquele recurso, tanto para fins de conservação de energia, como para a promoção de melhor qualidade de vida das pessoas (SCARAZZATO, 2004).

Scarazzato (2004) afirma que, apesar de louvável a iniciativa da CIE, em países como o Brasil, a implementação é demorada, principalmente pela escassez de pessoas e instituições que trabalham com o tema. Sentindo a necessidade da criação de uma base de dados confiável, montada a partir de algum modelo preditivo, Scarazzato (1995) apresentou o software DLN – Disponibilidade de Luz Natural. Este software, segundo ele, “dá informações sobre a previsão da disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos às edificações.” O software é baseado no documento RP 21-84, intitulado *Recommended Practice for the Calculation of Daylight Availability*, publicado pela IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America* - em 1984. Este documento apresenta algoritmos universalmente aplicáveis, que foram baseados na interação entre medições realizadas e métodos preditivos desenvolvidos ao longo de seis décadas em vários países. Inclui ainda, as três tipologias de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto (SCARAZZATO, 2004).

A primeira ação ao se utilizar o software é a escolha de uma das capitais brasileiras, já presentes em seu banco de dados apresentado na tela inicial. Qualquer outra localidade pode ser incluída (nome, latitude, longitude e meridiano). Neste estudo, a capital selecionada foi Curitiba; em seguida, como se observa na figura 12, no tópico Tipo de Dados, foi assinalada a opção Iluminâncias Diárias. Em seguida, na tela ‘Gráfico’ (figura 13), para o plano horizontal, horário legal e para cada dia de medição levantaram-se os dados da iluminância do céu, tanto para céu claro (CC), como para céu parcialmente encoberto (PE) e céu encoberto (CE). Lamberts, Dutra e Pereira (1997) trazem outra nomenclatura, além desta já conhecida, para os tipos de céu: céu limpo ou claro, céu parcialmente nublado ou anisotrópico e céu nublado ou isotrópico.

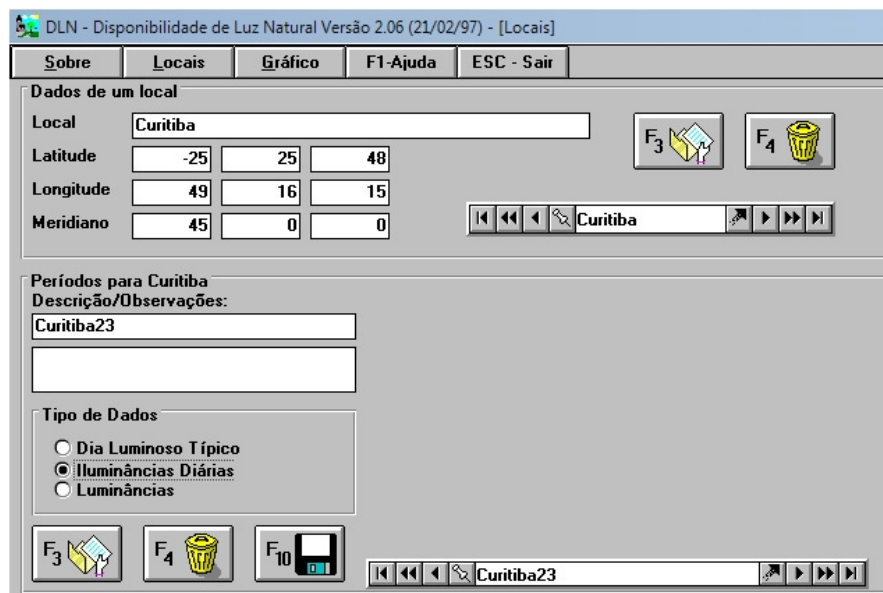


Figura 12 – Janela de inserção de dados.

O software DLN dá ao usuário a opção de escolher entre trabalhar somente com a luz do Sol, somente com a luz do céu ou com ambas (figura 13). Cabe aqui ressaltar que para avaliação do FLN ou FLD, razão das iluminâncias interna e externa num ponto de um dado plano devido à luz natural, deve-se considerar a luz difusa ou luz do céu. Nem, portanto, a contribuição da luz solar direta e nem a iluminância global proveniente da totalidade da luz do céu e luz do Sol (ABNT, 1991).

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) destacam que “a luz recebida do Sol é a fonte de luz fundamental, mas é a luz do Sol difundida na atmosfera que, como luz do céu, serve de fonte primária na iluminação natural de interiores.”

Do ponto de vista da iluminação natural, segundo Mascaró (1985), a abóbada celeste, excluída a luz solar direta sobre os locais de trabalho, é considerada a fonte de luz diurna.

Por intermédio do software DLN, a predição da iluminância externa difusa é equivalente à medição da iluminância externa real com o anel de sombreamento, anteriormente citado.

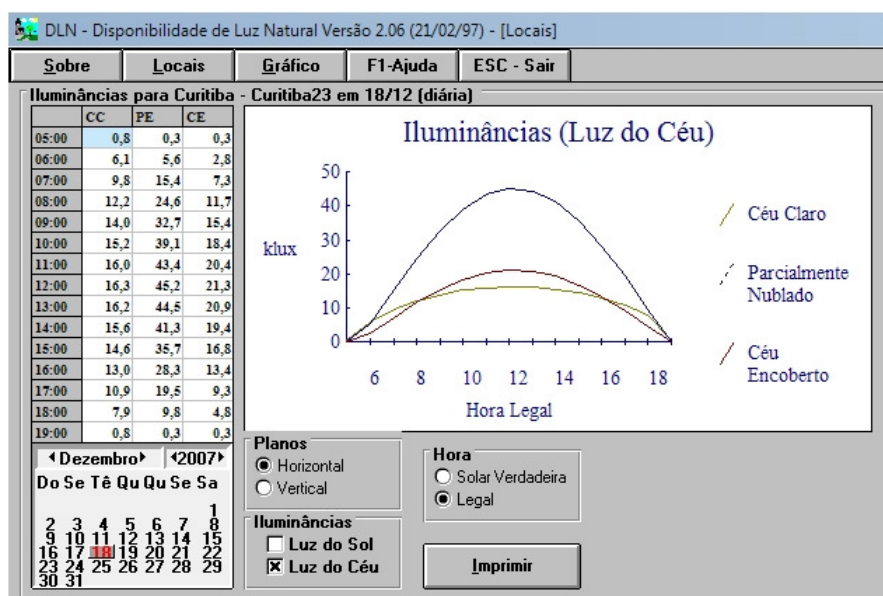


Figura 13 – Valores e gráfico para iluminâncias diárias.

Segundo Scarazzato (2004), os dados preditivos são uma alternativa válida quando considerada a escassez de dados medidos e sistematizados no Brasil. Mas não dispensam a necessidade de dados reais, coletados em Estação Medidora de Iluminação Natural (EMIN). Porém, no Brasil existem apenas duas estações em funcionamento, uma na Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis-SC e outra em Belo Horizonte-MG, na Universidade Federal de Minas Gerais.

Diante deste fato, a solução encontrada para avaliar a correspondência entre os valores preditivos e a iluminância externa equivalente à situação real, foi comparar os valores

das iluminâncias diárias extraídas do DLN e os dados de radiação solar - disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (INMET, 2008) – para a cidade de Curitiba nos dias de medições.

Há que se observar, que para este caso, deve-se considerar a luz ou iluminância global, pois a radiação solar engloba suas componentes direta e difusa num plano horizontal externo qualquer. Ao se comparar valores de iluminância provenientes de conversões da radiação solar com os dados preditivos do software DLN, deve-se considerar na tela ‘Gráfico’ exemplificada na figura 13, a luz do céu + luz do Sol para as iluminâncias.

Devido às diferentes proporções do calor e luz solares resultantes das variações da altitude solar e das condições atmosféricas, os dados de radiação solar não podem ser utilizados diretamente em simulações de iluminação natural (ASHRAE, 1993).

A *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (1993) acrescenta que, em 1985, Littlefair<sup>7</sup> descobriu que o rendimento luminoso da radiação solar, que normalmente varia de 70 a 130 lm/W, pode ser aplicado para as componentes solares direta e difusa, e conseqüentemente, para a radiação solar global, com o intuito de estimar a luz disponível sob dadas condições.

Para a obtenção da iluminância externa, em lux, Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) propõem que se multiplique a radiação solar em W/m<sup>2</sup> pelo rendimento luminoso da luz natural, dado em lm/W. Os autores aconselham empregar o valor de 100 lm/W para este rendimento.

$$\text{Iluminância (lux)} = \text{Radiação solar (W/m}^2\text{)} \times 100 \text{ (lm/W)} \quad (\text{eq.4})$$

Alertam, porém, que tal equação pode apresentar valores mais baixos para a iluminação solar – por volta de 20% - quando estiver sendo avaliado o céu limpo ou claro.

Alucci (2002) sugere uma equação empírica indicada pelo IPT<sup>8</sup> de São Paulo para caracterizar a correlação entre radiação solar global (W/m<sup>2</sup>) e iluminância (lux), ou seja, a eficiência luminosa da radiação solar, ou rendimento luminoso:

$$Y = 0,0108 X - 48,829 \quad (\text{eq.5})$$

<sup>7</sup> LITTLEFAIR, P.J. The luminous efficacy of daylight: A review. **Lighting Research and Technology**: 17, 1985.

<sup>8</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Relatório técnico n° 13257.

Onde:

Y é a radiação solar em W/m<sup>2</sup>;

X é a iluminância global em lux.

Depois de levantadas todas essas premissas, fez-se uma comparação gráfica entre os dados de iluminância global (luz do céu + luz do Sol) coletados do DLN para os três tipos de céu - tomando-se o cuidado de ajustar o horário de verão para as medições de dezembro – e os dados de radiação solar do INMET, convertidos para iluminância, segundo os métodos descritos (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975; ALUCCI, 2002).

O INMET disponibiliza os dados de radiação solar global de hora em hora em kJ/m<sup>2</sup>, por estação registradora automática. Para a conversão do valor da radiação em W/m<sup>2</sup> basta dividi-lo por 3600s x 10<sup>-3</sup>, pois 1kJ = 1x10<sup>3</sup>J = 1x10<sup>3</sup>Ws = 1x10<sup>3</sup>/3600Wh (TO, 2002). O horário é o UTC<sup>9</sup> (*Universal Time Coordinate*) de Greenwich.

Dando seqüência ao desenvolvimento da pesquisa, montou-se uma planilha eletrônica para facilitar a manipulação dos dados nos cálculos do FLN por ponto, para as cinco medições diárias, do FLN mínimo e médio diário, do FLN dos três dias de medições e por fim, do FLN médio de cada sala de aula para verão e inverno, conforme apêndice 2 (planilhas a e b).

Conforme dito no início do item 3.3, a equação para o cálculo do FLN é bastante simples:

$$FLN = \frac{E}{E_e} \times 100\% \quad (\text{eq.6})$$

Onde:

E é a iluminância no ponto interior em lux;

E<sub>e</sub> é a iluminância do exterior em lux.

Já o FLN médio é tomado como a média aritmética de todos os FLN's de cada ponto do ambiente avaliado (PHILLIPS, 2004; SZABO, 2002).

No início de cada medição, observou-se qualitativamente o cobrimento da abóbada. O intuito foi determinar o tipo de céu predominante, para que, posteriormente, fosse possível encontrar os valores das iluminâncias externas correspondentes aos horários das medições no software DLN. Para tanto, cada pesquisador, antes de iniciar a coleta de

<sup>9</sup> Coordenada de Tempo Universal, com referência ao Meridiano de Greenwich (Inglaterra), equivalente ao horário de Londres, que corresponde a 3 horas a mais em relação ao horário de Brasília.

medidas, observou a quantidade de nuvens no céu (visto da janela da sala de aula avaliada). Com base no método para a classificação do céu, recomendado pela *Illuminating Engineering Society of North America*, IESNA (2000), os pesquisadores definiram o tipo de céu no momento de cada medição.

O método do IESNA (2000) sugere a avaliação do céu encoberto por nuvens numa escala em décimos de 0,0 a 1,0 (tabela 11), ou de uma maneira mais prática, de 0 a 100%. Os tipos de céu existentes são apresentados na figura 14.

**Tabela 11** – Porcentagem de nuvens para os diferentes tipos de céu

<b>Tipo de céu</b>	<b>Escala IESNA</b>	<b>Porcentagem aproximada de nuvens</b>
Céu claro	0,0 a 0,3	até 30% de nuvens
Céu parcialmente encoberto	0,4 a 0,7	entre 30% e 80% de nuvens
Céu encoberto	0,8 a 1,0	acima de 80% de nuvens

**Fonte: IESNA (2000)**



**Figura 14** - Tipos de céu: encoberto, parcialmente encoberto e claro  
**Fonte: Moura (2007)**

Na figura 15 está exemplificado um dos momentos de observação do céu na sala E301. O tipo de céu observado foi céu encoberto (CE), no início das medições de verão, no horário das 17 horas do dia 20 de dezembro de 2007.



**Figura 15** – Momento de observação do tipo de céu predominante

Além do FLN, foram calculados o desvio-padrão ( $\sigma$ ) e o coeficiente de variação ( $C_v$ ) deste fator para cada dia de medição e cada sala de aula. “O coeficiente de variação é uma medida relativa de dispersão e mede a variabilidade dos dados em termos de unidades da média” (CHAVES NETO, 2006) e é dado pela razão do desvio padrão e a média ( $\sigma/\mu$ ). Tem a vantagem de não sofrer influência da unidade de grandeza da variável analisada, o que facilita a comparação entre todos os  $C_v$ s dos ambientes estudados.

#### 3.4 PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DAS SALAS DE AULA

Nesta etapa do estudo, o principal objetivo é levantar a iluminância interna dos ambientes proveniente do sistema de iluminação artificial. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) recomenda para este fim a utilização da norma NBR 5382 – Verificação de Iluminância de Interiores.

Não há qualquer exigência da ABNT com relação à época do ano ou horário para que sejam efetuadas as medições. Destaca-se apenas que os resultados somente são válidos nas condições existentes durante a medição. Porém, para que a iluminação artificial pudesse ser avaliada sem qualquer interferência da luz do dia, as leituras da iluminância foram efetuadas em um determinado dia no período noturno. Além do horário tardio, tomou-se o

---

cuidado de fechar todas as cortinas das salas de aula, para que também não houvesse qualquer interferência da iluminação artificial urbana. Todo o sistema de iluminação artificial dos ambientes estudados foi acionado.

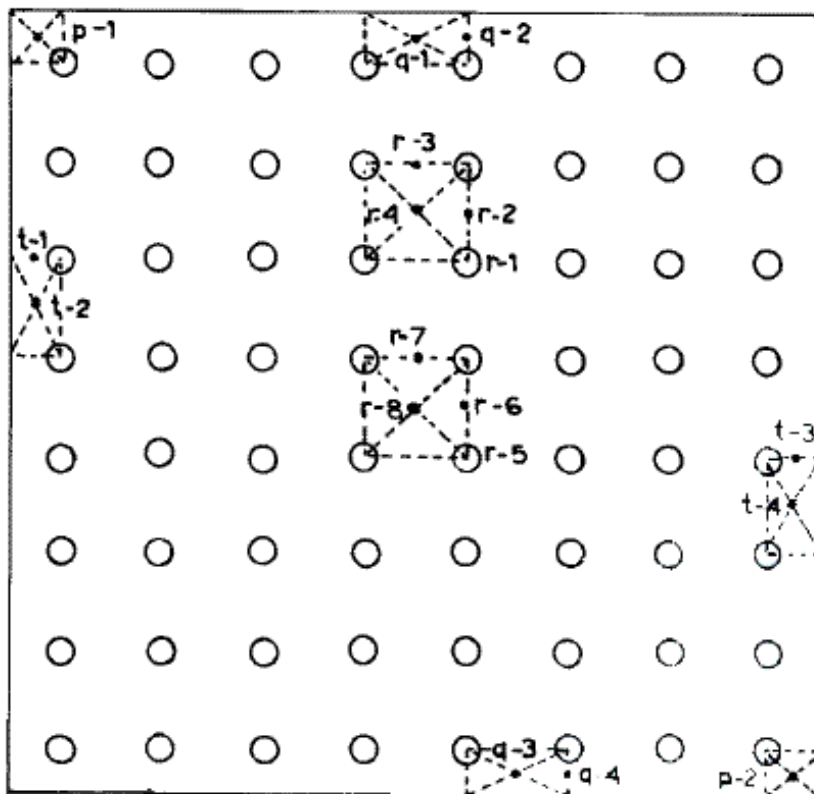
O equipamento utilizado para a avaliação da iluminância artificial foi o mesmo apresentado na seção anterior, para a medição de iluminação natural: dois fotômetros ou luxímetros digitais da marca Instrutherm, LD-240 e LDR-380 (RS232/Datalogger). Antes do início das medições, as fotocélulas dos equipamentos foram expostas à iluminância das instalações com antecedência de 5 a 10 minutos, conforme recomendado pela norma, com o intuito de alcançarem estabilidade. Para a coleta de dados, a superfície da fotocélula do equipamento foi posicionada sempre no plano horizontal e a uma distância de 80 cm do piso, de acordo com a norma.

Segundo a NBR 5382, os seis métodos de verificação sugeridos resultam em valores de iluminância média com no máximo 10% de erro sobre os valores que seriam obtidos pela média aritmética da medição nos pontos centrais da divisão da área total em pequenas áreas de 0,5m x 0,5m. Estes métodos diferem entre si por causa do *layout* dos pontos de iluminação:

- 1º) campo de trabalho retangular, iluminado com fontes de luz em padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras;
- 2º) área regular com luminária central;
- 3º) área regular com linha única de luminárias individuais;
- 4º) área regular com duas ou mais linhas contínuas de luminárias;
- 5º) área regular com uma linha contínua de luminárias;
- 6º) área regular com teto luminoso.

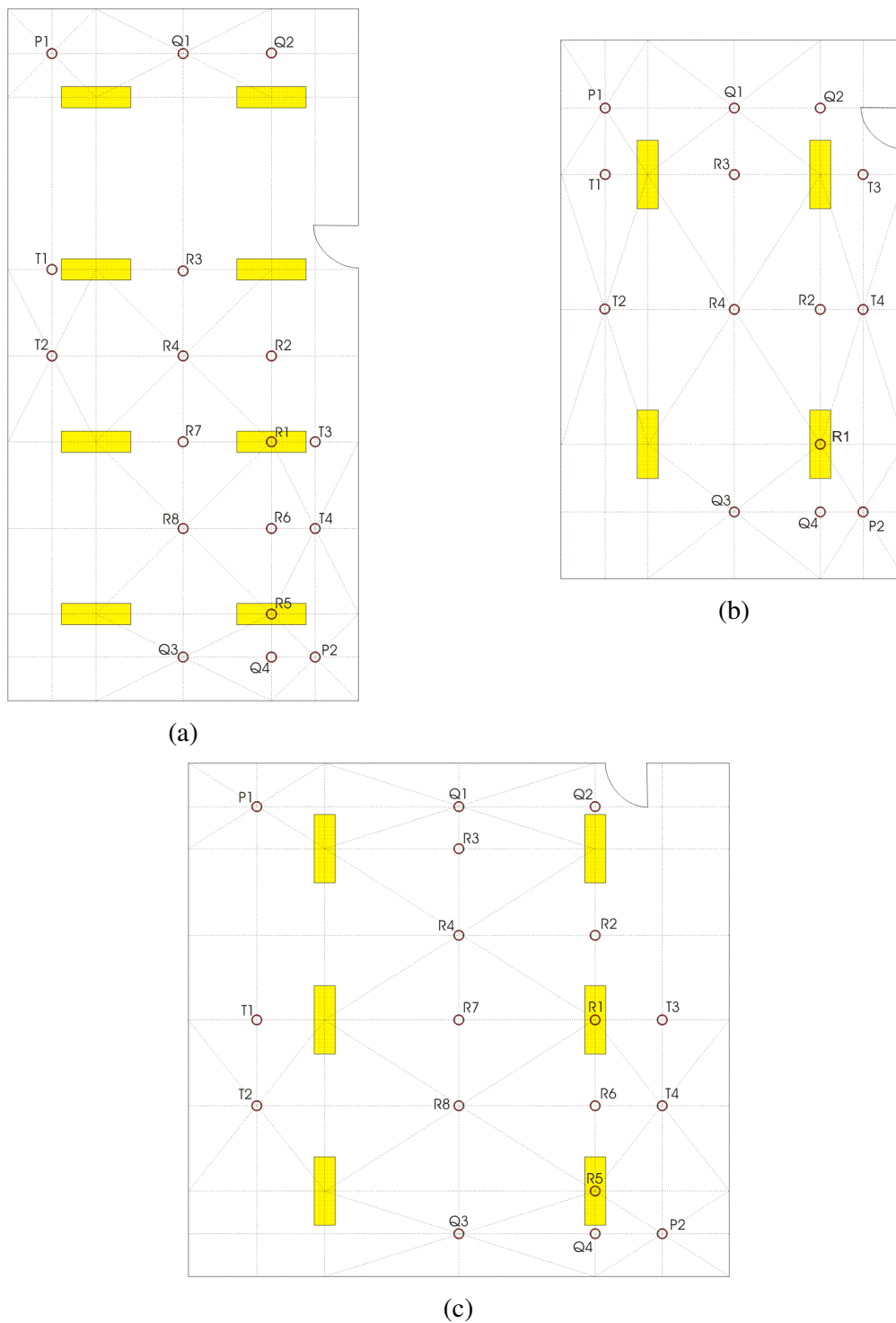
Todas as salas de aula, escolhidas para serem avaliadas nesta pesquisa, se enquadram no primeiro método exposto na norma. A figura 16 ilustra este modelo:





**Figura 16** - Campo de trabalho retangular, iluminado com fontes de luz em padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras  
**FONTE: ABNT (1985)**

Com base no modelo indicado pela NBR 5382 (figura 16), formulou-se um croqui para cada uma das plantas dos ambientes estudados, com o intuito de facilitar a coleta de dados durante as medições (figura 17).



**Figura 17** – Croquis das salas de aula estudadas, baseados no método para campo de trabalho retangular, iluminado com fontes de luz em padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras. Salas E101 e E301 (a), salas E104 e E304 (b) e salas E107 e E307 (c)

O procedimento de medições da iluminação artificial seguiu as recomendações da norma. A iluminância média ( $E_{m\acute{e}dia}$ ) de cada sala foi encontrada através da resolução da equação 7, cujos fatores foram levantados efetuando-se leituras da iluminância nos pontos:

- $R_1, R_2, R_3$  e  $R_4$ , para uma área típica central, em todos os ambientes. Nas salas de aula maiores (E101, E301, E107 e E307), que comportavam mais de uma seleção de pontos equivalentes a uma área típica central, repetiram-se as leituras de iluminância nos locais  $R_5, R_6, R_7$  e  $R_8$ . Calculou-se a média aritmética das quatro ou oito medições, respectivamente, e encontrou-se o valor  $R$ , um dos fatores da equação 7;
- $Q_1, Q_2, Q_3$  e  $Q_4$ , em duas meias áreas típicas, e em dois lados do recinto. Calculou-se a média aritmética das quatro leituras, obtendo-se o valor  $Q$  da equação;
- $T_1, T_2, T_3$  e  $T_4$  e calculou-se o valor  $T$  da equação, média aritmética destas quatro leituras;
- $P_1$  e  $P_2$  - dois cantos típicos dos ambientes - e cuja média aritmética é o valor  $P$  da equação.

$$E_{m\acute{e}dia} = \frac{R \cdot (N - 1) \cdot (M - 1) + Q \cdot (N - 1) + T \cdot (M - 1) + P}{N \cdot M} \quad (\text{eq.7})$$

Onde:

$N$  é o número de luminárias por fila;

$M$  é o número de filas.

### 3.5 CLASSIFICAÇÃO DAS SALAS DE AULA SEGUNDO CRITÉRIOS DA REGULAMENTAÇÃO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O texto da Regulamentação para Eficiência Energética especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações comerciais de serviço e públicas quanto à eficiência energética (LAMBERTS et al. 2007). Seguiu-se, nesta etapa do estudo, cada passo indicado no texto para que fosse possível encontrar a classificação de eficiência

energética das salas de aula do bloco E da UTFPR. Não foram considerados os corredores, banheiros e rampas.

Como requisito geral, no caso de uma edificação pública destinada ao ensino, o circuito elétrico deve possibilitar a medição centralizada por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar, e outros. E de acordo com o Comitê Gestor de Indicadores de Níveis de Eficiência Energética - MME (2008a), caso este item não seja atendido, o nível de eficiência do edifício será no máximo C.

Para fins de classificação do sistema de iluminação de um determinado edifício, a Regulamentação para Eficiência Energética estabelece três pré-requisitos que devem ser avaliados em cada ambiente separadamente. Quando não atendidos, a iluminação será classificada no máximo com o nível D de eficiência. Na tabela 12, observam-se quais pré-requisitos devem ser considerados para que sejam alcançados os níveis de classificação A, B e C:

**Tabela 12** – Quantidade de pré-requisitos para a classificação da edificação quanto aos critérios da Regulamentação para Eficiência Energética

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

Observaram-se, para cada sala de aula, os critérios dos pré-requisitos (MME, 2008a):

- Divisão dos circuitos - Cada ambiente fechado deve possuir ao menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente de sua iluminação interna. Este dispositivo deve ser acessível e localizado de forma que o ocupante possa ver todo o sistema de iluminação que está sendo controlado. Cada dispositivo de controle deve controlar uma área de até 250 m<sup>2</sup> para ambientes até 1000 m<sup>2</sup>, e uma área de até 1000 m<sup>2</sup> para ambientes maiores do que 1000 m<sup>2</sup>.
- Contribuição da luz natural – A fileira de luminárias mais próxima e paralela à(s) janela(s) deve possuir um controle instalado, manual ou

automático, para seu acionamento independente, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível.

- Desligamento automático do sistema de iluminação - Ambientes maiores que 250 m<sup>2</sup> devem possuir um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação com horário pré-determinado (deve existir uma programação independente para um limite de área de até 2500 m<sup>2</sup>), ou com sensor de presença que desligue a iluminação 30 minutos após a saída dos ocupantes, ou ainda com um sinal de outro sistema que indique a desocupação da área.

Através do método descrito no texto do regulamento, obteve-se o limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação por 100 lux (W/m<sup>2</sup>/100lux),  $DPI_{RL}^{10}$ , considerando-se as dimensões características do ambiente avaliado. O índice do ambiente (K) de cada ambiente da edificação foi determinado a partir da equação 8. Em função deste índice, buscou-se o limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação na tabela 13 :

$$K = \frac{C \cdot L}{h \cdot (C + L)} \quad (\text{eq.8})$$

Onde:

C é o comprimento total do ambiente em m;

L é a largura total do ambiente em m;

h é a altura média, em m, entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias no teto.

Note-se que o índice K (equação 8) se distingue do índice k (equação 3) referido anteriormente, pois naquela equação  $H_m$  se refere à distância entre a superfície de trabalho e o topo da janela. Nesta equação h é a distância entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias no teto. Além do que, os objetivos dos índices são distintos.

---

<sup>10</sup>  $DPI_{RL}$ : Densidade de Potência de Iluminação Relativa Limite [(W/m<sup>2</sup>)/100lux]: limite máximo aceitável de  $DPI_R$ ;  $DPI_R$ : Densidade de Potência de Iluminação Relativa [(W/m<sup>2</sup>)/100lux]:  $DPI_A$  para cada 100 lux produzidos pelo sistema de iluminação artificial para uma iluminância medida no plano de trabalho;  $DPI_A$ : Densidade de Potência de Iluminação Absoluta (W/m<sup>2</sup>): razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente (MME, 2008a).

**Tabela 13** - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação ( $DPI_{RL}$ ) para o nível de eficiência pretendido

Índice de ambiente K	Densidade de Potência de Iluminação $W/m^2/100lux$			
	(Nível A)	(Nível B)	(Nível C)	(Nível D)
0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
0,80	2,50	3,86	4,32	5,57
1,00	2,27	3,38	3,77	4,86
1,25	2,12	3,00	3,34	4,31
1,50	1,95	2,75	3,00	3,90
2,00	1,88	2,53	2,77	3,57
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31
3,00	1,76	2,27	2,46	3,17
4,00	1,73	2,16	2,33	3,00
5,00	1,71	2,09	2,24	2,89

**Nota:** Foram adotadas as seguintes refletâncias do ambiente: Teto=70%; Parede=50%; Piso=10%.

**FONTE:** MME (2008a)

O MME (2008a) sugere que se determine o valor de  $DPI_{RL}$  por interpolação (resultados apresentado na tabela 15), quando o índice de ambiente encontrado não estiver especificado na tabela 13. Os dados dimensionais necessários para o cálculo do índice K estão indicados na tabela 14

**Tabela 14** – Dados dimensionais das salas de aula para o cálculo do índice K

SALAS	E101	E301	E104	E304	E107	E307
L - largura do ambiente (m)	6,25	6,25	6,25	6,25	9,60	9,60
C - comprimento do ambiente (m)	12,35	12,35	9,75	9,75	9,20	9,20
h - altura entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias no teto (m)	2,00	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
K – índice do ambiente	2,08	1,89	1,73	1,73	2,14	2,14

Na tabela 15 observam-se os valores interpolados para densidade de potência de iluminação. A interpolação foi resolvida por meio de sistemas de equações.

**Tabela 15** – Interpolação dos valores  $DPI_{RL}$  (tabela 13) para os índices K dos ambientes avaliados neste estudo

Índice de ambiente K	Densidade de Potência de Iluminação W/m <sup>2</sup> /100lux			
	(Nível A)	(Nível B)	(Nível C)	(Nível D)
1,50	1,95	2,75	3,00	3,90
1,73	1,92	2,64	2,89	3,74
1,89	1,89	2,57	2,82	3,64
2,00	1,88	2,53	2,77	3,57
2,08	1,87	2,50	2,74	3,52
2,14	1,86	2,48	2,71	3,49
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31

Para a determinação do nível de iluminação adequado para cada ambiente, foi utilizada a norma NBR 5413 – Iluminância de Interiores, conforme recomendado pela Regulamentação para Eficiência Energética. A norma propõe, para salas de aula, a iluminância mínima de 200 lux, média de 300 lux e máxima de 500 lux. Para salas de desenho e quadros negros, propõe iluminâncias de 300, 500 ou 750 lux. Estas iluminâncias devem ser determinadas a partir da avaliação de um conjunto de fatores indicados na tabela 16:

**Tabela 16** - Fatores determinantes da iluminância adequada

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

**FONTE: ABNT (1992)**

No caso desta regulamentação, deve-se adotar uma soma igual a -2 ou -3 para alcançar os limites mínimos de iluminância da NBR 5413. Em casos especiais onde a idade do observador for superior a 55 anos ou a velocidade e precisão da tarefa for crítica ou importante, adotar medidas locais para complementar as iluminâncias como, por exemplo, iluminação de tarefa e aumento da refletância do fundo (MME, 2008a).

A Regulamentação para Eficiência Energética dita que o projeto luminotécnico calcule a iluminância no final da vida útil do sistema de iluminação (24 meses, utilizando um coeficiente de manutenção ou perda) e conseqüentemente, a respectiva densidade de potência de iluminação por 100 lux ( $W/m^2/100lux$ ),  $DPI_{RF}$ <sup>11</sup>.

As salas de aula foram classificadas em função dos limites estabelecidos na tabela 14, de acordo com o índice de ambiente. Foi observado o critério da Regulamentação para Eficiência Energética: o “ $DPI_{RF}$  deve ser menor que  $DPI_{RL}$ . No caso de  $DPI_{RF}$  maiores que  $DPI_{RL}$  do nível D, os sistemas serão considerados de nível E (menos eficiente)” (MME, 2008a).

Segundo o MME (2008a), quando encontrados os níveis de eficiência para cada ambiente separadamente, ponderam-se seus equivalentes numéricos e áreas para estimar o equivalente numérico final do sistema de iluminação e, portanto, o nível de eficiência do sistema de iluminação do edifício. No caso deste estudo, o objetivo foi avaliar apenas salas de aula e não a edificação.

### 3.6 ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA A PARTIR DO USO CONJUGADO DE LUZ NATURAL E ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Nos últimos anos, o interesse em incorporar a iluminação natural na arquitetura e construções tem aumentado. Isto ocorre porque a iluminação artificial se apresenta como um dos maiores consumidores de energia elétrica em edificações não residenciais (LI; LAM, 2003).

Apesar do aproveitamento da iluminação natural depender muitas vezes do comportamento habitual do usuário e do padrão de ocupação dos ambientes, no caso de existir disponibilidade de luz natural suficiente sobre o plano de trabalho, há a possibilidade de o usuário optar por não acender as luzes artificiais (LESLIE et al., 2005).

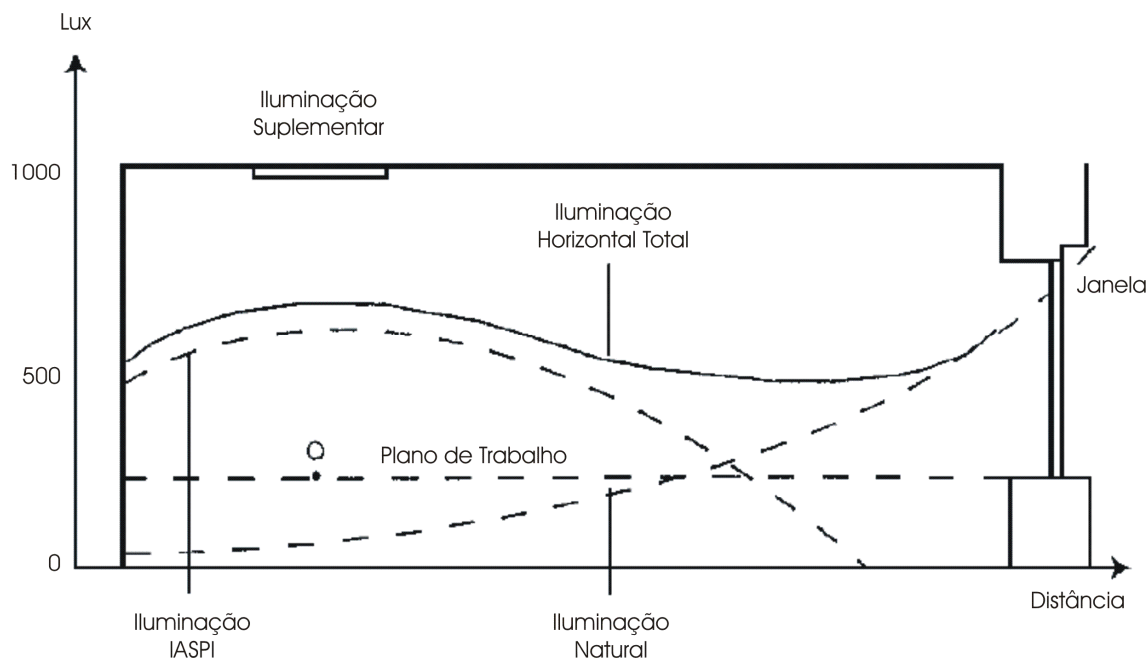
Segundo a ABILUX (1992), a técnica de se integrar a iluminação artificial com a natural é denominada Iluminação Artificial Suplementar Permanente, IASPI, proveniente do original *Permanent Supplementary Artificial Lighting for Interiors, PSALI*. Este conceito (figura 18) foi desenvolvido pelo Prof. Ralph Hopkinson do *Building Research Station* por

---

<sup>11</sup>  $DPI_{RF}$ : Densidade de Potência de Iluminação Relativa Final [ $(W/m^2)/100lux$ ]:  $DPI_R$  obtida após o projeto luminotécnico, no final da vida útil do sistema de iluminação, que corresponde a um período de 24 meses.



volta dos anos 50 na Inglaterra. Seus principais objetivos são: proporcionar a um ambiente a sensação de estar naturalmente bem iluminado, embora utilizando iluminação artificial complementar (PHILLIPS, 2004); e providenciar a iluminação artificial necessária até um nível em que não haja qualquer área escura no ambiente, sem grande consumo de energia elétrica (ABILUX, 1992).



**Figura 18** – O efeito da iluminação artificial suplementar permanente (IASPI) em um ambiente.  
**FONTE:** NASSAR et al. (2003)

Nassar et al. (2003) lançaram uma questão: a luz do dia pode ser integrada com a luz elétrica de maneira eficaz?

Tanto nesta etapa do trabalho como na pesquisa, não houve pretensão de resposta a este questionamento; mas sim, a pretensão de estimar o consumo de energia de determinado ambiente que conjugasse o uso da iluminação natural e artificial.

Para este fim, escolheu-se utilizar o software Lux 2.0, desenvolvido por Alucci (2002), que simula o consumo diurno da energia de um ambiente em três condições:


- condição 1: se cada ponto da sala, através de sensores, tiver a iluminação artificial acionada somente quando necessário;
- condição 2: se todo o sistema de iluminação artificial for acionado quando o ponto com menor FLN não atingir a iluminância mínima desejada;

- condição 3: se a iluminação artificial for acionada durante todo o tempo, ignorando-se a iluminação natural.


Além do exposto acima, a motivação para a escolha do software deu-se também pelo fato do software ser gratuito e de simples utilização, exigindo apenas o conhecimento de conceitos básicos em iluminação artificial e natural, como:

- fator caixilho;
- transmissão luminosa e refletância de vidros;
- refletância de revestimentos internos;
- potência do sistema de iluminação artificial;
- nível de iluminância exigido pela NBR 5413.

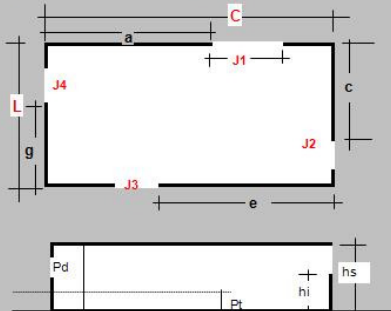
Os dados de entrada são inseridos diretamente na tela e os dados de saída são apresentados em forma de relatório na mesma tela.



Este programa calcula a distribuição do FLD(%) para o ambiente e estima o consumo de energia elétrica para complementar a iluminação natural.



fauusp  
depto de tecnologia  
labaut  
profa dra marcia peinado alucci  
2002/at 2005



Complete a tabela, em metros:

	Largura	hs	hi	a/c/e/g
J1	11,85	2,95	1,6	0,5
J2	0	0	0	0
J3	0	0	0	0
J4	0	0	0	0

Fator de Caixilho

J1

J2

J3

J4

Transmissão luminosa dos vidros

Característica da área

cidade

potência do sistema de iluminação artificial

tempo de utilização do sistema (dias por mês)

número de meses/ano

hora de início do período:

hora do final do período

Nível de Iluminância exigido pela NBR 5413

Dados do Ambiente

Largura  m

Comprimento  m

Plano de Trabalho  m

Pé direito  m

Revestimentos internos (valores de refletância)

parede1 (J1)  forro

parede 2 (J2)  piso

parede 3 (J3)  vidro

parede 4 (J4)

Valor do kWh =  R\$/kWh

Figura 19 – Exemplo da tela de entrada de dados do software Lux 2.0 para a situação atual da sala E301

## Relatório Final

Cidade: Curitiba  
Características da área: não industrial

### Dimensões do ambiente

largura 6,30 m  
comprimento 12,40 m  
pé direito 3,00 m

### Dados das janelas

	largura	altura	fator de caixilho
janela 1 (J1)	11,85	1,35	0,2
janeja 2 (J2)	0,00	0,00	0
janela 3 (J3)	0,00	0,00	0
janela 4 (J4)	0,00	0,00	0

### Refletâncias(cor superf int)

parede 1 0,7  
parede 2 0,7  
parede 3 0,7  
parede 4 0,7  
piso 0,3  
forro 0,7  
vidro 0,2

### Transmitância luminosa dos vidros=

0,9

### Altura do plano de trabalho=

0,80 m

### Potência do sistema instalado=

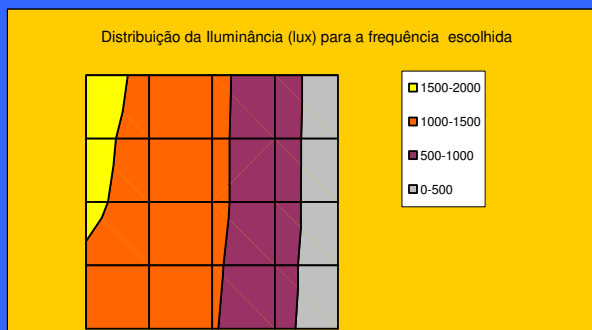
19 W/m<sup>2</sup>

### Período de uso do ambiente

no dia: das 8 às 18 horas  
no mês: 20 dias  
no ano: 12 meses

Nível de Iluminância exigido pela NBR 5413= 200 lux

## Resultados



frequencia escolhida: 68 %

Nota: Só com iluminação artificial/ano inteiro, o  
consumo seria de: 3562,272 kWh/ano  
custo estimado= R\$ 1.050,87 (anual)

Consumo de energia elétrica estimado se o sistema de iluminação artificial é acionado somente nos pontos onde a iluminação natural é insuficiente :

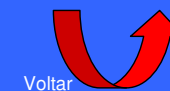
**300,94 kWh/ano**

Custo anual estimado= R\$ 86,43

Consumo de energia elétrica estimado se o sistema de iluminação artificial é acionado assim que o primeiro ponto da sala apresenta iluminação natural insuficiente:

**769,45 kWh/ano**

Custo anual estimado= R\$ 220,99



Voltar

**Figura 20** – Dados de saída do software Lux 2.0 para a situação atual da sala E301

Na figura 19, observam-se os dados de entrada do software. São eles: a cidade em que se encontra o ambiente estudado, as dimensões do ambiente e janelas, a altura do plano de trabalho, as refletâncias das superfícies, fator de caixilho das janelas, fator de transmissão luminosa e refletância dos vidros<sup>12</sup>, a característica área (industrial ou não), período de utilização do sistema de iluminação artificial (horas, dias e meses<sup>13</sup>), a densidade potência deste sistema em W/m<sup>2</sup> e o nível de iluminância exigido pela NBR 5413 e Regulamentação para Eficiência Energética.

Na figura 20, é apresentado o relatório final gerado pelo software, com os dados de consumo nas três situações descritas anteriormente.

O software não permite a modificação do custo do kWh (R\$ / kWh). Portanto, na pesquisa atentou-se apenas para o consumo de energia.

Alucci (2002) explica que os cálculos da estimativa de disponibilidade de luz natural para cada cidade baseou-se no conceito de eficiência luminosa da radiação solar, visto anteriormente.

Quanto ao fator de caixilho ( $K_c$ ), o software disponibiliza para seleção valores que variam de 0 a 0,2 – uma faixa muito pequena. Acredita-se que houve uma interpretação errada<sup>14</sup> sobre fator de caixilho quando do desenvolvimento do software. Pois esta faixa de valores indica a proporção entre área de caixilho e área de janela. Já o fator caixilho indica a área desobstruída, ou efetiva, da janela (área de janela menos área de caixilho) pela área da janela.

Sugere-se, portanto, que após encontrado o fator caixilho, subtraia-o do valor 1 (um) para encontrar seu complemento e utilizá-lo como dado de entrada no software Lux 2.0.

Por fim, estimou-se o consumo de energia elétrica para cada sala de aula em duas situações (cada qual considerando as condições 1, 2 e 3 de simulação do software explicadas anteriormente):

- a atual, com a densidade de potência do sistema de iluminação artificial real;
- a otimizada com a densidade de potência do sistema de iluminação artificial calculado a partir dos conceitos da nova Regulamentação para Eficiência Energética (Classificações A, B, C e D).

---

<sup>12</sup> Dados pesquisados em Rodrigues (2002), Costa (2005) e OSRAM (2007).

<sup>13</sup> Utilizou-se 12 meses como dado de entrada, pois além do período letivo, sempre ocorrem cursos de férias na instituição.

<sup>14</sup> Tentou-se contato com a autora do software, porém não se obteve sucesso.

### 3.7 SUGESTÕES PARA UM PROJETO LUMINOTÉCNICO EFICIENTE

Segundo a Companhia Paranaense de Energia - COPEL (2005), o bom desempenho de um sistema de iluminação depende de cuidados que se iniciam no projeto elétrico, envolvendo informações sobre luminárias, perfil de utilização, tipo de atividade a ser exercida no local e outras.

Para a obtenção de maior eficiência energética, a COPEL (2005) recomenda que os projetos de iluminação considerem, entre outros, os pontos abaixo relacionados:

- máximo aproveitamento da luz natural;
- nível de iluminação adequado ao trabalho, solicitado conforme recomenda a Norma Brasileira NBR-5413 Iluminância de Interiores;
- circuitos independentes para utilização de iluminação parcial e por setores;
- seleção cuidadosa de lâmpadas e luminárias eficientes;
- seleção cuidadosa dos reatores buscando a redução das perdas e fator de potência mais alto;
- utilização de relés fotoelétricos para controlar o número de lâmpadas acesas, em função da luz natural no local.

De acordo com o que foi exposto no item 3.5, a Regulamentação para Eficiência Energética recomenda que sejam respeitados alguns critérios de controle do sistema de iluminação, além dos limites de potência instalada (vide tabela 12). Para ambientes pequenos - menores que  $250\text{m}^2$  - como as salas de aula deste estudo, os pré-requisitos a serem atendidos são (MME, 2008a):

- pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente;
- ambientes com janela voltada para o ambiente externo devem possuir um controle instalado, para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à janela de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível.

Atualmente, existem softwares que auxiliam engenheiros e arquitetos na escolha de lâmpadas e luminárias, bem como na simulação da iluminação artificial em ambientes.

O software Lumisoft (disponível no site [www.lumicenter.com](http://www.lumicenter.com)), desenvolvido pela fabricante de sistemas de iluminação Lumicenter Engenharia de Iluminação foi escolhido para esta pesquisa por ser uma ferramenta simples de ser utilizada. Todos os cálculos

luminotécnicos para o dimensionamento de um sistema de iluminação de um ambiente regular são executados automaticamente, bastando informar ao programa alguns dados como: dimensões do ambiente; altura do plano de trabalho; refletâncias de teto, parede e piso; fluxo luminoso da lâmpada; fator de perda (ou fator de manutenção exigido pela Regulamentação para Eficiência Energética, capítulo 3.5); modelo de luminária; altura e ângulo de instalação e por fim a iluminância desejada (LUMICENTER, 2008).

O Lumisoft sugere uma lista das luminárias mais comumente utilizadas no mercado (LUMICENTER, 2008).

Dentre os resultados, o software apresenta a quantidade de luminárias necessárias ao ambiente; tomografia simples (verificação da iluminância no plano de trabalho); tomografia tripla (verificação da distribuição de iluminância simultaneamente em três níveis: piso / plano de trabalho / 1,70m de altura); tomografia tridimensional (verificação da homogeneidade da iluminância no ambiente) e uma grade de iluminâncias (LUMICENTER, 2008).

Quanto às lâmpadas, Silva (2004) orienta que as antigas lâmpadas fluorescentes de 40W ou 20W (T12)<sup>15</sup> sejam substituídas por lâmpadas fluorescentes T8 com potências de 32W e 16W respectivamente.

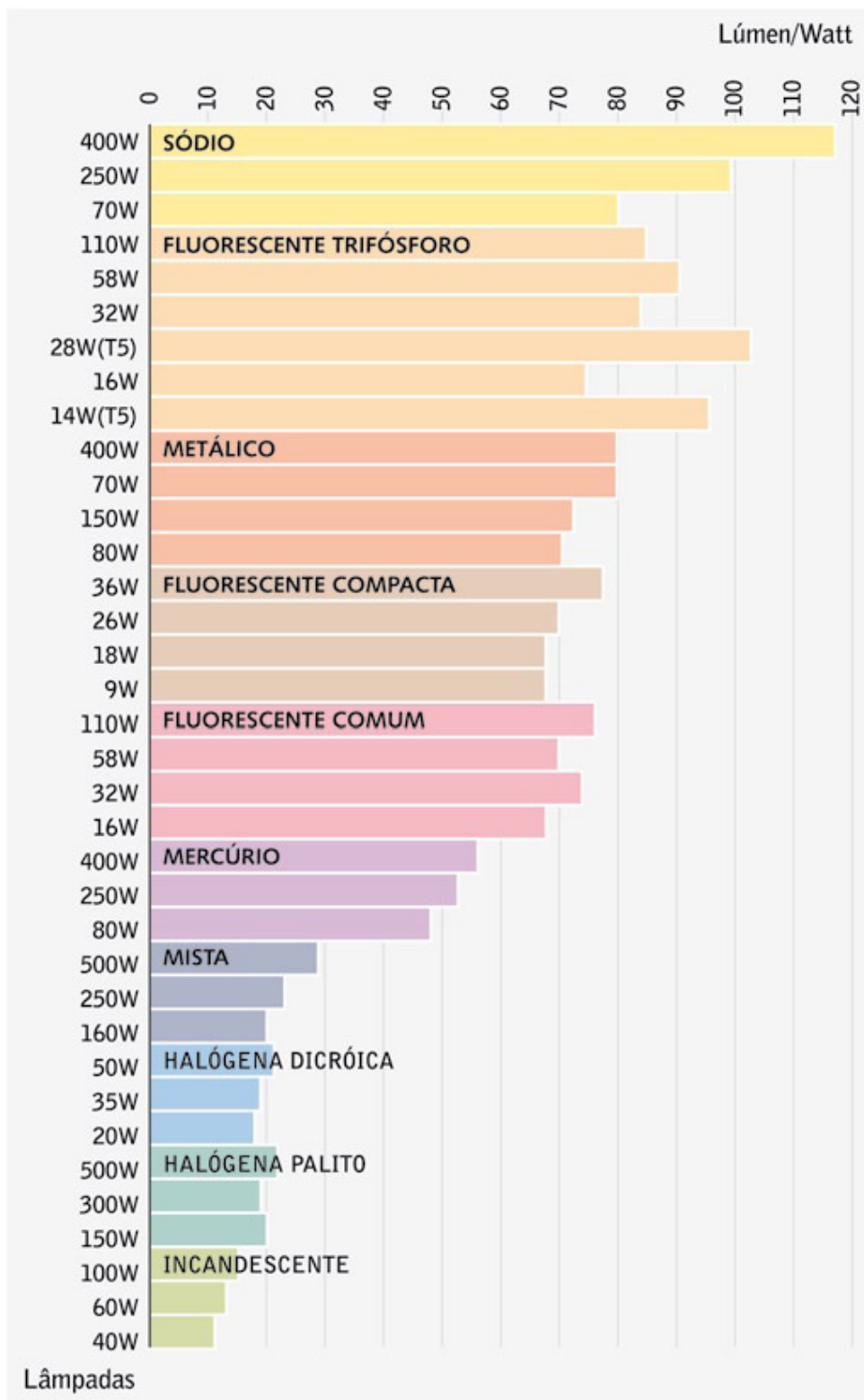
Porém, em projetos modernos e eficientes, há que se utilizar as lâmpadas fluorescentes T5, que são atualmente as lâmpadas fluorescentes mais eficientes do mercado.

Se comparadas às lâmpadas T12, as lâmpadas T5 são 40% mais eficientes. E são 20% mais eficientes que as lâmpadas T8 (SILVA, 2004). A figura 21 apresenta uma comparação da eficiência luminosa (lm/W) das lâmpadas existentes no mercado.

As lâmpadas fluorescentes T5 possuem versões de 14W ou 28W, eficiência luminosa de 96 e 104 lm/W respectivamente, ambas com vida útil de 24000 horas e IRC 85. Os reatores utilizados em conjunto com estas lâmpadas devem ser eletrônicos, de partida rápida e alto fator de potência (SPOT, 2007).

---

<sup>15</sup> T12, T10, T8 e T5 são referências da bitola do bulbo em relação à oitava de uma polegada. Então, 12/8 de uma polegada até 5/8 de uma polegada (SILVA, 2004).



**Figura 21** – Comparação da eficiência luminosa de lâmpadas encontradas no mercado  
**FONTE: LUMICENTER (2009).**



### 3.8 VIABILIDADE ECONÔMICA

Um projeto nasce com o investimento. De acordo com Rebellato (2004), a análise de alternativas de investimentos é o estudo dos fluxos de caixa – desembolso de capital (saídas de caixa) e retorno dos investimentos realizados (entradas de caixa) – de um projeto para avaliar a sua viabilidade econômica, que para o tomador de decisão, exige a recuperação do capital investido e sua remuneração.

Antes ou após a implantação de um projeto, há sempre uma necessidade de informações e pareceres precisos a respeito da viabilidade econômica e suas tendências. São estudos feitos por meio de levantamentos criteriosos cujos resultados demonstram, claramente, o potencial de economia do trabalho.

Para a solução de um problema de análise de investimentos, é necessário o conhecimento de técnicas específicas conhecidas como Engenharia Econômica. O método escolhido para o presente estudo foi o *payback*, que de acordo com Lemes Junior, Rigo e Cherobim (2005) é o período de tempo necessário para que as entradas líquidas de caixa recuperem o valor a ser investido. Com base nessa avaliação, o tomador de decisão, a partir de seu padrão<sup>16</sup> de tempo necessário para recuperação do investimento, no tempo de vida esperado do ativo, nos riscos associados e em sua posição financeira, decide pela aceitação ou rejeição do projeto. O resultado deve proporcionar o direcionamento, aprovação ou rejeição dos projetos e o laudo final deve apontar a economicidade do negócio.

A regra do *payback* dita que um investimento é aceitável quando o retorno do capital investido se dá num tempo igual ou menor que o padrão da empresa (LEMES JUNIOR; RIGO; CHEROBIM; 2005).

$Payback < \text{padrão da empresa}$	Aceita-se o projeto
$Payback = \text{padrão da empresa}$	Aceita-se o projeto
$Payback > \text{padrão da empresa}$	Rejeita-se o projeto

**Quadro 1** – Aceitação ou rejeição do projeto segundo o *payback*  
 **FONTE: LEMES JUNIOR; RIGO; CHEROBIM (2005).**

<sup>16</sup> O padrão de tempo é definido pela empresa, ou pelo tomador de decisão. É o tempo considerado ideal para o retorno do investimento.

---

## 4 Resultados e Discussões

Este capítulo apresenta os resultados das etapas de medições e simulações, bem como comentários e discussões. São eles:

- resultados das medições e simulações referentes à iluminação natural das salas de aula;
- resultados das medições da iluminação artificial das salas de aula;
- consumo de energia referente à situação atual das salas de aula e simulação do consumo referente a uma situação posterior à aplicação da Regulamentação para Eficiência Energética considerando o aproveitamento da iluminação natural;
- classificação das salas de aula segundo critérios da Regulamentação para Eficiência Energética;
- projeto luminotécnico com base na Regulamentação para Eficiência Energética;
- análise da viabilidade econômica para implantação do projeto.

### 4.1 RESULTADOS SOBRE AS MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES REFERENTES À ILUMINAÇÃO NATURAL DAS SALAS DE AULA

Nesta seção são apresentados os resultados das medições da iluminação natural das seis salas de aula escolhidas para avaliação, bem como os resultados das simulações para as iluminâncias externas e o cálculo do Fator de Luz Natural, FLN.

#### 4.1.1 Resultado das Medições da Iluminação Natural das Salas de Aula

Nos dias 18, 20 e 21 de dezembro de 2007 foram realizadas as primeiras medições, referentes ao solstício de verão, para a avaliação das condições da iluminação natural das salas de aula do bloco de engenharia, E, da UTFPR. As coletas de dados tinham início nas salas de final 1, passando às de final 4 e por último coletavam-se os dados das salas de final 7. Os horários foram sempre o mais próximo possível das 9h, 11h, 13h, 15h e 17h.

Seguindo a mesma metodologia utilizada nas medições de verão, realizaram-se as medições de inverno, nos dias 28 e 29 de junho e no dia 9 de julho de 2008. No dia 28 de junho, não foi possível realizar as medições de iluminância para as salas do terceiro andar: E301, E304 e E307, por causa da intensa atividade acadêmica nesta época do ano.

O apêndice 2 traz dois exemplos da planilha geral das iluminâncias, referentes ao primeiro dia de medição do solstício de verão da sala E101 e ao último dia da medição do solstício de inverno da mesma sala de aula. Estas planilhas apresentam os dados medidos de iluminância interna ( $E_1$  a  $E_{28}$ ), a iluminância interna média ( $E$  médio), o desvio-padrão e o coeficiente de variação da iluminância interna ( $\sigma E$  e  $C_v E$ ), a maior e a menor iluminâncias encontradas ( $E_{\max}$  e  $E_{\min}$ ). Todos os dados das medições de verão e inverno foram organizados em 36 planilhas iguais àquelas. Na planilha A deste apêndice, estão destacadas as iluminâncias, por ponto, medidas no primeiro horário estabelecido para as medições.

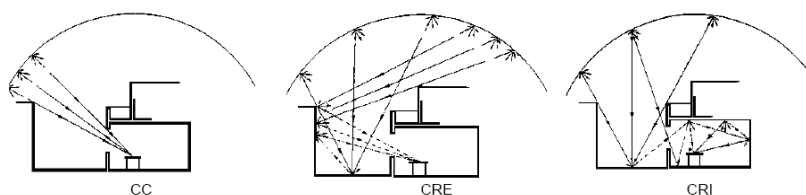
A importância de organizar todos estes dados em uma planilha é a facilidade da observação do comportamento das iluminâncias resultantes de situações bastante diferenciadas. Extrai-se muita informação destas planilhas, que guiarão as escolhas no momento da elaboração de um projeto luminotécnico. A seguir, é apresentada uma série de gráficos resultantes destas observações.

Cabe aqui lembrar que a distribuição da malha de pontos para a medição da iluminação natural das salas de aula (eixos das abscissas) está indicada no apêndice 1.

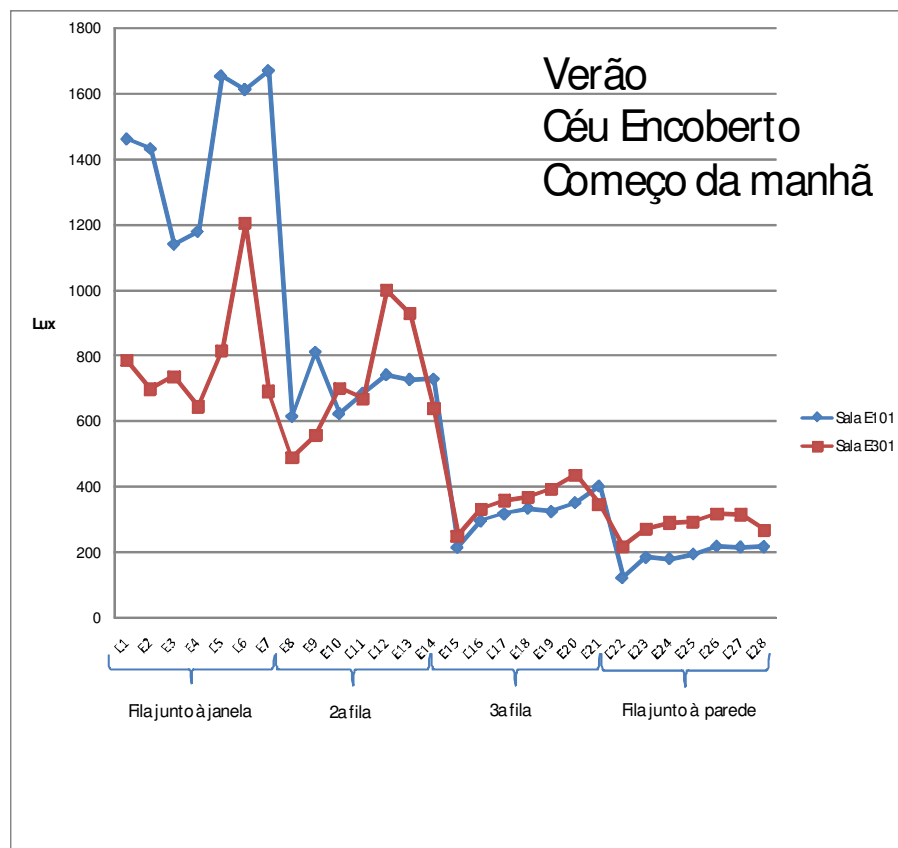
Os gráficos 4, 5, 6 e 7 mostram que tanto no verão como no inverno, com a ocorrência dos vários tipos de céu, as iluminâncias próximas à janela são mais altas para a sala E101, que fica em andar mais baixo que a E301, sendo ambas face oeste. Isto se dá pelo fato do entorno se comportar como fonte de luz, tornando a iluminação produzida nas superfícies externas uma importante fonte de iluminação secundária (MASCARÓ, 1985).

Segundo Vianna e Gonçalves (2007) a luz natural proveniente de aberturas laterais depende das contribuições de três variáveis:

- quantidade de luz proveniente da abóbada celeste (CC<sup>17</sup> – componente celeste);
- quantidade de luz proveniente das reflexões de obstruções externas (CRE – componente de reflexão externa);
- quantidade de luz proveniente das reflexões das superfícies internas (CRI – componente de reflexão interna);

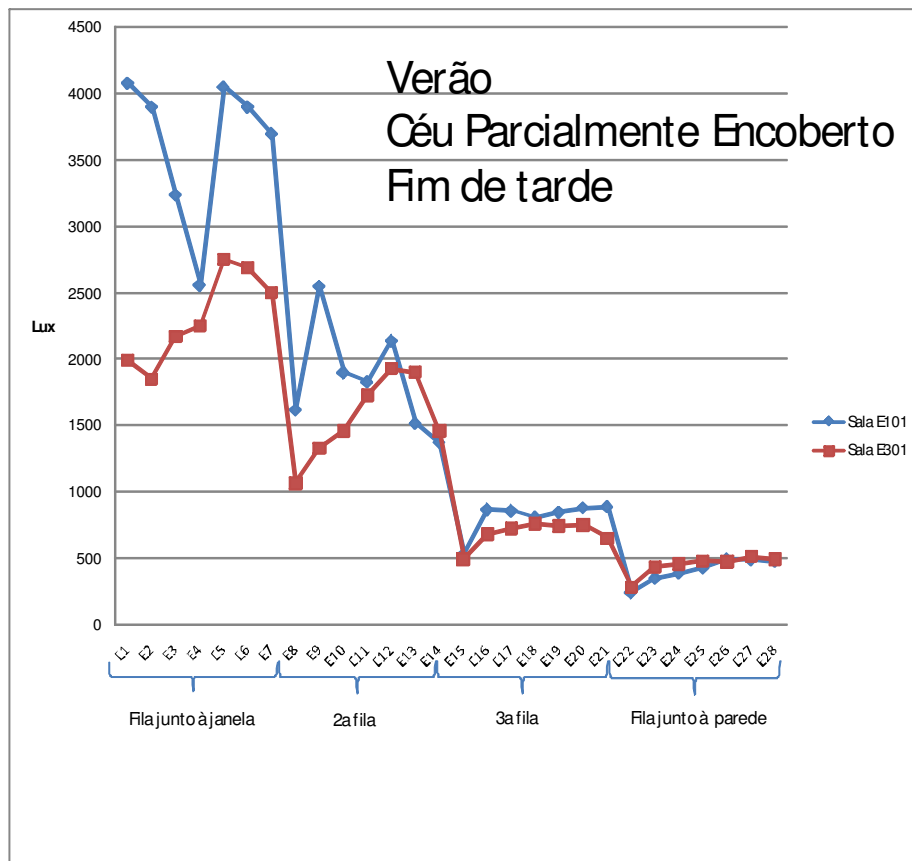


**Figura 22** – Componentes da luz natural.  
**FONTE: ABNT (2004a)**

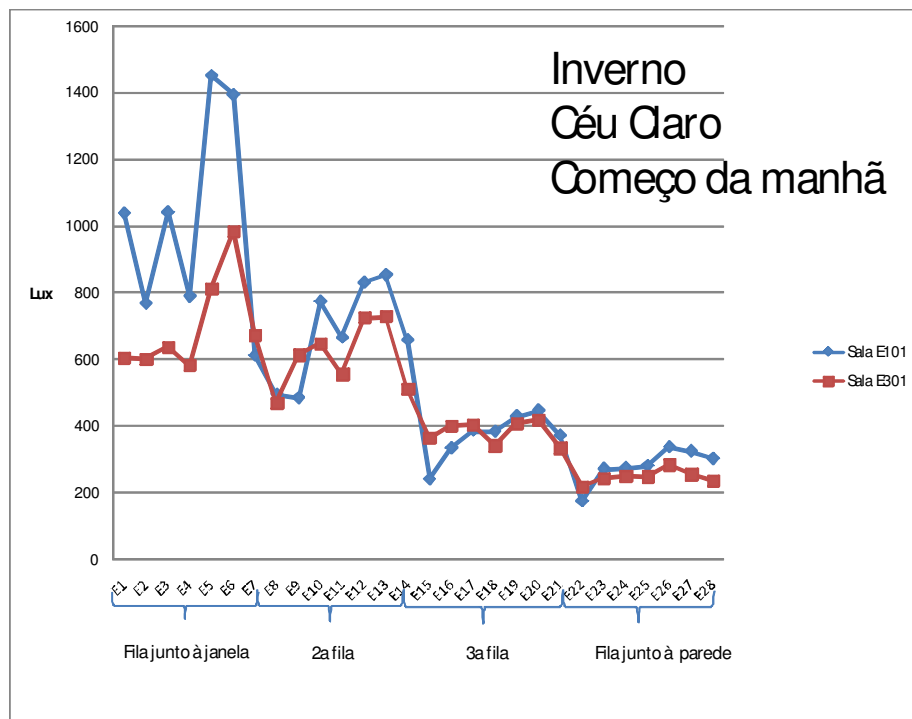


**Gráfico 4** – Comportamento da iluminância natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de verão do dia 18/12/2007 próxima às 9 horas.

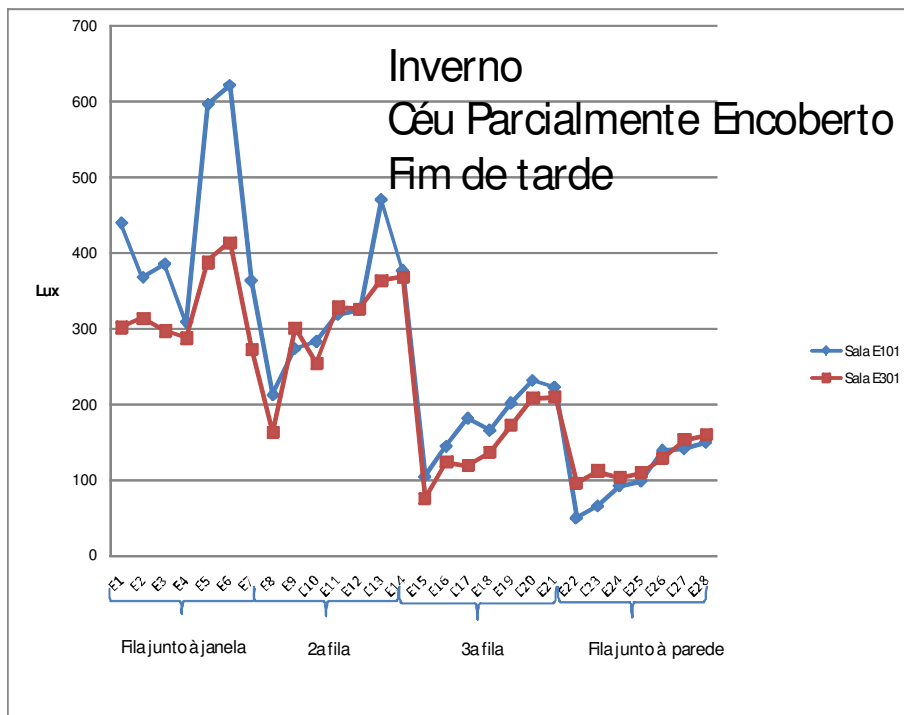
<sup>17</sup> CC – componente celeste, neste caso, difere de CC – Céu Claro utilizado em todo o trabalho.



**Gráfico 5** – Comportamento da iluminação natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de verão do dia 18/12/2007 próxima às 17 horas.



**Gráfico 6** – Comportamento da iluminação natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de inverno do dia 9/07/08 próxima às 9 horas.

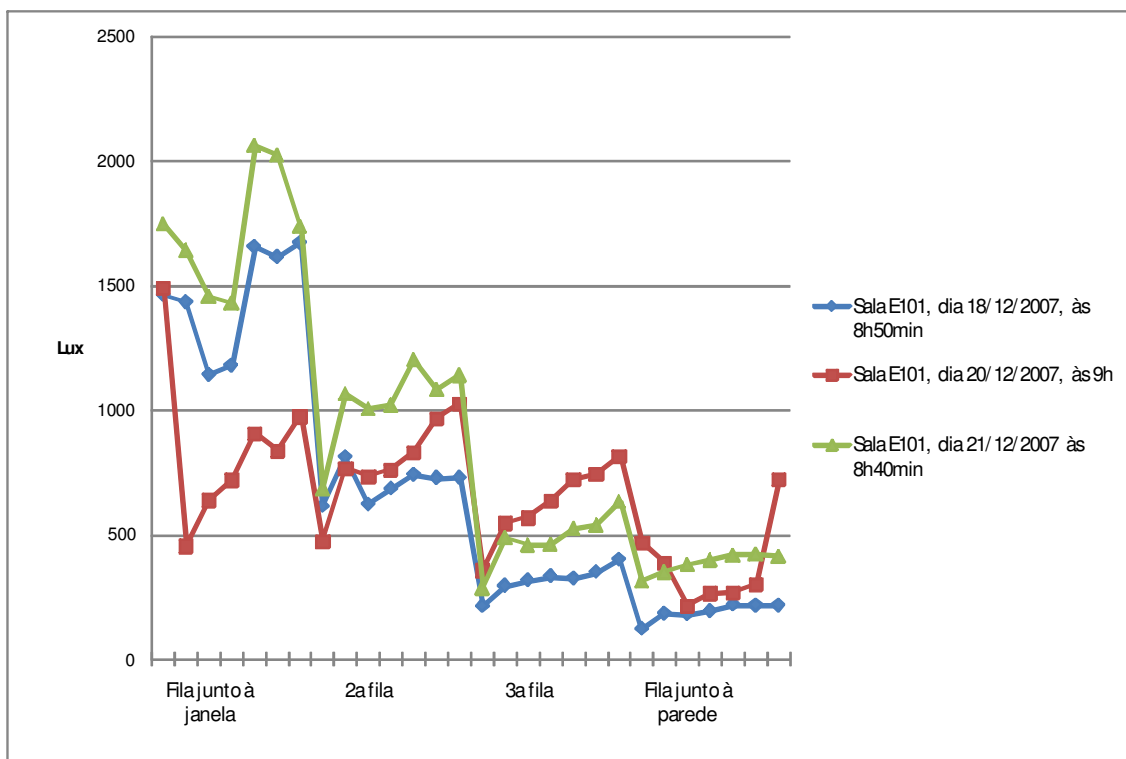


**Gráfico 7** – Comportamento da iluminância natural interna para todos os pontos das salas E101 e E301, referente à medição de inverno do dia 9/07/08 próxima às 17 horas.

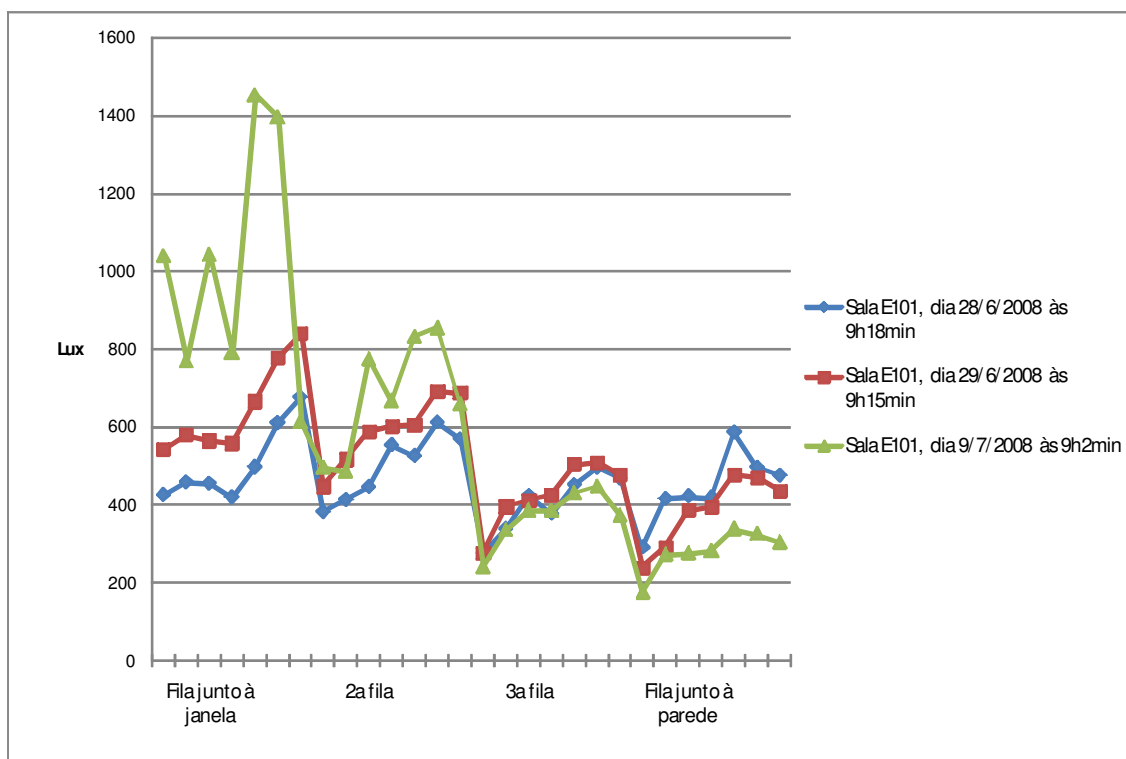
Os picos de iluminâncias, observados na fileira junto à janela (E1 a E7)<sup>18</sup>, são resultantes da ação da componente de reflexão externa, CRE. Note-se que tanto no verão - pela manhã ou fim de tarde, para condições de céu encoberto (com cobertura da abóbada acima de 80%) ou parcialmente encoberto - como no inverno - para uma condição de céu claro (abóbada com no máximo 30% de nuvens) ou encoberto, manhã ou fim de tarde - os picos se apresentam de maneira similar, mostrando que essa condição de iluminância interna deriva da situação do ambiente em relação ao entorno e abóbada celeste.

Os gráficos 8 e 9 apresentam o comportamento similar das iluminâncias para um mesmo ambiente em dias próximos, apesar da variação do céu entre um dia e outro. Porém, excetuam-se os pontos próximos à janela, que sofrem mais diretamente com as alterações dos tipos de céu.

<sup>18</sup> O mapeamento dos pontos de medição da iluminação natural foi apresentado no capítulo 3.

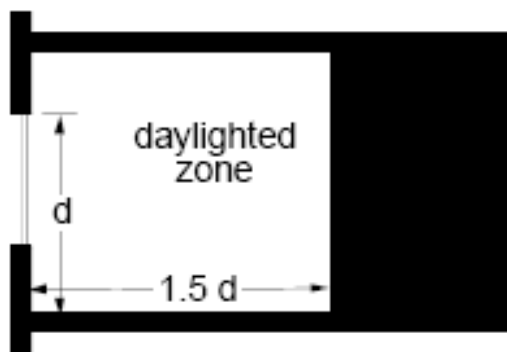


**Gráfico 8** – Comportamento da iluminância natural interna da sala E101, referente aos três dias de medição de verão, num horário próximo às 9 horas.



**Gráfico 9** – Comportamento da iluminância natural interna da sala E101, referente aos três dias de medição de inverno, num horário próximo às 9 horas.

Nos ambientes iluminados por aberturas laterais, o nível de iluminância diminui com o aumento da distância à janela (ABILUX, 1992). Reinhart (2005) apresenta em seu trabalho os critérios adotados por alguns países, que normalmente creditam a área iluminada a uma distância da janela que varia de 1,5 a 2 vezes a altura do chão ao seu topo. A figura 23 mostra um exemplo de zona iluminada com penetração da luz natural a uma profundidade de 1,5 vezes a altura do chão ao topo da janela.



**Figura 23** – Exemplo de zona iluminada pela luz do dia a partir da janela, considerando 1,5 vezes a altura do chão ao topo da janela.  
**FONTE: LBNL (2007)**

A consequência desta variação da iluminância, a medida que aumenta a distância à janela, é a variabilidade da iluminância interna de um ambiente.

Na tabela 17 estão indicadas as iluminâncias (E) mínimas, médias e máximas resultantes das medições de iluminação natural. Observe-se a diferença entre os pontos de maior e menor iluminância. Nas salas E107 e E307, por exemplo, as mínimas iluminâncias chegam próximas a zero (3 e 2 lux respectivamente), enquanto num ponto mais iluminado foram encontradas iluminâncias superiores a 4000lux (4680 lux para a sala E107 e 4137 lux para a sala E307).

Outros fatores como o WWR (*Window to Wall Ratio*) e a orientação cardinal interferem na iluminância interna de um ambiente. Tomando-se novamente as salas E107 e E307 como exemplo: ambas as salas possuem duas janelas laterais e opostas (face leste e oeste). Este fato deveria garantir um ambiente homogêneo quanto à iluminância. Porém, se verificado o coeficiente de variação da iluminância interna ( $C_vE$ ) que está entre 0,45 e 0,75, isto não ocorre. O baixo fator WWR (0,22) diminui a ação das componentes celeste (CC) e de reflexão externa (CRE).



As salas E104 e E304, que possuem janelas face sul (livre da ação direta dos raios solares) com WWR de 0,35, mostram uma iluminância interna alta e mais homogênea que as demais salas de aula no inverno (vide  $C_vE$  de 0,39 e 0,29 respectivamente).

Quanto ao aproveitamento da iluminação natural, além da E104 e E304 se apresentam adequadas as salas E101 e E301.

Além da variabilidade da iluminação natural derivada das características do ambiente, existe o fator iluminância externa que depende da radiação solar, da posição solar (latitude e longitude, dia do ano e horário local), do tipo de céu, do entorno e até mesmo da poluição do ar (HERTZ, 1998; IESNA, 2000).

Por todos estes motivos não há como se avaliar a distribuição da iluminação de um ambiente utilizando-se apenas a iluminância interna média. O  $C_v$  é um bom índice para a análise da homogeneidade da iluminação e deve ser considerado. Mas existe a necessidade de se avaliar a relação entre a iluminância interna e a iluminância externa, o FLN.

**Tabela 17** – Iluminâncias internas das salas de aula e coeficientes de variação das iluminâncias

		E101	E301	E104	E304	E107	E307
WWR		0,36	0,36	0,35	0,35	0,22	0,22
Orientação Cardeal		Oeste	Oeste	Sul	Sul	Leste/Oeste	Leste/Oeste
Nível Recomendado NBR5413 e Regulamentação		300 lux	200 lux	200 lux	200 lux	200 lux	200 lux
E mínimo		68	81	160	136	23	29
E máximo	V	10500	4160	11020	4280	3850	1336
E médio	L E u R x Ã O	1400	1084	1265	1270	411	290
$C_vE$		0,67	0,45	0,61	0,49	0,75	0,50
E mínimo	I	17	31	16	42	3	2
E máximo	L V	4000	2640	1812	1840	4680	4137
E médio	u E x R N	649	383	365	541	422	329
$C_vE$	O	0,56	0,43	0,39	0,29	0,66	0,45

#### 4.1.2 Resultado da Simulação da Iluminância Externa e Cálculo do FLN

Por intermédio do software DLN, fez-se um levantamento das iluminâncias difusas externas – provenientes da luz do céu - para todos os horários dos dias de medições, tanto no verão como no inverno. Considerou-se o tipo de céu (céu claro, parcialmente encoberto ou encoberto) que predominava para as salas de aula em cada medição<sup>19</sup>.

Estes novos dados foram inseridos na planilha das iluminâncias, com o intuito de efetuar o cálculo do FLN, Fator de Luz Natural, para cada ponto medido, conforme apresentado no capítulo 3 - Metodologia. A planilha a do apêndice 2 apresenta em destaque estas informações e cálculos.

Dando seqüência ao estudo, avaliou-se a correspondência entre os valores preditivos de iluminância externa do software DLN, para os três tipos de céu, e a iluminância externa real, oriunda da conversão dos dados de radiação solar disponibilizados pelo INMET (2008) conforme as equações 4 e 5. Os quadros 2, de verão, e 3, de inverno, apresentam todos os resultados dos cálculos de conversão da radiação solar<sup>20</sup> em iluminância externa global, para Curitiba, nos dias das medições, bem como os dados de iluminância global extraídos do DLN, para céu claro, parcialmente encoberto e encoberto.

Relembrando o que foi exposto anteriormente, nesta etapa do procedimento foi considerada a iluminância global (luz difusa + luz direta, ou então, luz do céu + luz do Sol) pois a radiação solar atinge um plano horizontal externo qualquer com suas componentes direta e difusa.

---

<sup>19</sup> A cada medição foi observado em planilha, qualitativamente, o cobrimento da abóbada.

<sup>20</sup> Cálculos de conversão da radiação solar em iluminância sugeridos por Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) e Alucci (2002), descritos no capítulo 3.

**Quadro 2** – Comparação da radiação solar convertida em iluminância externa (Hopkinson, Petherbridge e Longmore / Alucci) com os dados de iluminância global extraídos do DLN, conforme o tipo de céu ocorrido para cada horário de cada medição de verão

V e r ã o	Data	Horário			Radiação		Equação Sugerida por Hopkinson	Equação Sugerida por Alucci	DLN (Sol + Céu)			Tipo de Céu Durante a Medição	Iluminância Externa DLN (Equivalente ao tipo de céu durante a medição)	Correlação (R)	
		UTC	Legal	Curitiba (Horário de Verão)	kJ/m <sup>2</sup> (Dados do INMET)	Equivalente em W/m <sup>2</sup>			CC (Céu Claro)	PE (Parcialmente Encoberto)	CE (Céu Encoberto)			Correlação entre a Radiação Medida pelo INMET e a simulação do DLN	Correlação Média entre a Conversão da Radiação Medida pelo INMET e a simulação do DLN
	18/12/2007	11	8	9	729	203	20250	23271	60500	40900	11700	CE	11700	0,95	0,75
	18/12/2007	13	10	11	1482	412	41167	42638	104300	84100	18400	CE	18400		
	18/12/2007	15	12	13	2912	809	80889	79418	122800	104200	21300	PE	104200		
	18/12/2007	17	14	15	2400	667	66667	66250	110800	91100	19400	PE	91100		
	18/12/2007	19	16	17	1520	422	42222	43616	71500	51000	13400	PE	51000		
	20/12/2007	11	8	9	1478	411	41056	42536	60100	40500	11600	CC	60100	0,90	
	20/12/2007	13	10	11	2168	602	60222	60283	104100	83900	18400	PE	83900		
	20/12/2007	15	12	13	3604	1001	100111	97217	122800	104200	21300	PE/CC	113500		
	20/12/2007	17	14	15	1470	408	40833	42330	111000	91300	19500	CE	19500		
	20/12/2007	19	16	17	1205	335	33472	35514	72000	51400	13400	CE	13400		
	21/12/2007	11	8	9	647	180	17972	21162	59900	40400	11600	CE/PE	26000	0,34	
	21/12/2007	13	10	11	2813	781	78139	76872	104000	83800	18400	PE	83800		
	21/12/2007	15	12	13	2136	593	59333	59459	122800	104200	21300	CE	21300		
	21/12/2007	17	14	15	1246	346	34611	36569	111100	91400	19500	PE	91400		
	21/12/2007	19	16	17	1389	386	38583	40247	72200	51600	13500	CE	13500		

**Quadro 3** – Comparação da radiação solar convertida em iluminância externa (Hopkinson, Petherbridge e Longmore / Alucci) com os dados de iluminância global extraídos do DLN, conforme o tipo de céu ocorrido para cada horário de cada medição de inverno

I n v e r n o	Data	Horário	Radiação		Equação Sugerida por Hopkinson	Equação Sugerida por Alucci	DLN (Sol + Céu)			Tipo de Céu Durante a Medição	Iluminância Externa DLN (Equivalente ao tipo de céu durante a medição)	Correlação (R)	
		Curitiba (Horário Normal)	kJ/m <sup>2</sup> (Dados do INMET)	Equivalente em W/m <sup>2</sup>			CC (Céu Claro)	PE (Parcialmente Encoberto)	CE (Céu Encoberto)			Correlação entre a Radiação Medida pelo INMET e a simulação do DLN	Correlação Média entre a Conversão da Radiação Medida pelo INMET e a simulação do DLN
	28/6/2008	9	802	223	22272	25144	36400	22400	8100	CC	36400	0,94	0,76
	28/6/2008	11	1965	546	54583	55061	67500	49200	13300	CC	67500		
	28/6/2008	13	868	241	24122	26857	72200	53900	14100	CE	14100		
	28/6/2008	15	303	84	8406	12304	49100	32500	10300	CE	10300		
	28/6/2008	17	144	40	4006	8230	8800	5800	2800	CE	2800		
	29/6/2008	9	183	51	5094	9238	36300	22400	8100	CC	36300	0,15	
	29/6/2008	11	1820	506	50556	51332	67500	49300	13300	CC	67500		
	29/6/2008	13	1815	504	50417	51203	72300	54000	14100	CE	14100		
	29/6/2008	15	1644	457	45667	46805	49200	32600	10300	CC	49200		
	9/7/2008	9	384	107	10678	14408	36800	22700	8200	CC	36800	0,91	
	9/7/2008	11	1848	513	51333	52052	68500	50200	13500	CC	68500		
	9/7/2008	13	2296	638	63778	63575	73800	55400	14400	CC	73800		
	9/7/2008	15	1774	493	49278	50149	50900	34100	10600	CC	50900		
	9/7/2008	17	292	81	8117	12037	10000	6400	3100	CC/PE	6550		

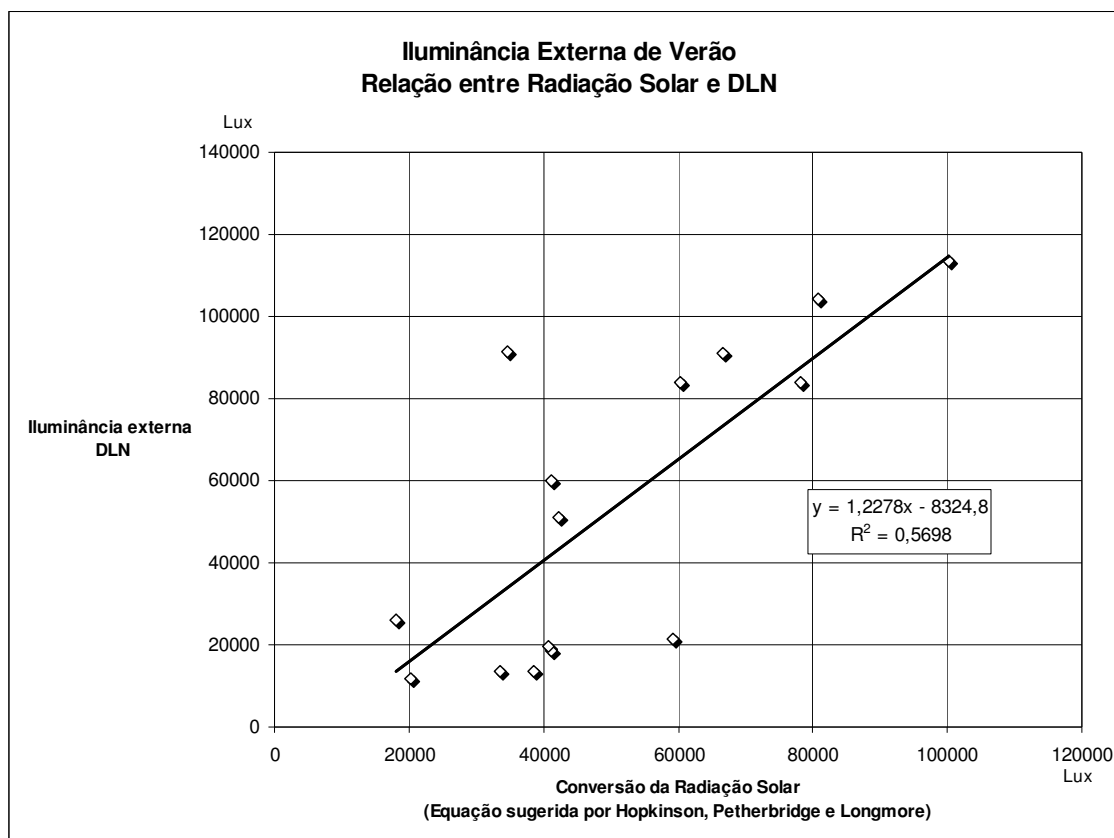
Notas: Em três momentos nas medições ocorreram diferentes tipos de céu para distintas orientações cardeais das salas de aula. São eles:

- 20/12/2007 às 13h – ocorrência de céu parcialmente encoberto (PE) para as salas E101, E301, E107 e E307 e céu claro (CC) para as salas E104 e E304;
- 21/12/2007 às 9h – ocorrência de céu parcialmente encoberto (PE) para as salas E104 e E304 e céu encoberto (CE) para as salas E101, E301, E107 e E307 e
- 9/7/2008 às 17h – ocorrência de céu parcialmente encoberto (PE) para as salas E101, E301, E107 e E307 e céu claro (CC) para as salas E104 e E304.

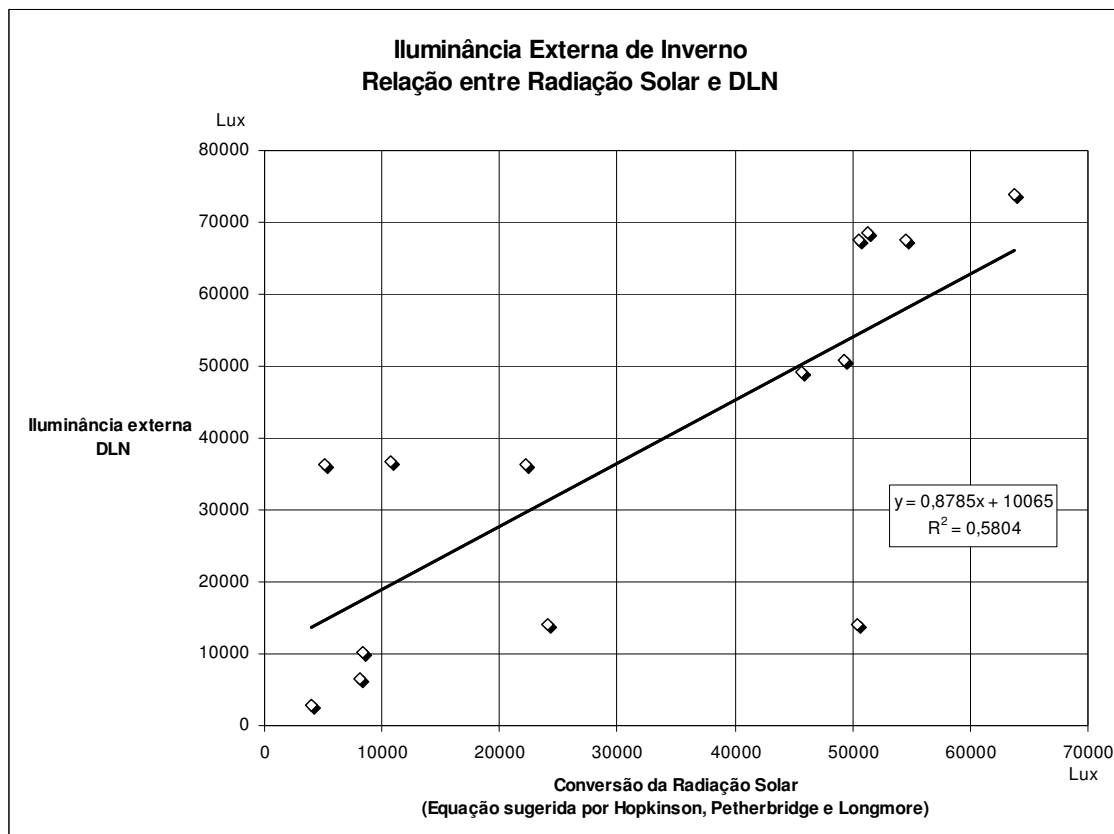
Por este motivo, tomou-se a média dos dados do DLN, em cada um dos três casos, para a simulação da iluminância externa teórica.

Para o dia 29/6/2008 o INMET não disponibilizou os dados de radiação solar para o horário das 17h. Neste horário, durante as medições o céu estava encoberto (CE) e começava a chover.

Os gráficos 10 e 11 representam os diagramas de dispersão da correlação (R) entre os dados reais de radiação solar convertida em iluminância global externa (por meio da equação sugerida por Hopkinson, Petherbridge e Longmore) e os dados preditivos de iluminância global extraídos do software DLN para os três dias de medições com base nos dados dos quadros 2 e 3. A correlação indica a força da relação linear entre duas variáveis. Em cada gráfico está indicada a equação da reta ajustada para as situações de verão e inverno.



**Gráfico 10** – Correlação entre dados reais de radiação solar (convertidos em iluminância) e dados preditivos de iluminância global para as medições de verão



**Gráfico 11** – Correlação entre dados reais de radiação solar (convertidos em iluminância) e dados preditivos de iluminância global para as medições de inverno

As linhas de tendência dos gráficos 10 e 11 sugerem a correspondência que se esperava encontrar, ou seja, uma forte correlação, superior a 70% (correlação média de 0,75 para o verão e correlação média de 0,76 para o inverno)<sup>21</sup>, entre:

- os dados reais de radiação solar, convertidos em iluminâncias por meio dos cálculos sugeridos por Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) e
- os dados de iluminância preditos pelo software DLN.

Tal correspondência demonstra que os valores preditivos extraídos do DLN são seguramente indicados quando necessária a utilização dos dados de iluminância externa em cálculos ou simulações.

As correlações de verão e inverno não foram máximas por três motivos:

- a classificação do céu em cada medição foi estimada de forma qualitativa;
- a possibilidade de diferentes tipos de céu entre localidades próximas;

<sup>21</sup> Média para os três dias de medições de verão e para os três dias de medições de inverno, indicadas nas tabelas x e y.

- a rápida variação da quantidade de nuvens no céu.

Nos quadros 2 e 3 foi possível observar que em três ocasiões das medições ocorreram diferentes tipos de céu para as salas de aula (com distintas orientações cardeais) que estavam sendo avaliadas no mesmo horário. Isto mostra que até mesmo entre localidades muito próximas ocorrem tipos de céu diferentes. Além disto, a rápida variação da quantidade de nuvens no céu durante as medições interferiu nos resultados dos dias 21/12/2007 e 29/06/2008, implicando numa correlação fraca.

Entre os resultados da equação 4, de Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975), e a equação 5, sugerida por Alucci (2002), foi encontrado o coeficiente de correlação 1 (ou 100%), pois ambas são relações lineares calculadas a partir dos mesmos valores de radiação solar. Este fato aponta que qualquer uma das duas equações pode ser empregada quando se intenciona converter dados de radiação solar em dados de iluminância externa. Sugere-se utilizar a equação 4 que propõem a multiplicação da radiação solar em  $W/m^2$  pelo rendimento luminoso da luz natural, 100 lm/W, por sua simplicidade de aplicação.

O passo seguinte, tomado neste procedimento, foi buscar uma média para o FLN de cada sala de aula. Segundo Bertolotti (2007) os valores do FLN médio representam melhor a distribuição da iluminação natural num ambiente interno do que a iluminância média, pois a variabilidade da luz, seja direta ou difusa, é sua característica mais notável (HERTZ, 1998). A própria ABNT (2004) destaca que “conhecendo-se a variação da iluminação natural com o afastamento da janela, percebe-se que um nível médio de iluminação pode não representar adequadamente a iluminância do espaço interno.”

Exemplos de planilhas com os cálculos do FLN médio de cada sala de aula, por horário e por dia de medição, são encontrados no apêndice 2. Já na tabela 18, estão identificados os FLN médios de cada sala para os três dias de medições, tanto de verão como de inverno, bem como a média entre verão e inverno deste fator.

Para que o ponto mais crítico de um ambiente, quanto ao recebimento de luz natural, seja naturalmente iluminado, existe a necessidade da ocorrência de uma quantidade mínima de iluminância externa (considerando-se que adentre o ambiente através de uma abertura). Caso a iluminância externa esteja abaixo deste mínimo, haverá necessidade de iluminar este ponto crítico com a iluminação artificial. O  $E_c$ <sup>22</sup> mínimo representa esta mínima iluminância externa necessária para suprir a iluminância interna indicada, no caso deste

---

<sup>22</sup>  $E_c = (E/FLN) \times 100\%$ .

estudo, pela norma NBR 5413 e pela Regulamentação para Eficiência Energética. O ponto mais crítico, ou menos iluminado, do ambiente é o ponto com o menor FLN.

O  $E_e$  médio representa a iluminância externa necessária para suprir a iluminância interna média indicada na norma e Regulamentação para Eficiência Energética. É calculado a partir do FLN médio do ambiente. O  $E_e$  mínimo e  $E_e$  médio para cada medição são encontrados nas planilhas do apêndice 2.

**Tabela 18** – Médias do FLN de cada sala de aula para as medições de verão e inverno, média geral do FLN para cada sala de aula e iluminâncias externas mínima (ponto crítico) e média

SALAS	VERÃO			INVERNO			MÉDIA		
	E101	E104	E107	E101	E104	E107	E101	E104	E107
FLN médio	5,6%	5,6%	1,9%	5,9%	3,4%	3,8%	5,8%	4,5%	2,8%
FLN mínimo	0,6%	1,1%	0,2%	0,7%	0,8%	0,2%	0,7%	1,0%	0,2%
$E_e$ mínimo (klux)	47,9	19,3	104	45,6	27,6	132,5	46,8	23,4	118,3
$E_e$ médio (klux)	6,3	4,6	15,1	5,7	6,7	16,6	6	5,7	15,9
SALAS	E301	E304	E307	E301	E304	E307	E301	E304	E307
FLN médio	4,7%	5,8%	1,4%	5,1%	4,8%	2,2%	4,9%	5,3%	1,8%
FLN mínimo	0,6%	1,3%	0,3%	0,5%	1,3%	0,2%	0,6%	1,3%	0,2%
$E_e$ mínimo (klux)	50	15,9	76,6	58,2	17,1	147,9	54,1	16,5	112,2
$E_e$ médio (klux)	8,1	4,3	21,7	6,3	4,9	20,3	7,2	4,6	21

Szabo (2002) questiona em sua pesquisa qual o valor mais indicado para o FLN. E cita que autores como Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) sugerem parâmetros de 1 a 2% em áreas onde se desenvolvem tarefas simples e para trabalhos que solicitam acuidade visual o FLN deve ser próximo a 5%. Cita ainda que Vianna e Gonçalves (2007) sugerem um FLN médio de 2% como ideal.



Nassar et al. (2003) dizem ser preferível que os valores de FLN estejam entre 2 e 5% para que a iluminação natural possa ser integrada ao sistema IASPI (Iluminação Artificial Suplementar Permanente).

No apêndice 2, planilhas a e b, observa-se as afirmações de Fontoynt, Tsangrassoulis e Synnefa (2008) quanto ao FLN: que diminui a medida que aumenta a distância à janela; que se apresenta entre 10 e 15% nos pontos próximos à janela e que pode cair entre 0 e 5% para mais de 80% da área do ambiente.

Com o intuito de avaliar as condições de iluminância interna dos ambientes estudados, durante condições climáticas distintas, tomou-se o FLN médio da sala E101 - fator WWR de 0,36 (tabela 6 do item 3.2) e janela voltada para oeste (figura 5) - como modelo para estimar o nível de iluminamento desta sala durante as quatro estações do ano de 2009 (tabela 20 e curvas dos gráficos 12, 13, 14 e 15). Os dados de iluminância externa ( $E_e$ ) foram extraídos do software DLN para o dia típico de cada estação do ano (tabela 19). Na tabela 21, são apresentadas as simulações das condições do nível de iluminamento interno de todas as salas de aula, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009. Cabe aqui ressaltar, que para uma análise aprofundada das relações iluminância interna *versus* iluminância externa, Scarazzato (2008) recomenda os cálculos (FLN médio x  $E_e$ ), cujos resultados estão apresentados nas tabelas 20 e 21, para todos os meses do ano para as três condições de céu (CC, PE e CE).

**Tabela 19** – Dados de iluminância externa ( $E_e$ ) difusa num plano horizontal - considerando-se o horário legal e adotando-se o horário de verão - extraídos do software DLN

Horário	Outono (22/mar/2009)			Inverno (22/jun/2009)			Primavera (23/set/2009)			Verão (22/dez/2009)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	12,5	26	12,3	10,3	17,2	8,2	13	28,1	13,3	12,1	24,4	11,5
11:00	15,1	38,5	18,1	13	28,2	13,3	15,3	39,5	18,6	15,2	39	18,3
13:00	15,5	40,7	19,2	13,3	29,8	14,1	15,4	40,4	19	16,3	45,2	21,3
15:00	13,8	32,1	15,2	11,4	21,5	10,2	13,5	30,6	14,4	15,6	41,4	19,5
17:00	9,7	15	7,2	6,1	5,5	2,7	8,9	12,7	6,1	13,1	28,6	13,5

**Tabela 20** – Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Horário	Sala E101 - FLN médio 5,8%											
	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	725	1507	713	597	997	475	754	1629	771	701	1414	667
11:00	875	2232	1049	754	1635	771	887	2290	1078	881	2261	1061
13:00	898	2359	1113	771	1727	817	893	2342	1101	945	2620	1235
15:00	800	1861	881	661	1246	591	783	1774	835	904	2400	1130
17:00	562	869	417	354	319	157	516	736	354	759	1658	783

**Tabela 21** - Simulação das condições do nível de iluminamento das demais salas de aula, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Horário	Sala E301 - FLN médio 4,9%											
	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	509	1058	501	419	700	334	529	1144	541	492	993	468
11:00	615	1567	737	529	1148	541	623	1608	757	619	1587	745
13:00	631	1657	781	541	1213	574	627	1644	773	663	1840	867
15:00	562	1306	619	464	875	415	549	1245	586	635	1685	794
17:00	395	611	293	248	224	110	362	517	248	533	1164	549

Horário	Sala E104 - FLN médio 4,5%											
	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	561	1168	552	463	773	368	584	1262	597	543	1096	517
11:00	678	1729	813	584	1267	597	687	1774	835	683	1752	822
13:00	696	1828	862	597	1339	633	692	1815	853	732	2030	957
15:00	620	1442	683	512	966	458	606	1374	647	701	1860	876
17:00	436	674	323	274	247	121	400	570	274	588	1285	606

Horário	Sala E304 - FLN médio 5,3%											
	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	583	1212	574	480	802	382	606	1310	620	564	1138	536
11:00	704	1795	844	606	1315	620	713	1842	867	709	1819	853
13:00	723	1898	895	620	1390	658	718	1884	886	760	2108	993
15:00	644	1497	709	532	1003	476	630	1427	672	727	1931	909
17:00	452	699	336	284	256	126	415	592	284	611	1334	630

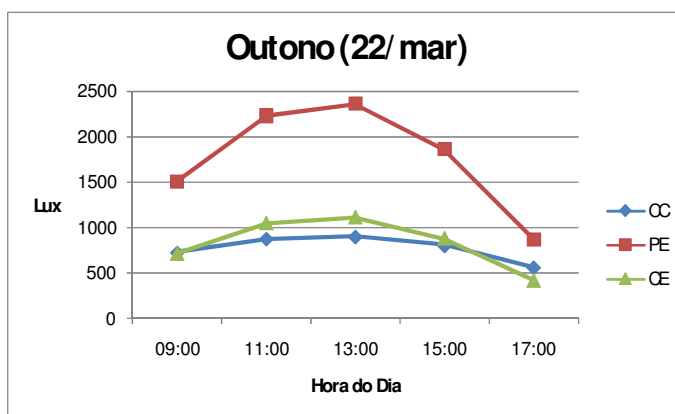
Horário	Sala E107 - FLN médio 2,8%											
	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	353	735	348	291	486	232	368	795	376	342	690	325
11:00	427	1089	512	368	797	376	433	1117	526	430	1103	517
13:00	438	1151	543	376	843	399	435	1142	537	461	1278	602
15:00	390	908	430	322	608	288	382	865	407	441	1171	551
17:00	274	424	204	172	156	76	252	359	172	370	809	382

Horário	Sala E307 - FLN médio 1,8%											
	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	211	439	207	174	290	138	219	474	224	204	412	194
11:00	255	649	305	219	476	224	258	666	314	256	658	309
13:00	261	687	324	224	503	238	260	682	321	275	762	359
15:00	233	542	256	192	363	172	228	516	243	263	698	329
17:00	164	253	121	103	93	46	150	214	103	221	482	228

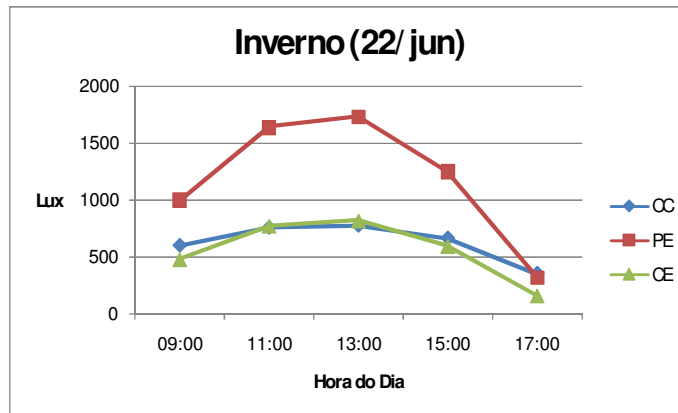
Comparando-se as tabelas 18 e 19, observa-se que não há disponibilidade de iluminância externa (considerando-se o dia típico de cada estação do ano) capaz de suprir a necessidade dos pontos críticos das salas de aula. Mas existe iluminância externa suficiente para suprir a iluminância média de cada ambiente.

Corrobora-se esta afirmação observando-se as curvas dos gráficos 12 a 15 e tomando como base os dados da tabela 19. É possível afirmar a existência de um grande potencial de iluminação natural, que pode ser aproveitado de maneira a diminuir os gastos com o sistema de iluminação artificial dos ambientes estudados.

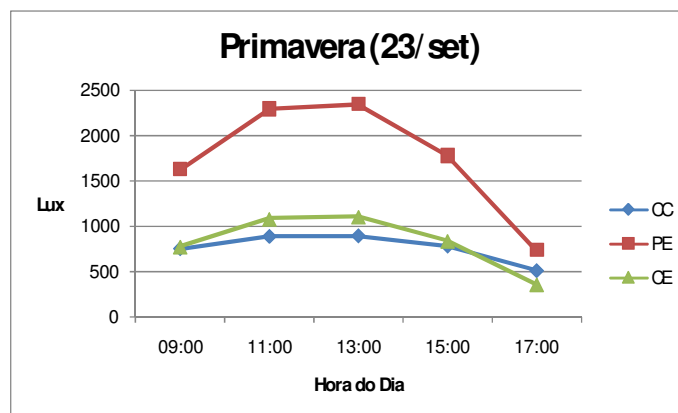
Ao contrário do que muito se imagina, as condições de céu parcialmente encoberto (PE) e encoberto (CE) provêem iluminação natural suficiente para iluminar um ambiente bem projetado (aberturas, obstruções, refletâncias internas, entorno, etc.). Basta analisar a situação da iluminância interna da sala de aula exemplificada na tabela 20. Para um mesmo FLN médio, a luz proveniente do exterior mostra potencial fonte de iluminação, para os três tipos de céu (claro, encoberto e parcialmente encoberto) e para as quatro estações do ano (primavera, verão, outono e inverno). Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) explicam que este fato ocorre porque a luz proveniente da abóbada celeste é refletida pelas nuvens, aumentando de um modo significativo a quantidade de luz de que se pode dispor. Este é o motivo pelo qual o céu claro (CC) – sem que se considere a iluminação solar direta no plano de trabalho – não se apresenta como a melhor situação.



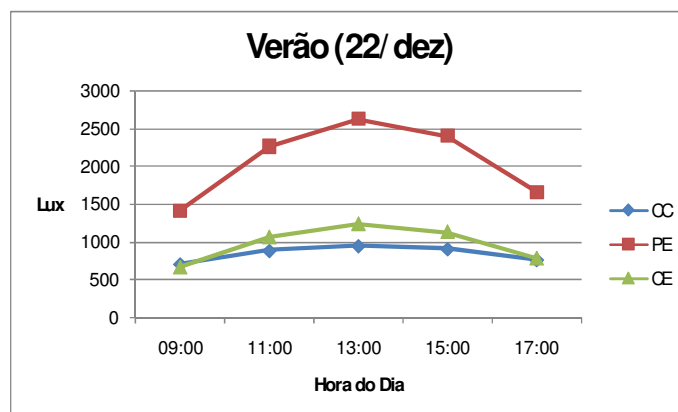
**Gráfico 12** – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de outono



**Gráfico 13** – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de inverno

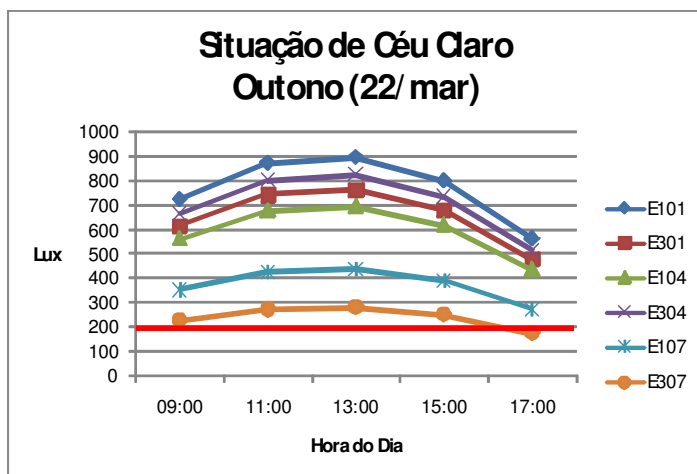


**Gráfico 14** – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de primavera

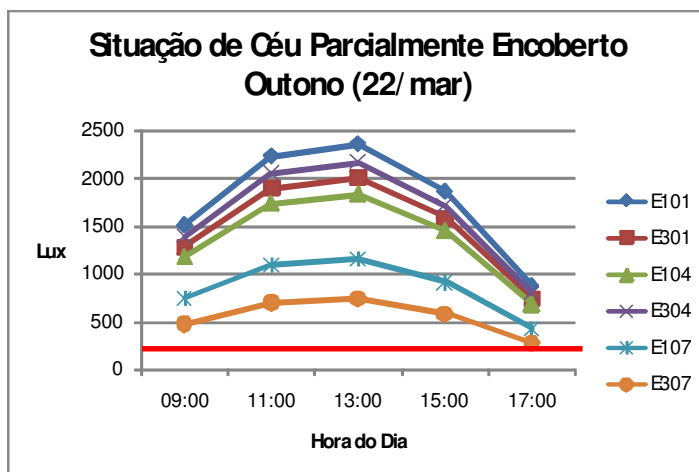


**Gráfico 15** – Dados da simulação das condições do nível de iluminância da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de verão

As curvas (a, b, c,) apresentadas nos gráficos 16, 17, 18 e 19, baseadas nos dados das tabelas 20 e 21, mostram o comportamento das salas de aula ao longo de um dia típico de cada estação do ano para as diversas condições de céu. Além disto, nos gráficos é possível observar quais as salas de aula apresentam o melhor e o pior nível de iluminação interno. A linha vermelha indica o nível mínimo para a iluminância interna dos ambientes estudados<sup>23</sup> exigido pela norma NBR 5413 e pela Regulamentação para Eficiência Energética.

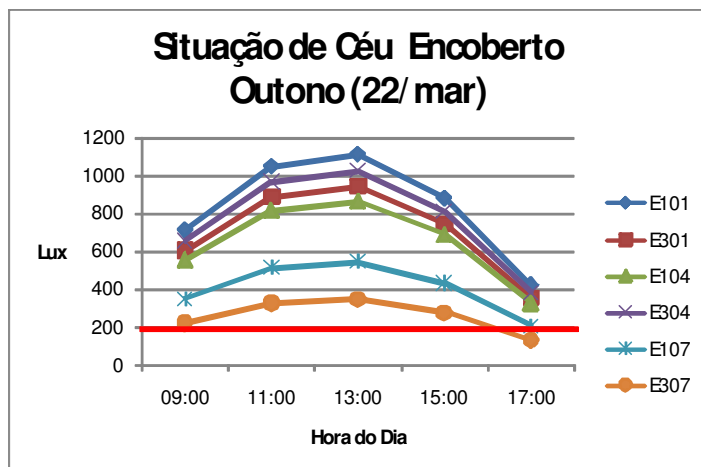


(16a)



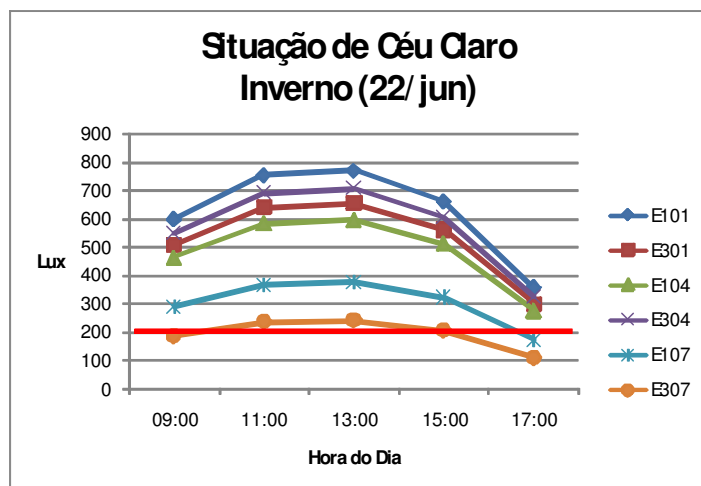
(16b)

<sup>23</sup> O nível mínimo de iluminância interna para a sala E101 é 300 lux. Utilizou-se nos gráficos a iluminância de 200 lux por ser comum às demais salas de aula.

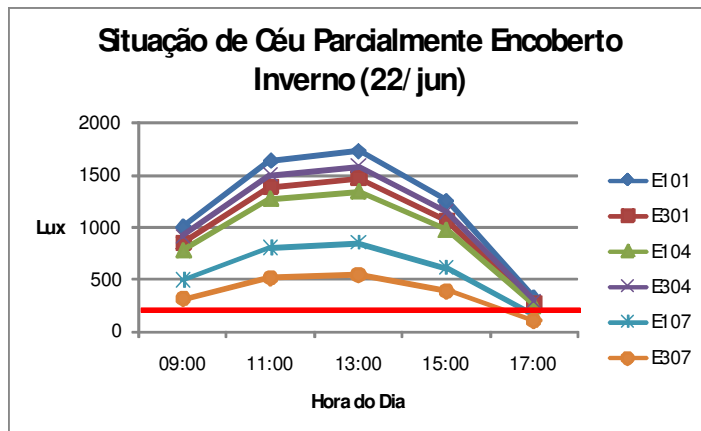


(16c)

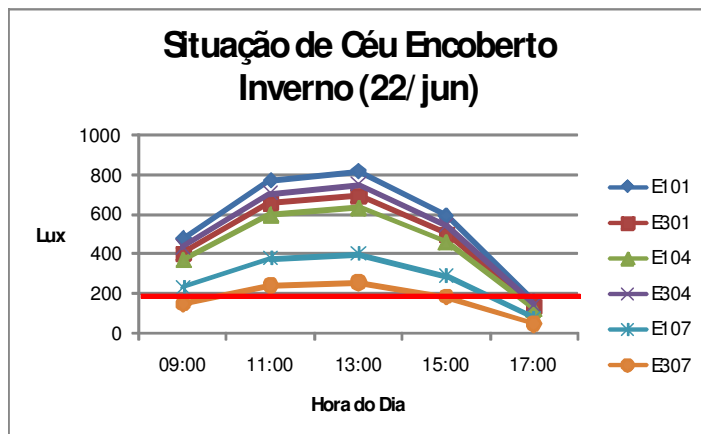
**Gráfico 16** - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de outono, nas três condições de céu (CC, PE e CE).



(17a)

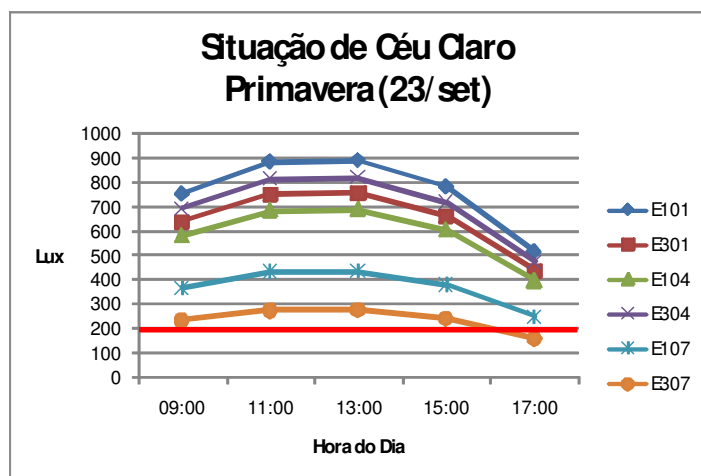


(17b)

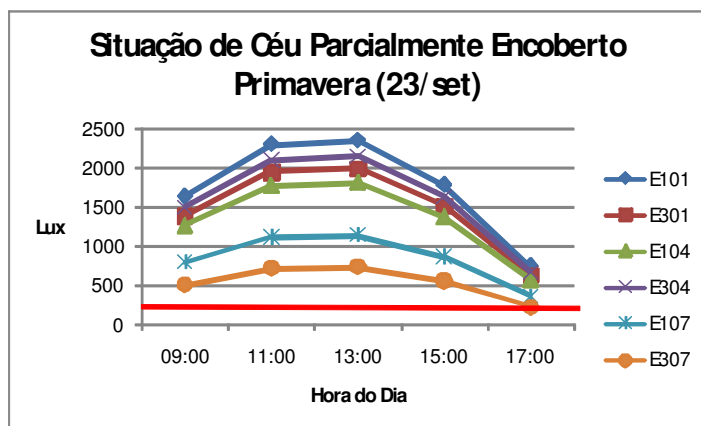


(17c)

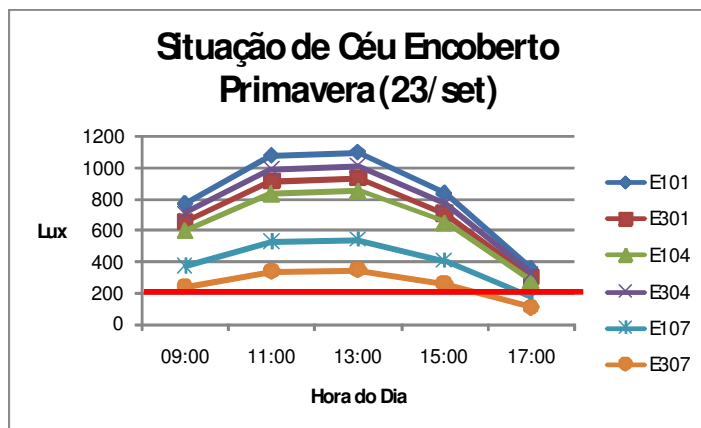
**Gráfico 17** - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de inverno, nas três condições de céu (CC, PE e CE).



(18a)

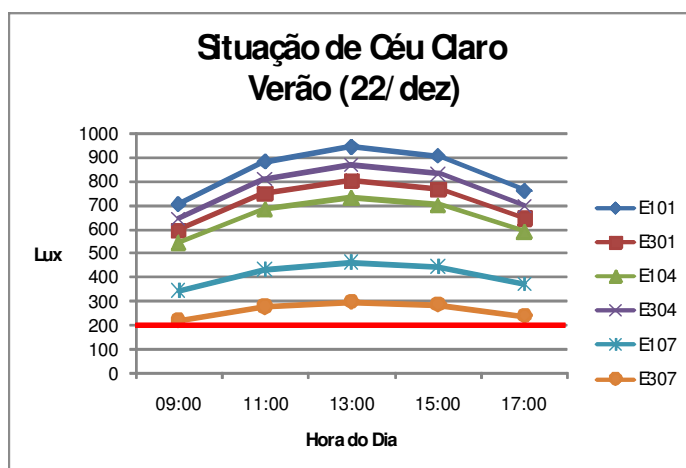


(18b)

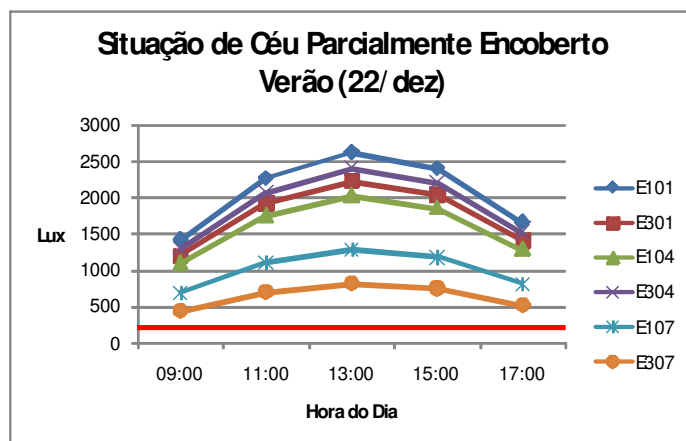


(18c)

**Gráfico 18** - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de primavera, nas três condições de céu (CC, PE e CE).

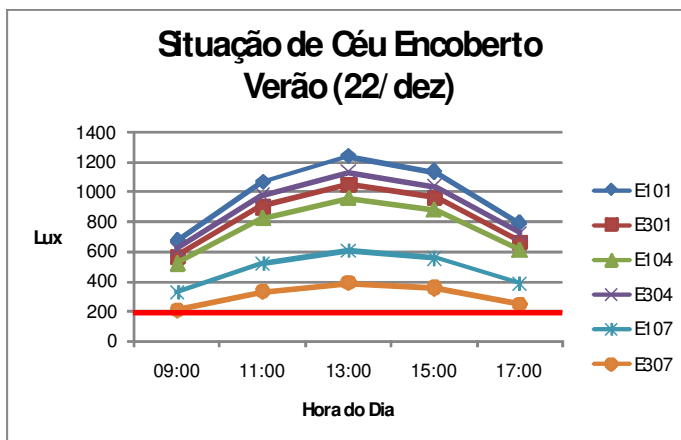


(19a)



(19b)





(19c)

**Gráfico 19** - Simulação das condições do nível de iluminância das salas de aula no ano de 2009, a partir do FLN médio, para o dia típico de verão, nas três condições de céu (CC, PE e CE).

Tanto para a situação de céu claro (CC), como para o céu parcialmente encoberto (PE) ou encoberto (CE) nas quatro estações do ano, a sala de aula E101 (WWR 0,36 e face oeste) apresenta a melhor condição de iluminância interna para a luz do dia. Ao contrário disto, a sala E307 (WWR 0,22 e face leste/oeste) apresenta a pior condição para o aproveitamento da iluminação natural. Porém, se mantém dentro dos limites mínimos de iluminância exigidos pela NBR 5413 e pela Regulamentação para Eficiência Energética – salvo em alguns pontos do ambiente.

Todas as salas de aula mostram um grande potencial de aproveitamento da iluminação natural. A partir das simulações apresentadas nas tabelas 20 e 21, foram avaliadas as condições de iluminância interna das salas de aula quanto ao fato de atender ou não a iluminância mínima exigida. Na tabela 22 são apresentados estes resultados, bem como as características de refletância das superfícies relevantes, fator WWR, obstrução e orientação cardinal. O símbolo (✓) indica a condição da iluminância em atender as exigências da norma e da Regulamentação para Eficiência Energética, enquanto o símbolo (✗) indica condição contrária.

Avaliando-se os gráficos 16, 17, 18 e 19 e as tabelas 20, 21 e 22, observa-se a influência que o fator WWR exerce sobre as condições de iluminamento. As salas de aula com menor índice (E107 e E307) são as que apresentam as mais baixas iluminâncias internas.

A obstrução do entorno influi negativamente sobre a qualidade da iluminância interna dos ambientes.

Outro fator de grande influência na iluminância interna de ambientes é a refletância das superfícies de paredes, teto, piso e mobiliário. Observe-se as salas de aula E107 (WWR 0,22 e face leste/oeste) e E307 (WWR 0,22 e face leste/oeste). Ambas possuem as mesmas dimensões, a mesma orientação cardinal e o mesmo fator WWR. A sala E307 é obstruída (entorno) de forma mais amena que a sala E107. Porém, entre as duas salas de aula, a E307 é que apresenta o pior aproveitamento da iluminação natural. Este fato é devido ao índice de refletância do piso desta sala ser mais baixo (30%) que o índice de refletância da sala E107 (55%).



## 4.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

As medições do nível de iluminamento do sistema de iluminação artificial das salas de aula, objetos deste estudo, foram iniciadas às 21 horas e 30 minutos do dia 18 de janeiro de 2008, e concluídas neste mesmo dia, por volta de 23 horas e 30 minutos.

Foram seguidos os procedimentos da norma NBR 5382 indicados no item 3.4.

No apêndice 3, está exemplificada a planilha de cálculos para a sala E101 e no apêndice 4 estão apresentados todos os resultados pontuais das medições.

As iluminâncias artificiais médias de cada sala de aula podem ser observadas na tabela 23:

**Tabela 23** – Médias das iluminâncias provenientes do sistema de iluminação artificial de cada sala de aula

SALAS	E101	E104	E107	E301	E304	E307
Iluminância Artificial Média (Lux)	421	151	155	289	184	234

Segundo a NBR 5413 e a Regulamentação para Eficiência Energética, as salas de aula E101 (mínimo exigido: 300 lux), E301 e E307 (mínimo exigido: 200 lux) apresentam um nível de iluminância artificial suficiente. Porém, as salas E104, E107 e E304 apresentam nível abaixo do exigido.

## 4.3 SITUAÇÃO DOS AMBIENTES SEGUNDO CRITÉRIOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Durante a pesquisa observou-se as condições das salas de aula quanto ao cumprimento dos pré-requisitos para um sistema de iluminação eficiente exigido pela Regulamentação para Eficiência Energética:

- pré-requisito Divisão dos circuitos - Todas as salas de aula possuem controles independentes para acionamento do sistema de iluminação artificial;

- pré-requisito Contribuição da luz natural - os grupos de luminárias são acionados transversalmente às janelas, não propiciando o aproveitamento da luz natural disponível.
- pré-requisito Desligamento automático do sistema de iluminação – Não pertinente, pois as salas de aula possuem área menor que 250m<sup>2</sup>.

Apesar da condição atual de cada sala atender a um dos pré-requisitos - independente da avaliação de potência instalada - as salas poderiam ser classificadas no máximo com o nível C (vide tabela 24).

**Tabela 24** – Avaliação das salas de aula quanto ao cumprimento dos pré-requisitos da Regulamentação para Eficiência Energética (indicados na tabela 12)

Pré-Requisitos <sup>24</sup>	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos circuitos	✓	✓	✓
Contribuição da luz natural	✗	✗	-
Desligamento automático do sistema de iluminação	NP	-	-

Notas: NP – não pertinente

As salas de aula do bloco E da UTFPR utilizam um dos sistemas de iluminação mais antigos de toda a edificação. É composto por luminárias comerciais Plafonier tipo BB para 4 lâmpadas fluorescentes de 40W (lâmpadas T12). Também podem ser utilizadas lâmpadas fluorescentes de 20W neste sistema (COSTA, 2007).

Considerando-se os dados de quantidades de luminárias, lâmpadas e reatores e dados de potência instalada em iluminação (tabela 7), foram calculados os valores de DPI e DPI<sub>R</sub> para cada sala de aula (tabela 25).

Para encontrar o valor DPI<sub>R</sub> dos ambientes, utilizou-se a equação 9:

$$DPI_R = \frac{W}{\frac{E}{100}} \quad (\text{eq.9})$$

<sup>24</sup> A Contribuição da luz natural não é exigida para classificação C e o Desligamento automático do sistema de iluminação não é exigido para as classificações B e C.

Onde:

$W$  é a potência instalada em iluminação;

$E$  é a iluminância interna média do ambiente (tabela 23).

**Tabela 25** – DPI (Densidade de potência de iluminação) e  $DPI_R$  (Densidade de potência de iluminação relativa) das salas de aula

SALAS	E101	E301	E104	E304	E107	E307
Potência instalada em iluminação (W)	1504	1504	752	752	1128	1128
Área (m <sup>2</sup> )*	77,19	77,19	60,94	60,94	88,32	88,32
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m <sup>2</sup> )	19,49	19,49	12,34	12,34	12,77	12,77
$DPI_R$ - Densidade de potência de iluminação por 100lux (W/m <sup>2</sup> /100lux)	4,63	6,74	8,17	6,71	8,24	5,46

\*Para dados de largura e comprimento vide tabela 6.

Os valores de  $DPI_R$  de cada sala de aula estão acima dos valores de  $DPI_{RL}$  indicados pela Regulamentação para Eficiência Energética (tabela 26) para qualquer um dos níveis de classificação de eficiência energética em iluminação (A, B, C e D).

**Tabela 26** –  $DPI_{RL}$  de cada sala de aula por nível de eficiência sugerido pela Regulamentação para Eficiência Energética

Sala	$DPI/100lux$ (W/m <sup>2</sup> /100lux)			
	(Nível A)	(Nível B)	(Nível C)	(Nível D)
E104 / E304	1,92	2,64	2,89	3,74
E301	1,89	2,57	2,82	3,64
E101	1,87	2,50	2,74	3,52
E107 / E307	1,86	2,48	2,71	3,49

Para efeito de classificação do sistema de iluminação das salas de aula do prédio de engenharia (bloco E), segundo os requisitos da Regulamentação para Eficiência Energética, todas as salas de aula apresentam  $DPI_R$  superior ao nível indicado para a

classificação D. Portanto, os sistemas de iluminação artificial das salas de aula estudadas são classificados como **E (menos eficiente)**.

#### 4.4 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ATUAL E DO USO CONJUGADO DE LUZ NATURAL E ARTIFICIAL POR INTERMÉDIO DO SOFTWARE LUX 2.0

A norma NBR 5413 e a Regulamentação para Eficiência Energética indicam os valores mínimos de iluminância que o sistema de iluminação artificial de cada sala de aula deve oferecer. Com base nestes dados e nos dados de  $DPI_{RL}$  da tabela 26, foram levantados os valores de densidade de potência de iluminação, DPI, para os quatro níveis de classificação de eficiência energética (tabela 27):

**Tabela 27** – Limites DPI indicados pela Regulamentação para Eficiência Energética para cada sala de aula, considerando uma iluminância de 300 lux para a sala E101 (sala de desenho) e de 200 lux para as demais.

Índice de ambiente K	Iluminância NBR 5413 Regulamentação	Sala	DPI (W/m <sup>2</sup> )			
			(Nível A)	(Nível B)	(Nível C)	(Nível D)
1,73	200 lux	E104 / E304	3,84	5,28	5,78	7,48
1,89	200 lux	E301	3,78	5,14	5,64	7,28
2,08	300 lux	E101	5,61	7,5	8,22	10,56
2,14	200 lux	E107 / E307	3,72	4,96	5,42	6,98

Os valores encontrados para DPI a partir dos requisitos da Regulamentação para Eficiência Energética (tabela 27) e os valores reais de DPI (tabela 25) para cada sala foram lançados no software LUX 2.0 com o intuito de levantar o consumo de energia elétrica no período diurno<sup>25</sup> para cada uma das condições:

- condição 1: se cada ponto da sala, através de sensores, tiver a iluminação artificial acionada somente quando a iluminação natural não for suficiente;

<sup>25</sup> A proposta do software é levantar o consumo de energia elétrica necessário para complementar a iluminação natural com a iluminação artificial.

- condição 2: se todo o sistema de iluminação artificial for acionado quando o ponto com menor FLN não atingir a iluminância mínima desejada;
- condição 3: se a iluminação artificial for acionada durante todo o tempo, ignorando-se a iluminação natural.

Os valores de DPI foram arredondados para mais ou para menos, pois o software só aceita a entrada de números inteiros. Por este motivo coincidiram os valores de DPI para a classificação B e C das salas E107 e E307. Os resultados de todas essas considerações podem ser avaliados na tabela 28:

**Tabela 28** – Consumo de energia elétrica real das salas de aula comparado ao consumo de energia elétrica simulado para as classificações A, B, C e D da Regulamentação para Eficiência Energética

<b>Consumo de energia elétrica kWh/ano</b>						
		Potência do sistema de iluminação artificial (W/m <sup>2</sup> )	Nível de Iluminância (lux)	Condição 1 (kWh/ano)	Condição 2 (kWh/ano)	Condição 3 (kWh/ano)
E101	A	6	300	143,63	386,98	1124,93
	B	7		167,57	451,47	1312,42
	C	8		191,51	515,97	1499,9
	D	11		263,32	709,45	2062,37
	Atual	19		454,83	1225,42	3562,27 Ref.
E301	A	4	200	63,36	161,99	749,95
	B	5		79,19	202,49	937,44
	C	6		95,03	242,98	1124,93
	D	7		110,87	283,48	1312,42
	Atual	19		300,94	769,45	3562,27 Ref.
E104	A	4	200	39,26	128,02	592,7
	B	5		49,08	160,03	740,88
	C	6		58,89	192,04	889,06
	D	7		68,71	224,04	1037,23
	Atual	12		117,78	384,07	1778,11 Ref.
E304	A	4	200	39,26	128,02	592,7
	B	5		49,08	160,03	740,88
	C	6		58,89	192,04	889,06
	D	7		68,71	224,04	1037,23
	Atual	12		117,78	384,07	1778,11 Ref.
E107	A	4	200	21,71	33,91	847,87
	B	5		27,13	42,39	1059,84
	C	5		27,13	42,39	1059,84
	D	7		37,98	59,35	1483,78
	Atual	13		70,54	110,22	2755,58 Ref.
E307	A	4	200	29,85	33,91	847,87
	B	5		37,31	42,39	1059,84
	C	5		37,31	42,39	1059,84
	D	7		52,23	59,35	1483,78
	Atual	13		97,00	110,22	2755,58 Ref.

A situação atual para o consumo de energia elétrica se enquadra na condição 3 (iluminação artificial é acionada durante todo o tempo), pois como não há circuitos paralelos à



janela, acaba-se por acender todo o sistema em cada sala de aula ignorando-se a iluminação natural.

Tomou-se, portanto, este quadro (situação atual / condição 3) como situação referencial para os cálculos de economia de energia (indicado no gráfico 20 como Ref.).

Avaliando-se os valores encontrados (tabela 28) para o consumo diurno de energia para iluminação percebe-se um grande potencial de economia entre o consumo atual e o consumo decrescente que se apresenta com a evolução da classificação do ambiente de nível D para nível A.

Dentro do parâmetro da condição 3, comparou-se o potencial de economia de energia entre o consumo indicado pelo valor de referência (Ref.), vide tabela 28, e o consumo para as classificações A, B, C e D. A estimativa do potencial de economia variou de:

- 42% (classificação D) a 68% (classificação A) para a sala E101;
- 63% (classificação D) a 79% (classificação A) para a sala E301;
- 42% (classificação D) a 67% (classificação A) para a sala E104;
- 42% (classificação D) a 67% (classificação A) para a sala E304;
- 46% (classificação D) a 69% (classificação A) para a sala E107;
- 46% (classificação D) a 69% (classificação A) para a sala E307.

O potencial de economia está diretamente ligado às dimensões do ambiente (índice K da equação 8) e à quantidade de iluminância interna necessária. As salas E101 e E301 possuem as mesmas dimensões, portanto o mesmo índice K. Porém, a iluminância interna exigida para a sala E101 (sala de desenho) é maior que para a E301 (sala de aula comum). Da mesma forma, o consumo é maior para a sala E101 que para a sala E301. Por este motivo a porcentagem de economia é diferente para salas dimensionalmente idênticas.

Considerando-se uma mesma área, quanto mais equilibradas as dimensões de um ambiente (ou quanto mais próximo a um quadrado for este ambiente) maior é o índice  $K^{26}$ , e menores serão os limites<sup>27</sup> para  $DPI_R$  e  $DPI$  indicados pela Regulamentação para Eficiência Energética. Se menores estes limites, menor também será o consumo, e como consequência, a economia será maior.

A tabela 29 (onde C é o comprimento e L a largura do ambiente) e o gráfico 20 apresentam a variação do índice K em decorrência da geometria de um ambiente de mesma área.

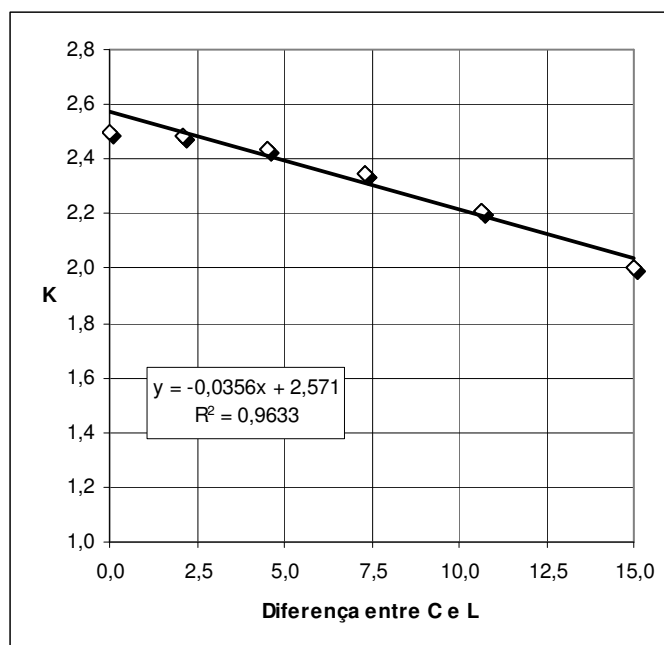
---

<sup>26</sup> Equação 8 da seção 3.5.

<sup>27</sup> Vide tabela 13 da seção 3.5.

**Tabela 29** – Variação do índice K em função da geometria de um ambiente

Área	C	L	K	Diferença entre C e L
100	5	20,0	2,00	15,0
100	6	16,7	2,21	10,7
100	7	14,3	2,35	7,3
100	8	12,5	2,44	4,5
100	9	11,1	2,49	2,1
100	10	10,0	2,50	0,0
100	11,1	9,0	2,49	2,1
100	12,5	8,0	2,44	4,5
100	14,3	7,0	2,35	7,3
100	16,7	6,0	2,21	10,7
100	20,0	5,0	2,00	15,0

**Gráfico 20** – Variação do índice K em função da geometria de um ambiente

Se fossem comparados a classificação A do parâmetro condição 1 (a iluminação artificial é acionada, através de sensores, apenas nos pontos onde a iluminação natural não for suficiente) com o valor de referência para cada sala de aula a economia no consumo diurno de energia poderia variar de 95% (sala E307) a 99% (sala E107).

A comparação entre o consumo diurno de energia elétrica real das salas de aula e o consumo diurno de energia elétrica simulado para as classificações A, B, C e D da Regulamentação para Eficiência Energética pode ser melhor compreendido observando-se o gráfico 21.

A condição 2 (todo o sistema de iluminação artificial é acionado quando o ponto com menor FLN não atingir a iluminância mínima desejada) é atualmente a mais viável para a instituição UTFPR, pois não seria necessária a instalação de sensores (exigência da condição 1).

Por intermédio do software LUX 2.0 é possível avaliar o consumo noturno de energia elétrica. Basta considerar apenas os dados de saída da condição 3 (que não considera a iluminação natural) no número de horas desejada. A tabela 30 considera o uso integrado da iluminação natural e artificial para a situação atual. A tabela 31 considera o consumo de energia elétrica para a classificação A do uso conjugado da iluminação natural e artificial, considerando-se um período integral.

**Tabela 30** - Consumo de energia das salas de aula para o uso conjugado de iluminação natural e artificial (situação atual)

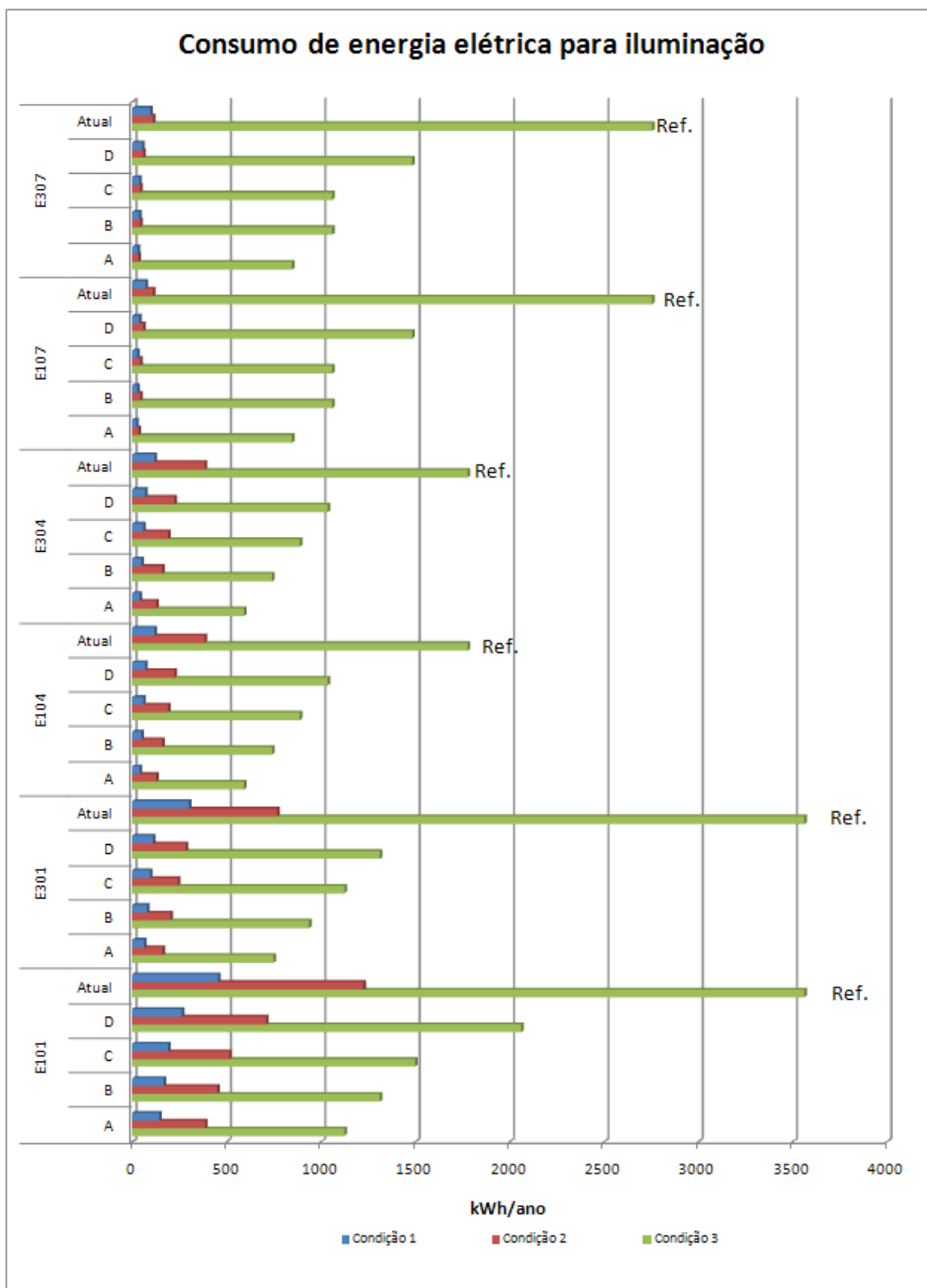
	E101	E301	E104	E304	E107	E307
<b>Iluminação Artificial + Natural situação atual (kWh/ano)</b>	5343	5343	2667	2667	4133	4133

**Tabela 31** – Consumo de energia das salas de aula para o uso conjugado de iluminação natural e artificial (classificação A)

	E101	E301	E104	E304	E107	E307
<b>Iluminação Artificial + Natural classificação A (kWh/ano)</b>	949	537	424	424	458	458

A comparação entre o valor de referência e o consumo conjugado da iluminação artificial e natural para a condição 2 num período integral (classificação A) apresenta um potencial de economia de energia de:

- 82% para a sala E101;
- 90% para a sala E301;
- 84% para as salas E104 e E304;
- 89% para as salas E107 e E307.



**Gráfico 21** - Consumo de energia elétrica real das salas de aula comparado ao consumo de energia elétrica simulado para as classificações A, B, C e D da Regulamentação para Eficiência Energética

## 4.5 PROJETO LUMINOTÉCNICO

Todos os cálculos e análises apresentados nos itens anteriores (4.3 e 4.4) mostram o potencial de economia em energia elétrica para a iluminação artificial das salas de aula estudadas.

Um novo projeto que respeite as exigências da Regulamentação para Eficiência Energética em:

- acionar separadamente um circuito com luminárias paralelas à janela, visando ao aproveitamento da iluminação natural e
- diminuir a  $DPI_R$  do sistema de cada sala de aula para atendimento do nível A de eficiência,

pode transformar todo o potencial de economia em economia real, sem que com isto a qualidade da iluminação interna seja prejudicada.

Nesta última etapa da pesquisa, utilizou-se o software Lumisoft para dimensionar um novo sistema de iluminação artificial. Dentre as luminárias indicadas pelo fabricante para o uso em salas de aula e apropriadas para o uso da lâmpada T5, foram selecionadas para simulação as luminárias de melhor rendimento. Foi escolhida por fim a que apresentou melhor resposta de iluminâncias.

O sistema de iluminação foi composto por: luminárias de sobrepor FAA02-S228 do fabricante LUMICENTER (figura 24), para duas lâmpadas fluorescentes T5 (TL5-28W-HE/840) de 28W, eficiência luminosa de 104 lm/W, vida útil de 24.000h e reator eletrônico de partida rápida (ED28A16TL5), 127V, para duas lâmpadas de 28W, cuja potência total é de 64W (perdas de 8W). Ambos da PHILIPS (SPOT, 2007).

As luminárias têm corpo em chapa de aço fosfatizada, perfis laterais em alumínio extrudado e tampa em chapa galvanizada perfurada, pintados eletrostaticamente. Recuperador, refletor e aletas parabólicas em alumínio MIRO de altíssimo índice de reflexão (processo a vácuo), resultando num rendimento de 77%. As dimensões são: 240 mm de largura, 41 mm de altura e 1190 mm de comprimento (LUMICENTER, 2009).



**Figura 24** – Luminária FAA02-S228  
**FONTE: LUMICENTER (2009)**

Os detalhes dos projetos luminotécnicos gerados pelo software Lumisoft para cada sala de aula estão disponíveis no apêndice 5.

Na tabela 32 encontram-se os dados de quantidades de luminárias e iluminância média dos ambientes coletados dos projetos. A partir destes dados foram calculadas as novas potências instaladas nas salas de aula, bem como o novo  $DPI_R$ .

Comparando-se os dados de densidade de potência em iluminação relativa ( $DPI_R$ ) do novo projeto com os dados exigidos pela Regulamentação para Eficiência Energética, é possível classificar as salas de aula com o nível A de eficiência energética em iluminação.

**Tabela 32** – Novo  $DPI_R$  e nova classificação de eficiência energética a partir de dados extraídos do novo projeto luminotécnico

	Quantidade de luminárias	Iluminância média calculada (lux)	Potência instalada (W)	Área da sala de aula ( $m^2$ )	$DPI_R$ ( $W/m^2/100lux$ )	Classificação segundo a Regulamentação
E101	6	339,56	384	77,19	1,47	A
E301	4	226,25	256	77,19	1,47	A
E104	4	280,82	256	60,94	1,50	A
E304	4	280,82	256	60,94	1,50	A
E107	4	233,23	256	88,32	1,24	A
E307	6	297,65	384	88,32	1,46	A

#### 4.6 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PELO MÉTODO DO *PAYBACK*

Para esta análise foram levantados os custos diretos: materiais, luminárias e lâmpadas eficientes, mudança de circuito elétrico (fiação, interruptores, conduites, além dos materiais de acabamento) e o custo de mão de obra.

De acordo com o fabricante da luminária escolhida para o estudo, ela possui vida útil maior que o período padrão escolhido para o projeto: 5 anos. Isto é, a exceção de produtos defeituosos, elas podem funcionar de forma eficiente por até 6 anos. Como o uso em salas de aula incorre em vários acendimentos, para a troca de lâmpadas, segundo informações do fabricante, foi considerada a substituição a cada quatro anos.

Foram consideradas duas situações para efeito do cálculo financeiro do consumo:

- a situação atual (tabela 30), com a utilização dos atuais sistemas de iluminação e circuitos elétricos disponíveis, além dos padrões de consumo e gastos com energia elétrica para iluminação;
- a situação de nível A de eficiência energética (tabela 31).

Foi utilizada uma tarifa média para o consumo de energia, levando-se em consideração as tarifas para os períodos de ponta seca e úmida e fora de ponta seca e úmida, cujos dados estão registrados no Extrato de Faturamento da COPEL, expedido em abril de 2009 com vencimento em maio de 2009. O valor da tarifa média de consumo (kWh) calculada foi de R\$0,21. O Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M) da Fundação Getúlio Vargas é o índice empregado no cálculo do reajuste anual das tarifas de energia elétrica. E a expectativa de mercado para o IGP-M em 2010 está em 4,5% ao ano. Portanto, foi considerado este índice para o reajuste anual da tarifa para o consumo de energia, já que a meta para a inflação no Brasil é de 4,5% ao ano  $\pm$  2 p.p. para os anos de 2009, 2010 e 2011 (BACEN, 2009).

Como premissa básica na elaboração do fluxo de caixa foi considerada a taxa Selic (Sistema Especial de Liquidação e Custódia) de 10,1% (BACEN, 2009) para o custo de capital.

A estrutura do fluxo de caixa consiste:

- no levantamento de custos para substituição de luminárias e lâmpadas obsoletas por eficientes e levantamento de custos para mudança de circuito;



- na análise do consumo da situação atual e o consumo eficiente (classificação A) que leva em conta o uso conjugado da iluminação natural e artificial.

A partir das economias geradas foi possível elaborar o fluxo de caixa livre, donde é possível calcular o *payback*. O fluxo de caixa livre é o fluxo de caixa líquido do projeto após os ajustes dos gastos que não envolvam depreciação, amortização, entre outros, ou seja, que não envolvam saída de caixa (LEMONS JUNIOR; RIGO; CHEROBIM; 2005).

As informações do fluxo de caixa para cada sala de aula analisada estão dispostas no Apêndice 6. O quadro 4 apresenta um resumo de todos os fluxos de caixa e *paybacks*.

	<b>Investimentos</b>	<b>Fluxo de caixa livre</b> (final de 5 anos)	<b>Payback</b>
<b>S</b> E101	(R\$ 1.787)	1.844,26	2 anos e 3 meses
<b>a</b> E301	(R\$ 1.251)	2.786,21	1 ano e 5 meses
<b>l</b> E104	(R\$ 1.201)	628,25	3 anos
<b>a</b> E304	(R\$ 1.201)	628,25	3 anos
<b>s</b> E107	(R\$ 1.251)	548,96	3 anos e 3 meses
<b>s</b> E307	(R\$ 1.787)	1.224,86	2 anos e 8 meses
<b>Total</b>	<b>(R\$ 8.478)</b>	<b>7.660,77</b>	

**Quadro 4** – Resumo dos dados de investimentos, fluxos de caixa e *paybacks* referentes ao projeto luminotécnico eficiente para as salas de aula da UTFPR.

Todos os ambientes apresentaram fluxos de caixa positivos para o período padrão de 5 anos. Isto significa que a relação investimento x custo benefício é positiva em todos os casos. Todos os gastos com alterações em circuitos e material se pagam antes do quarto ano, quando da previsão para substituição das lâmpadas. O *payback* da sala E-301 é o mais rápido, haja vista que o fluxo de caixa livre do segundo ano cobre todo o investimento realizado e ainda sobram recursos que podem ser aplicados em outras ações de eficiência energética. Estes resultados atenderam as expectativas, quando comparados aos de empresas vinculadas ao Programa Europeu *Greenlight*<sup>28</sup>, cuja finalidade é promover o uso eficiente da energia elétrica sem comprometer o conforto de seus usuários. A título de comparação, ações em empresas de grande porte apresentaram *paybacks* de 1,5 a 6 anos dependendo do projeto.

<sup>28</sup> Vide item 2.2.

---

## 5 Considerações Finais

O estudo trouxe um breve panorama da crescente demanda mundial por energia elétrica e a importância do uso da eficiência energética. Pois além de viabilizar a redução do lançamento de CO<sub>2</sub> na atmosfera e conter o uso abusivo dos recursos naturais, o emprego eficiente da energia é capaz de contribuir para a prosperidade de uma nação, visto que conservar energia custa menos que produzi-la.

Mostrou-se que o consumo destinado à iluminação chega a patamares superiores a 20% em vários países do mundo, inclusive no Brasil, onde edificações públicas sem condicionamento de ar comprometem 70% de suas despesas com energia elétrica para iluminação.

Mas, apesar do cenário crítico de desperdício de energia, revelou-se um grande potencial de economia de energia elétrica a ser considerado. Foram descritas algumas ações, sob forma de programas, que estão sendo tomadas por diversos países, em prol da eficiência energética. São programas que contemplam de maneira primordial o aproveitamento da iluminação natural (enquanto disponível) e a utilização de tecnologias apropriadas para a conservação e eficiência energética.

Foi apresentada a nova regulamentação brasileira que está sendo desenvolvida pelo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) em conjunto com o LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da Universidade Federal de Santa Catarina: Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Ela apresenta os requisitos técnicos necessários para a classificação do nível de eficiência energética de edifícios, sejam eles comerciais, de serviços ou públicos. Além da classificação das edificações, esta Regulamentação para Eficiência Energética dita as condições mínimas para alavancar o sistema de iluminação de um edifício a patamares eficientes quanto ao uso da energia elétrica.

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado. Consistia em apresentar contribuições para uma metodologia de adequação de um edifício público de ensino, já existente, às exigências da Regulamentação para Eficiência Energética.

Partiu-se do pressuposto que seria necessário avaliar as condições de iluminação dos ambientes de ensino tomados como amostras antes do início das medições e simulações e

principalmente, antes de qualquer sugestão de mudanças para o sistema de iluminação. Para tanto, ao longo do desenvolvimento do estudo, percebeu-se a importância da avaliação detalhada de todas as características dimensionais e físicas das salas de aula, incluindo dimensões de caixilhos de janelas, fatores WWR e de obstrução, potência instalada, quantidade de luminárias e interruptores, cor das superfícies construtivas e de mobiliário, etc.

A avaliação dos ambientes quanto à iluminação natural correu de acordo com a norma apropriada (NBR15215-4), porém optou-se por realizá-la em três dias ao invés de apenas um dia, como recomendado. Esta opção foi acertiva, pois apesar das variações do céu, caracterizou cada sala de aula por meio da média do Fator de Luz Natural (FLN). Os resultados encontrados para a iluminância interna proveniente da luz natural foram surpreendentes ao se apresentarem, em média, superiores ao nível mínimo de iluminância exigido pela Regulamentação para Eficiência Energética para salas de aula. Inclusive nas salas de aula voltadas para o sul ou em salas com pequenas aberturas (fator WWR), tanto no verão como no inverno.

O software DLN apresentou forte correlação quando comparadas as estimativas de iluminância externa com os dados reais de radiação solar disponibilizados pelo INMET. Mostrou-se coerente, mais prático e econômico (se considerada a necessidade de compra de equipamento apropriado para medição) para a avaliação da iluminância externa. Além destas vantagens, o software permite simular, a partir do FLN médio do ambiente, as suas condições internas de iluminância para qualquer dia do ano.

Quanto ao sistema de iluminação artificial das salas de aula, a iluminância interna média foi avaliada com base na norma NBR 5382 e se mostra adequada apenas para três das salas. As demais apresentam iluminância abaixo do limite mínimo. A principal característica do sistema atual é a ineficiência energética, pois os ambientes estudados apresentam uma DPI superior ao máximo sugerido pela Regulamentação para Eficiência Energética. Outra deficiência do sistema está relacionada ao acendimento das luminárias. Atualmente as fileiras de todas as salas são acesas individualmente, porém transversalmente à janela, impedindo desta maneira, o aproveitamento da iluminação natural proveniente da abóbada celeste. Diante de todas essas considerações, as salas de aula atingem a classificação E (menos eficiente) segundo a Regulamentação para Eficiência Energética.

Para levantar o consumo de energia elétrica das salas, a fim de comparar dados de consumo de energia elétrica, antes e depois da aplicação dos conceitos da Regulamentação para Eficiência Energética foi escolhido o software LUX 2.0. Além de estimar o consumo atual, evitando a necessidade da medição com aparelhos apropriados, permite a simulação dos

---

consumos eficientes (classificação A, B, C e D da Regulamentação) antes de qualquer *retrofit*. Para uma condição de uso integrado da iluminação natural e artificial (sendo que o acendimento do sistema de iluminação ocorre quando o ponto de menor FLN não atingir a iluminância mínima desejada) classificada como A (mais eficiente) pode-se atingir economias de consumo de energia em torno de 82% a 90%.

Durante o desenvolvimento da pesquisa não existia a pretensão de resposta ao questionamento de Nassar et al. (2003) indicado no item 3.6: a luz do dia pode ser integrada com a luz elétrica de maneira eficaz? Porém esta resposta surgiu como consequência da metodologia aplicada e da análise dos resultados deste estudo. Afirma-se, portanto, que sim, é possível integrar de maneira eficaz a luz do dia e a luz elétrica.

Sugeriu-se a utilização do software Lumisoft para a elaboração de um projeto luminotécnico. Foi escolhida uma luminária compatível com a utilização de lâmpadas eficientes T5 de 28W e após simulação foi encontrada uma DPI adequada à Regulamentação para Eficiência Energética para todas as salas de aula. Foi considerado o acionamento individual de um circuito com luminárias paralelas à janela, visando ao aproveitamento da iluminação natural. Mediante estas ações, o projeto mostrou ser possível mudar o quadro de ineficiência energética das salas de aula, pois as direcionou para o nível A de eficiência em iluminação.

Com base na análise pelo *payback* o projeto foi considerado economicamente viável, com retornos de investimentos entre 1 ano e 5 meses a 3 anos e 3 meses. Estes períodos estão condizentes com os prazos verificados em organizações públicas e privadas européias que possuem programas de eficiência energética vinculados ao Programa Europeu *GreenLight*.

Com a implantação do projeto, ao final de 5 anos a UTFPR teria quase R\$7.700,00 em caixa, disponíveis para outras aplicações, como por exemplo, pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias em produtos eficientes. Caso o projeto fosse estendido para as demais salas de aula do bloco E (total de 24 salas de aula), este valor poderia ser quatro vezes maior, em torno de R\$31.000,00.

Desta maneira, demonstrou-se que ações de conservação e efficientização poderão contribuir para o melhor aproveitamento dos recursos do Estado, proporcionando maior conforto para os usuários da edificação estudada e, principalmente, exercendo menor pressão sobre o meio ambiente, com a diminuição do desperdício.

## 5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Como uma seqüência natural deste trabalho, sugere-se selecionar uma das salas de aula para medições do consumo de energia real da iluminação, por intermédio de equipamento específico; promover um *retrofit* no sistema de iluminação artificial e realizar novamente as medições de consumo de energia. Por fim, comparar com o software Lux 2.0 e analisar a correlação entre os resultados. Além da intervenção no sistema de iluminação artificial, seria adequada a avaliação dos impactos da substituição das cortinas escuras por cortinas de cor bege claro, muito usadas nos departamentos administrativos da UTFPR.

Um estudo interessante seria a avaliação psicológica e pedagógica do comportamento e rendimento dos alunos antes e após o *retrofit*.

Outra sugestão para futuras pesquisas, seria o estudo do comportamento da iluminação natural durante dias chuvosos ou propensos a chuva. O dia 29 de junho de 2008, apesar de apresentar céu claro (CC) durante a maioria dos momentos de medição da iluminação natural (vide quadro 3 no item 4.1.2), foi marcado por muitas variações de nuvens no céu com chuvas esparsas entre estes horários. Acredita-se que este tenha sido um importante fator para justificar a fraca correlação ocorrida entre radiação solar e dados do DLN.

Por fim, sugere-se avaliar os resultados em eficiência energética e a viabilidade econômica que traria a utilização da tecnologia de iluminação a LED, uma grande promessa do mercado de iluminação.

## Referências

- ABILUX - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. **Uso racional de energia elétrica nas edificações: iluminação**. São Paulo: ABILUX, 1992.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382 – Verificação de iluminância de interiores** – Procedimento. ABNT: Rio de Janeiro, 1985.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413 - Iluminância de interiores** – Procedimento. ABNT: Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461 – Iluminação**. ABNT: Rio de Janeiro, 1991.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3 – Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos**. ABNT: Rio de Janeiro, 2004a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4 – Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações** – Método de medição. ABNT: Rio de Janeiro, 2004b.
- ALUCCI, M. P. Eficiência da iluminação natural: procedimento de cálculo/software lux 1.0. In: NUTAU' 2002 - Sustentabilidade, Arquitetura, Desenho Urbano. **Anais...** São Paulo: NUTAU/USP, 2002. (CD-ROM).
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ed. Brasília: ANEEL, 2008.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 1993.
- BACEN – BANCO CENTRAL DO BRASIL. Disponível em: <<http://www.cia.gov>>. Acesso em: 15 mai. 2009.
- BANDALA, A. I. Importance of the Mexican lighting systems in commerce and service. **Right Light Three, Proceedings of the 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting**. Newcastle-on-Tyne, England, v. 1, p. 163-170, 1995.
- BANWELL, P. A demonstrtion of energy-efficient lighting in residential new construction. **Lighting Research Technology**. v. 36,2, p. 147-164, 2004.
- BERTOLDI, P. The Potential Market for Energy Efficiency Services in the EU. **Right Light 4. Proceedings**. Copenhagen, Denmark, 1997.
- BERTOLOTTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia**. 162p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2007.

BODRICK, J. R.; PETROW, E. D.; SCHOLAND, M. J. Lighting energy consumption trends and conservation opportunities in U.S. buildings. **Right Light 5. Proceedings**. Nice, France, 2002.

BOER, J.B.; FISCHER, D. **Interior lighting**. Deventer: Kluwer Technische Boeken, 1978.

BONALI, N. **A história da iluminação artificial**. São Paulo: AD, 2001.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. **Development of envelope efficiency labels for commercial buildings**: Effect of different variables on electricity consumption. *Energy and Buildings*, v.40 p.2002-2008, Elsevier B.V., 2008.

CIA - CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. **O Relatório da CIA**: Como será o mundo em 2020. Tradução: Cláudio Blanc e Marly Netto. São Paulo: Ediouro, 2006.

CIA - CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. Disponível em: <<http://www.cia.gov>>. Acesso em: 21 mar. 2009.

CHAVES NETO, A. **Técnicas estatísticas aplicadas à engenharia da qualidade**: notas de aula. Curitiba: UFPR, 2006.

CHEN, H.; LI, D.; SHAO, Z.; CHAN, K.T. Daylighting and lighting saving analysis of office buildings in North China. **Proceedings: Building Simulation**, 2007.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de eficiência energética na indústria**. Curitiba: Copel, 2005.

COSTA, A. S. **Eficiência energética em iluminação de ambientes em uma instituição pública de ensino**. 154p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2007.

COSTA, J. C. **Iluminação Econômica**: Cálculo e Avaliação. 3.ed. rev. e amp. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2005.

DOE - DEPARTMENT OF ENERGY. **National Best Practices Manual for Building High Performance Schools**. Washington, DC: jul. 2002. Disponível em: <<http://eric.ed.gov/>> Acesso em 18 mai. 2006.

ECEEE - EUROPEAN COUNCIL FOR AN ENERGY EFFICIENT ECONOMY. Disponível em: <<http://www.eceee.org>>. Acesso em: 20 nov. 2007.

ELETRORÁS CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS; FUPAI/EFFICIENTIA. **Guia Técnico Gestão Energética**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

ELETRORÁS. **PROCEL**. Disponível em: <<http://www.eletroras.gov.br>>. Acesso em: 16 out. 2008.

ENERGY STAR. Disponível em: <<http://www.energystar.gov>>. Acesso em: 16 jan. 2008.

EPA: United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 10 abr. 2009.

EUROPEAN COMMISSION. **Daylight in Buildings**. Directorate-General for Energy (DGXVII). Dublin: Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin, 1994.

FONTOYNT, M.; TSANGRASSOULIS, A.; SYNNEFA, A.. **SynthLight Handbook**: Chapter 2 Daylighting. Revision: 22 April 2004. Disponível em: <<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/synthlight/index.html>>. Acesso em: 2 out 2008.

GANSLANDT, R.; HOFMANN, H. **Handbook of Lighting Design**. Disponível em: <<http://www.erco.com>>. Acesso em: 27 out 2007.

GELLER, H. S. **Revolução Energética**: Políticas para um futuro sustentável. Rio de Janeiro: Relume Dumará-USAid, 2003.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação**: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997. 246p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 1997.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Influência das características reflexivas da luminária e da refletância das paredes na potência instalada em sistemas de iluminação**. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Qualidade no Processo Construtivo. 27 a 30 de abril de 1998. Florianópolis – SC.

GHISI, E.; TINKER, J. A. Influência Potencial de economia de energia em iluminação através da utilização de fibras ópticas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 61-77, jul./set. 2004.

GRAZIANO JUNIOR, S. F. C. G. **Racionalização de energia**: Iluminação natural na arquitetura. Disponível em: <<http://www.luz.philips.com>>. Acesso em: 11 mai. 2006.

GREENBUILDING: Improved Energy Efficiency for Non-Residential Buildings. Disponível em: <<http://www.eu-greenbuilding.org>>. Acesso em: 19 nov. 2007.

GREENBUILDING: Improved Energy Efficiency for Non-Residential Buildings. Disponível em: <<http://www.eu-greenbuilding.org>>. Acesso em: 6 mai. 2009.

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em arquitetura**: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira, c1998.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

IDMP - INTERNATIONAL DAYLIGHT MEASUREMENT PROGRAMME. **The IDPM Network**. Disponível em: <<http://idmp.entpe.fr/>>. Acesso em: 29 set. 2008.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Statistics Manual**. Paris: OECD/IEA, 2005.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2006**. Paris: OECD/IEA, 2006.



- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Disponível em: <<http://www.iea.org/index.asp>>. Acesso em: 21 nov. 2007.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Disponível em: <<http://www.iea.org/index.asp>>. Acesso em: 8 abr. 2009.
- IESNA - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **The IESNA Lighting Handbook**: Reference and Application. 9th edition. New York: IESNA, 2000.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Monitoramento das estações automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acesso em: 10 jul. 2008.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15469:2004 – Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky**. ISO, 2004.
- JANUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos**: Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis. São Paulo: Editora Autores Associados, 1997.
- LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Software Luz do Sol versão 1.1 – Junho/1995**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/luzDoSol.html>>. Acesso em: 2 jul. 2008.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 188 p
- LAMBERTS, R. et al. **Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrabras/reg.etiquetagem.voluntaria.html>>. Acesso em: 4 jul. 2007.
- LBNL - LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **Tips for daylighting**: with windows. <<http://btech.lbl.gov/pub/designguide>>. Acesso em: 13 nov. 2007.
- LEMES JUNIOR, A. B.; RIGO, C. M.; CHEROBIN, A. P. M. S. **Administração financeira**: Princípios, Fundamentos e Práticas Brasileiras. 2.ed. São Paulo: Campus, 2005.
- LEONELLI, P. A. Efficient Lighting in Brazil. **Right Light Three. Proceedings of the 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting**. Newcastle-on-Tyne, England, 1995.
- LESLIE, R.P. et al. The potential of simplified concepts for daylight harvesting. **Lighting Research Technologies**: 37, 1, p.21-40, 2005.
- LI, D. H. W.; LAM, J. C. An analysis of lighting energy savings and switching frequency for a daylight corridor under various indoor design illuminance levels. Elsevier: **Applied Energy**, 76. p.363-378, 2003.
- LITTLEFAIR, P.J. The luminous efficacy of daylight: A review. **Lighting Research and Technology**:17, 1985.

---

LUMICENTER ENGENHARIA DE ILUMINAÇÃO. **Software Lumisoft**. Disponível em: <<http://www.lumicenter.com.br>>. Acesso em: 30 jul. 2008.

LUMICENTER ENGENHARIA DE ILUMINAÇÃO. **Informações Técnicas**. Disponível em: <<http://www.lumicenter.com.br>>. Acesso em: 23 abr. 2009.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto Editora, 1985. 213 p.

MILLS, E. Why we're here: The \$230-billion global lighting energy bill. **Right Light 5. Proceedings**. Nice, France, 2002.

MIN, G. F.; MILLS, E.; ZHANG, Q. Energy-Efficient Lighting in China: Problems and Prospects. **Right Light Three. Proceedings of the 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting**. Newcastle-on-Tyne, England, 1995.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030: Seminários Temáticos e Projeções do Consumo Final de Energia**. Brasília: EPE, 2006.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos:** (Apresentação). Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/reg.etiquetagem.voluntaria.html>>. Acesso em: 26 sep. 2007a.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2007: Ano base 2006**. Rio de Janeiro: EPE, 2007b.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos:** Versão aprovada em agosto de 2008 pelo GT-Edificações do CGIEE. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/reg.etiquetagem.voluntaria.html>>. Acesso em: 21 set. 2008a.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2008: Ano base 2007**. Rio de Janeiro: EPE, 2008b.

MOREIRA, V. A. **Iluminação elétrica**. São Paulo: Edgar Blücher, 2006.

MOURA, N. **Iluminação Natural: Método de cálculo ABNT**. Disciplina dos Profs. Anésia Barros Frota e Paulo Sergio Scarazzato (USP). Disponível em: <[http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq\\_urbanismo/disciplinas/aut0262/index.html](http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/index.html)>. Acesso em: 13 nov. 2007.

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

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Disponível em: <<http://www.osram.com.br>>. Acesso em: 29 mai. 2007.

PEREIRA, I. M.; SOUZA, R. V. G. Proteção solar em edificações residenciais e comerciais – Desenvolvimento de metodologia. In: **XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Fortaleza - CE, 7 a 10 out 2008.

PHILLIPS, D. **Daylighting: natural light in architecture**. Oxford: Elsevier, 2004.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos e Comerciais**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1988.

REBELATTO, D. **Projeto de investimento**. São Paulo: Manole, 2004.

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb. In: Ninth International IBPSA Conference. **Building Simulation 2005**: Montreal, Canadá, 15-18 ago. 2005.

RODRIGUES, P. **Manual de iluminação eficiente**: PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 1.ed., 2002.

SCARAZZATO, P. S. **O Conceito de Dia Típico de Projeto Aplicado à Iluminação Natural**: Dados referenciais para localidades brasileiras. 2v. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1995.

SCARAZZATO, P. S. Software DLN. **Revista Lume n. 10**. São Paulo: De Maio Comunicação e Editora, 2004.

SCARAZZATO, P. S. **Dúvidas esclarecidas via correio eletrônico**, 2008.

SILVA, M. L. **Luz, lâmpadas e iluminação**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.

SOUZA, R. V. G.; PEREIRA, F. O. R. Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 79-94, jul./set. 2004.

SPOT – Serviço Philips de Orientação Técnica. **Informação fornecida via telefone: 08009791925**, 2008.

SPOT – Serviço Philips de Orientação Técnica. **Guia Prático Philips Iluminação: Lâmpadas, Reatores, LEDs e Luminárias**. Philips, 2007

SZABO, L. P. Verificação do fator de luz do dia em edifícios de escritórios da cidade de São Paulo. In: NUTAU' 2002 - Sustentabilidade, Arquitetura, Desenho Urbano. **Anais...** São Paulo: NUTAU/USP, 2002. (CD-ROM).

THE EUROPEAN GREENLIGHT PROGRAMME: An initiative promoted by the European Commission. Disponível em: <<http://www.eu-greenlight.org>>. Acesso em: 20 nov. 2007.

TO, D. W. T. et al. Potential energy saving for a slide-lit room using daylight-linked fluorescent lamp installations. **Lighting Research Technologies**: 34, 2, p.121-133, 2002.

TOLEDO, L. M. A.; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C. E. Influência de Características Arquitetônicas no Consumo de Energia Elétrica de Edifícios de Escritórios de Florianópolis. **In: III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído.** Gramado – RS, 4 a 7 jul 1995.

T'SERCLAES, P. **Financing Energy Efficient Homes:** Existing policy responses to financial barriers. Paris: OECD/IEA, 2007.

UTFPR – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em: <<http://www.ct.utfpr.edu.br>>. Acesso em: 18 out. 2007.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura.** 3.ed. São Paulo: Geros s/c Ltda., 2007.

## Consultas

GONZALO, G. E. Revista Lume Arquitetura - edição nº19: **Estudo realizado para salas de aula em Tucumán.** Disponível em: <<http://www.lumearquitetura.com.br>>. Acesso em 18 mai. 2006.

HOPKINSON, R. G.; COLLINS, J. B.. **The ergonomics of lighting.** London: MacDonald Technical and Scientific, 1970.

IIDA, I. **Ergonomia:** projeto e produção. 2. ed., rev. e ampl. São Paulo: E. Blücher, 2005.

NISKIER, J.; MACINTYRE, A. J. **Instalações elétricas.** 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

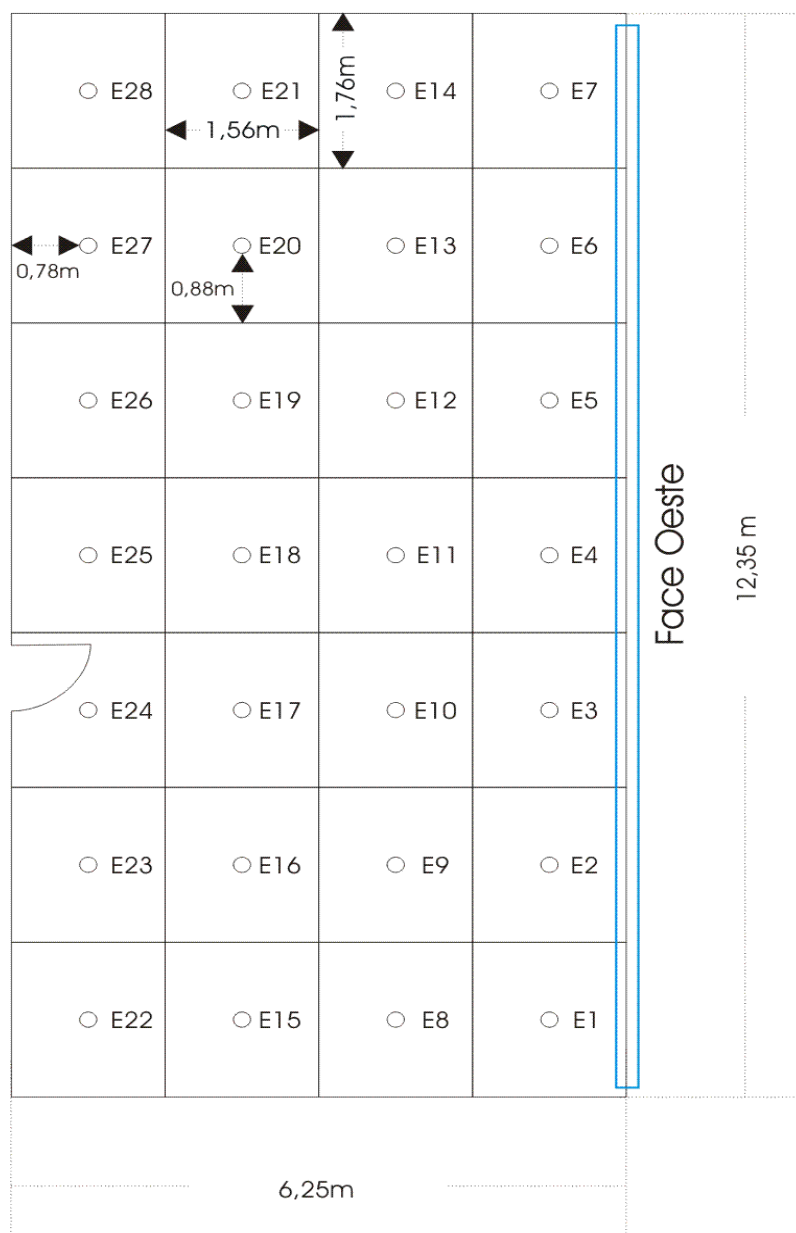
SKYLIGHTING GUIDELINES. Disponível em: <<http://www.energydesignresources.com/Resources/Publications/DesignGuidelines.aspx>>. Acesso em: 7 jan. 2008.

SMIT, L. **Iluminação.** Rio de Janeiro: Biblioteca Técnica Philips, 1964.

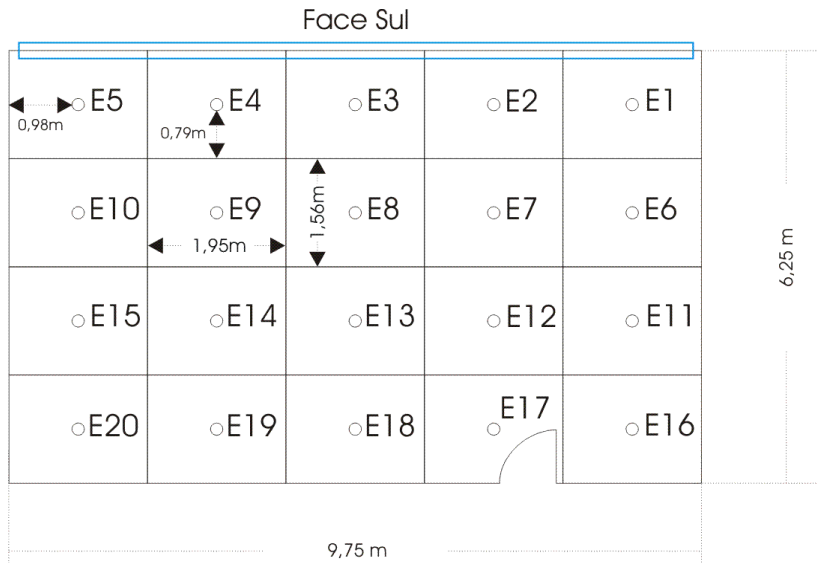
# Apêndices

# Apêndice 1

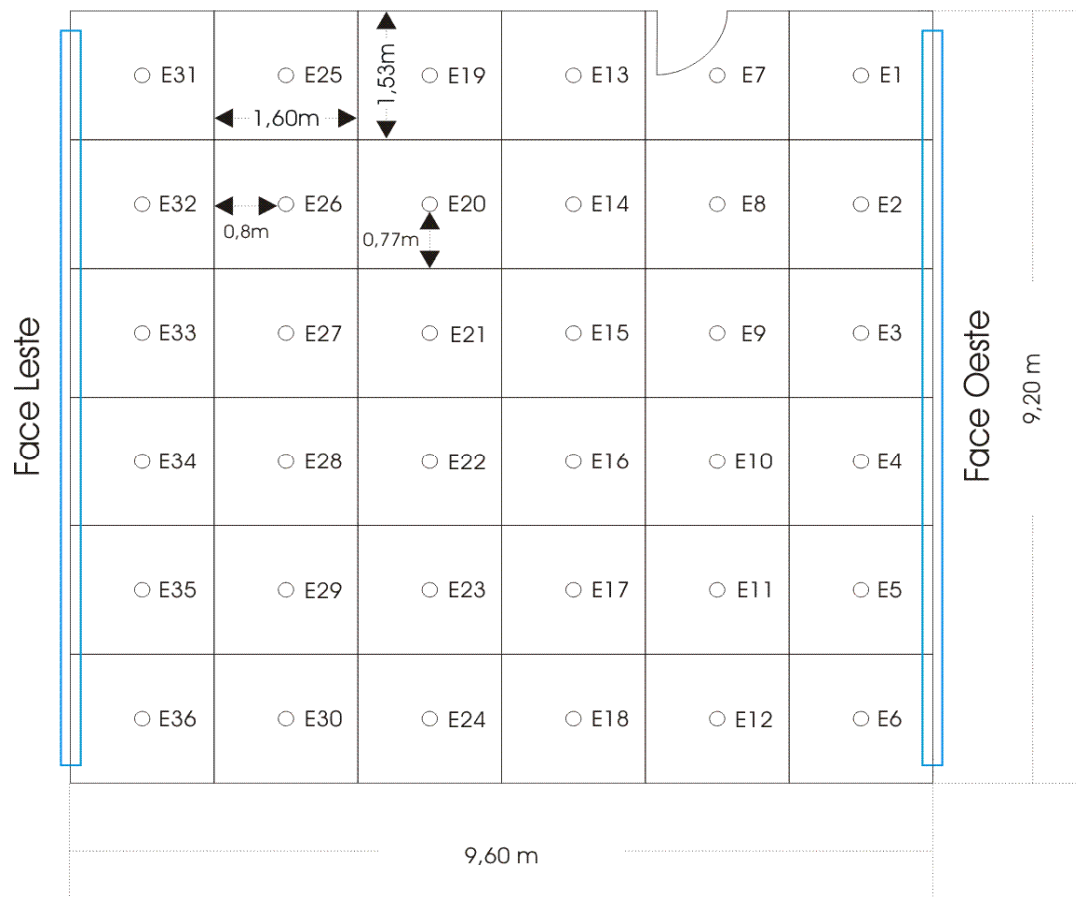
## DISTRIBUIÇÃO DA MALHA DE PONTOS PARA A MEDIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL DAS SALAS DE AULA.



a) Pontos para a medição da iluminação natural das salas E101 e E301



**b) Pontos para a medição da iluminação natural das salas E104 e E304**



**c) Pontos para a medição da iluminação natural das salas E107 e E307**

## Apêndice 2 - Planilha A

### PLANILHA DE DADOS DA MEDIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL (SALA E101 - VERÃO)

FLN para cada ponto medido

luminância mínima exigida pela NBR5413 e Regulamentação	Sala E101	FLN - Céu Encoberto (CE)	Sala E101	FLN - Céu Encoberto (CE)	Sala E101	FLN - Céu Parcialmente Encoberto (PE)	Sala E101	FLN - Céu Parcialmente Encoberto (PE)	Sala E101	FLN - Céu Parcialmente Encoberto (PE)	
300 lux	18/12/2007	DLN (lux)	18/12/2007	DLN (lux)	18/12/2007	DLN (lux)	18/12/2007	DLN (lux)	18/12/2007	DLN (lux)	
Pontos Medidos	08:50	11700	10:50	18400	12:50	45200	14:50	41300	16:40	28300	
E1	1462	12,5%	2130	11,6%	3380	7,5%	2960	7,2%	4080	14,4%	
E2	1433	12,2%	2350	12,8%	4420	9,8%	3090	7,5%	3900	13,8%	
E3	1141	9,8%	1970	10,7%	3890	8,6%	3370	8,2%	3240	11,4%	
E4	1180	10,1%	1718	9,3%	3880	8,6%	3080	7,5%	2560	9,0%	
E5	1655	14,1%	2720	14,8%	4680	10,4%	3640	8,8%	4050	14,3%	
E6	1614	13,8%	2760	15,0%	4600	10,2%	3720	9,0%	3900	13,8%	
E7	1671	14,3%	3390	18,4%	4120	9,1%	3840	9,3%	3700	13,1%	
E8	615	5,3%	1435	7,8%	1850	4,1%	1680	4,1%	1620	5,7%	
E9	812	6,9%	1800	9,8%	2450	5,4%	2240	5,4%	2550	9,0%	
E10	623	5,3%	1549	8,4%	2230	4,9%	1695	4,1%	1900	6,7%	
E11	685	5,9%	1505	8,2%	2250	5,0%	1730	4,2%	1830	6,5%	
E12	742	6,3%	1735	9,4%	2580	5,7%	2270	5,5%	2140	7,6%	
E13	727	6,2%	1854	10,1%	2210	4,9%	2150	5,2%	1520	5,4%	
E14	730	6,2%	1750	9,5%	2090	4,6%	2070	5,0%	1375	4,9%	
E15	215	1,8%	413	2,2%	472	1,0%	492	1,2%	530	1,9%	
E16	296	2,5%	780	4,2%	1083	2,4%	858	2,1%	869	3,1%	
E17	318	2,7%	825	4,5%	1152	2,5%	863	2,1%	861	3,0%	
E18	335	2,9%	845	4,6%	1220	2,7%	848	2,1%	811	2,9%	
E19	325	2,8%	850	4,6%	1219	2,7%	910	2,2%	850	3,0%	
E20	351	3,0%	880	4,8%	1294	2,9%	958	2,3%	884	3,1%	
E21	402	3,4%	950	5,2%	1035	2,3%	980	2,4%	890	3,1%	
E22	122	1,0%	333	1,8%	511	1,1%	296	0,7%	245	0,9%	
E23	186	1,6%	496	2,7%	712	1,6%	460	1,1%	353	1,2%	
E24	181	1,5%	482	2,6%	692	1,5%	423	1,0%	391	1,4%	
E25	195	1,7%	545	3,0%	763	1,7%	457	1,1%	432	1,5%	
E26	219	1,9%	602	3,3%	887	2,0%	544	1,3%	497	1,8%	
E27	217	1,9%	591	3,2%	552	1,2%	532	1,3%	492	1,7%	
E28	218	1,9%	545	3,0%	543	1,2%	510	1,2%	481	1,7%	
											Emin 122
											Emax 4680
											MEDIA
FLN médio		5,7%		7,3%		4,5%		4,0%		5,9%	5,5%
FLN mínimo		1,0%		1,8%		1,0%		0,7%		0,9%	0,7%
Ee mínimo		28770		16577		28729		41858		34653	41858
Ee médio		5264		4089		6689		7434		5063	5708
Desvio-padrão ( $\sigma$ ) FLN		0,04		0,04		0,03		0,03		0,05	0,04
Cv FLN		0,77		0,61		0,69		0,71		0,78	0,71
E médio		667		1350		2027		1667		1677	1478
Desvio-padrão ( $\sigma$ ) E		512		823		1403		1181		1310	1046
Cv E		0,77		0,61		0,69		0,71		0,78	0,71



## Planilha B

## PLANILHA DE DADOS DA MEDIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL (SALA E101 - INVERNO)

luminância mínima exigida pela NBR5413 e Regulamentação	Sala E101	FLN - Céu Claro (CC)	Sala E101	FLN - Céu Claro (CC)	Sala E101	FLN - Céu Claro (CC)	Sala E101	FLN - Céu Claro (CC)	Sala E101	FLN - Parcialmente Encoberto (PE)	
	300 lux	DLN (lux)	DLN (lux)	DLN (lux)	DLN (lux)	DLN (lux)	DLN (lux)	DLN (lux)	DLN (lux)	DLN (lux)	
Pontos Medidos	9/7/2008 09:02	10300	9/7/2008 11:30	13100	9/7/2008 13:18	13500	9/7/2008 15:05	11600	9/7/2008 17:07	6400	
E1	1039	10,1%	960	7,3%	1033	7,7%	1664	14,3%	439	6,9%	
E2	768	7,5%	838	6,4%	1028	7,6%	2060	17,8%	367	5,7%	
E3	1042	10,1%	650	5,0%	1142	8,5%	1730	14,9%	385	6,0%	
E4	790	7,7%	643	4,9%	916	6,8%	1890	16,3%	308	4,8%	
E5	1452	14,1%	515	3,9%	1543	11,4%	2860	24,7%	596	9,3%	
E6	1395	13,5%	622	4,7%	1704	12,6%	3340	28,8%	621	9,7%	
E7	612	5,9%	700	5,3%	1081	8,0%	3570	30,8%	363	5,7%	
E8	496	4,8%	540	4,1%	635	4,7%	841	7,3%	212	3,3%	
E9	486	4,7%	428	3,3%	816	6,0%	1044	9,0%	273	4,3%	
E10	774	7,5%	604	4,6%	847	6,3%	1096	9,4%	282	4,4%	
E11	666	6,5%	360	2,7%	690	5,1%	895	7,7%	319	5,0%	
E12	831	8,1%	690	5,3%	930	6,9%	1333	11,5%	325	5,1%	
E13	854	8,3%	728	5,6%	1043	7,7%	1768	15,2%	470	7,3%	
E14	659	6,4%	612	4,7%	796	5,9%	1650	14,2%	376	5,9%	
E15	241	2,3%	350	2,7%	413	3,1%	458	3,9%	104	1,6%	
E16	335	3,3%	477	3,6%	562	4,2%	618	5,3%	144	2,3%	
E17	386	3,7%	490	3,7%	605	4,5%	696	6,0%	181	2,8%	
E18	384	3,7%	575	4,4%	631	4,7%	816	7,0%	165	2,6%	
E19	430	4,2%	539	4,1%	607	4,5%	825	7,1%	201	3,1%	
E20	447	4,3%	590	4,5%	601	4,5%	901	7,8%	231	3,6%	
E21	372	3,6%	464	3,5%	541	4,0%	855	7,4%	222	3,5%	
E22	175	1,7%	348	2,7%	345	2,6%	338	2,9%	49	0,8%	
E23	272	2,6%	475	3,6%	360	2,7%	431	3,7%	65	1,0%	
E24	275	2,7%	504	3,8%	429	3,2%	472	4,1%	92	1,4%	
E25	281	2,7%	525	4,0%	435	3,2%	560	4,8%	98	1,5%	
E26	338	3,3%	515	3,9%	483	3,6%	619	5,3%	138	2,2%	
E27	325	3,2%	448	3,4%	416	3,1%	635	5,5%	141	2,2%	
E28	303	2,9%	456	3,5%	401	3,0%	591	5,1%	149	2,3%	
											Emin 49
											Emax 3570
											MÉDIA
FLN médio		5,7%		4,3%		5,6%		10,6%		4,1%	6,0%
FLN mínimo		1,7%		2,7%		2,6%		2,9%		0,8%	0,8%
Ee mínimo		17657		11293		11739		10296		39184	39184
Ee médio		5267		7033		5392		2820		7348	5572
Desvio-padrão ( $\sigma$ ) FLN		0,03		0,01		0,03		0,07		0,02	0,03
Cv FLN		0,58		0,25		0,46		0,70		0,58	0,51
E médio		587		559		751		1234		261	678
Desvio-padrão ( $\sigma$ ) E		339		141		346		869		152	369
Cv E		0,58		0,25		0,46		0,70		0,58	0,51

## Apêndice 3

### EXEMPLO DO CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL - SALA E101

r1	627	R	461
r2	508		
r3	410		
r4	366		
r5	543		
r6	380		
r7	443		
r8	410		
q1	362	Q	429
q2	397		
q3	446		
q4	512		
t1	278	T	381
t2	312		
t3	511		
t4	423		
p1	250	P	317
p2	383		

M	2
N	4

$$\frac{R(N-1)(M-1) + Q(N-1) + T(M-1) + P}{NM}$$

$$\frac{461(4-1)(2-1) + 429(4-1) + 381(2-1) + 317}{4 \cdot 2} \quad \boxed{421}$$

Lux

Onde:

M é o número de luminárias por fila;

N é o número de luminárias.

## Apêndice 4

### RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA AS DEMAIS SALAS DE AULA

E104			
r1	270	R	193,75
r2	122		
r3	235	Q	148,5
r4	148		
q1	168	T	143,5
q2	139		
q3	152	P	118
q4	135		
t1	186	M	2
t2	98		
t3	190	N	2
t4	100		
p1	114		
p2	122		

E301			
r1	375	R	341,375
r2	350		
r3	300	Q	272
r4	320		
r5	360	T	223,25
r6	371		
r7	333	P	247,5
r8	322		
q1	240	M	2
q2	258		
q3	275	N	4
q4	315		
t1	301		
t2	229		
t3	163		
t4	200		
p1	205		
p2	290		

E307			
r1	341	R	228,25
r2	171		
r3	166	Q	255
r4	171		
r5	405	T	245,25
r6	214		
r7	160	P	192
r8	198		
q1	169	M	2
q2	332		
q3	169	N	3
q4	350		
t1	257		
t2	260		
t3	205		
t4	259		
p1	188		
p2	196		

E107			
r1	324	R	216,875
r2	252		
r3	134	Q	145
r4	180		
r5	262	T	121,25
r6	215		
r7	180	P	86,5
r8	188		
q1	144	M	2
q2	186		
q3	150	N	3
q4	100		
t1	103		
t2	156		
t3	104		
t4	122		
p1	76		
p2	97		

E304			
r1	329	R	254,75
r2	200		
r3	311	Q	149,25
r4	179		
q1	146	T	201,75
q2	139		
q3	148	P	131
q4	164		
t1	285	M	2
t2	161		
t3	228	N	2
t4	133		
p1	138		
p2	124		

## Apêndice 5

### CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

#### **Ambiente: sala E101**

Largura do ambiente: ..... 6,25 m

Comprimento do ambiente: ..... 12,35 m

Altura do ambiente: ..... 2,95 m

Altura de instalação das luminárias: ..... 2,95 m

Plano de trabalho considerado: ..... 0,95 m

Índice de reflexão: Teto: ..... 70,0%

Parede: ..... 70,0%

Chão: ..... 30,0%

Fator de perda: ..... 0,85

Fluxo utilizado no cálculo: ..... 5.800 lúmens/luminária.

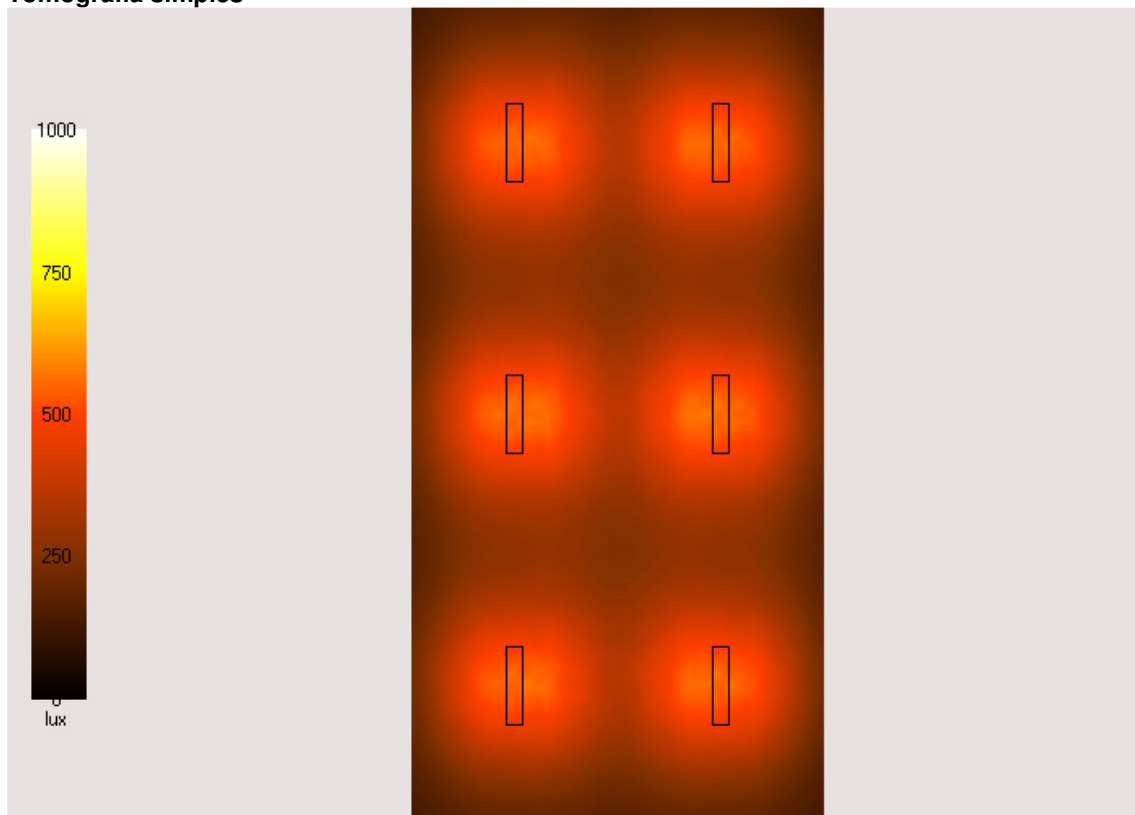
---

**Modelo da luminária: .... FAA02-S228**

**Quantidade: 6 luminárias.**

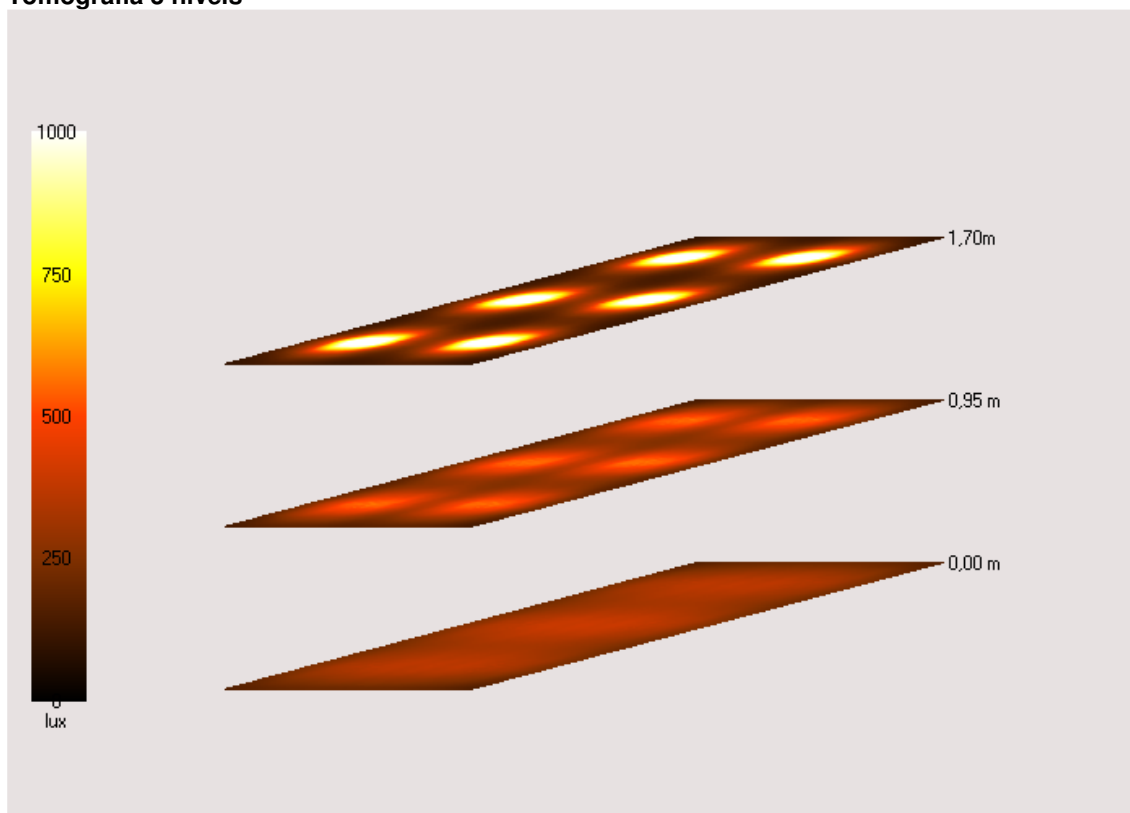
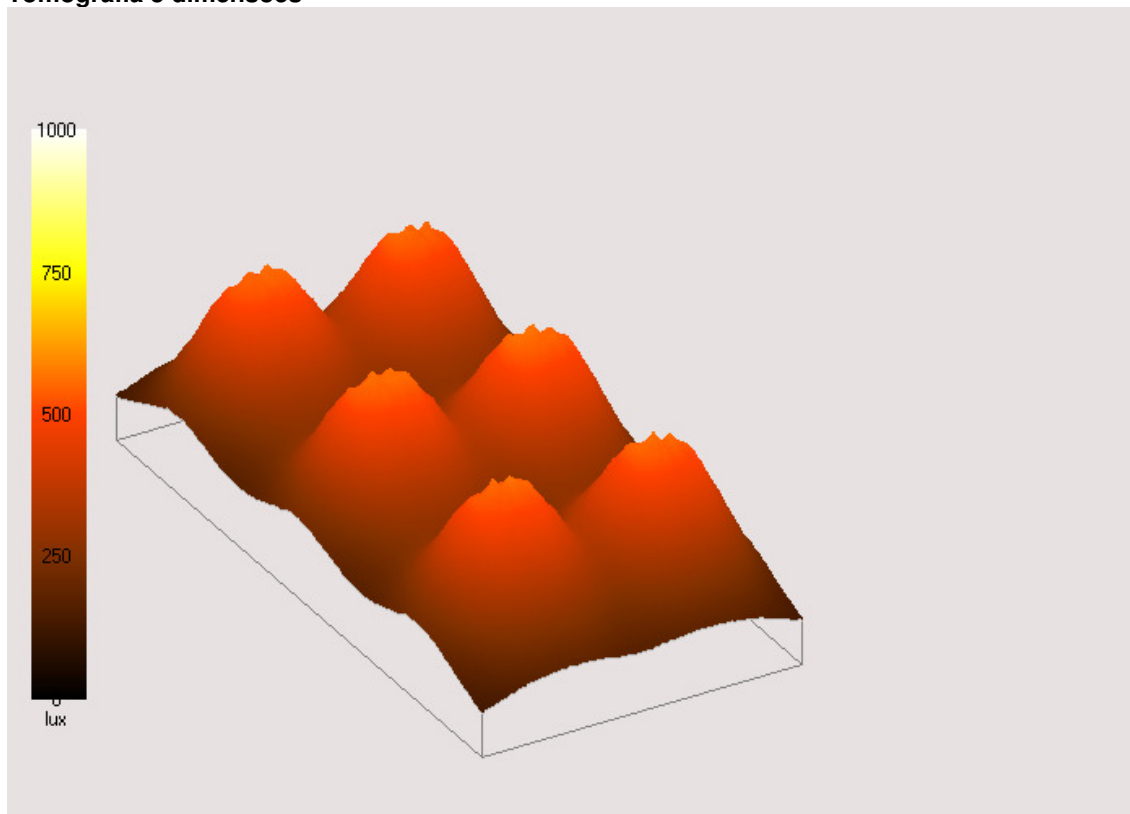
**Iluminância média calculada: 339,56 lux.**

### Tomografia simples

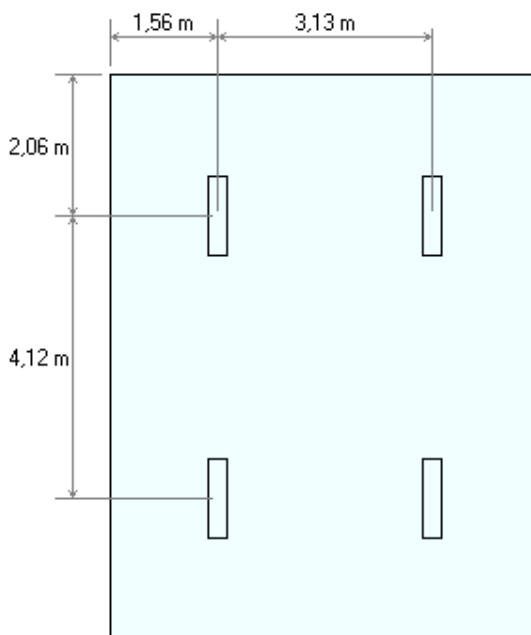


### Grid de iluminância

	0,0m	0,6m	1,3m	1,9m	2,5m	3,1m	3,8m	4,4m	5,0m	5,6m	6,3m
0,0m	131	162	180	187	181	169	182	186	181	162	129
1,2m	195	317	407	414	366	295	362	421	402	321	192
2,5m	223	383	505	515	439	355	437	520	499	386	226
3,7m	179	250	299	309	291	264	292	311	297	249	178
4,9m	191	289	352	360	333	292	334	366	347	287	193
6,2m	234	411	552	550	475	374	471	568	535	415	234
7,4m	193	287	350	364	332	290	331	362	350	287	190
8,6m	177	251	295	310	293	263	292	307	298	250	179
9,9m	227	387	507	524	432	357	441	522	509	379	223
11,1m	194	319	408	423	364	298	363	419	410	318	196
12,4m	129	161	181	187	182	171	180	186	182	162	132

**Tomografia 3 níveis****Tomografia 3 dimensões**

### Esquema de montagem



### CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

#### Ambiente: sala E301

Largura do ambiente: ..... 6,25 m

Comprimento do ambiente: ..... 12,35 m

Altura do ambiente: ..... 2,95 m

Altura de instalação das luminárias: ..... 2,95 m

Plano de trabalho considerado: ..... 0,75 m

Índice de reflexão: Teto: ..... 70,0%

Parede: ..... 70,0%

Chão: ..... 30,0%

Fator de perda: ..... 0,85

Fluxo utilizado no cálculo: ..... 5.800 lúmens/luminária.

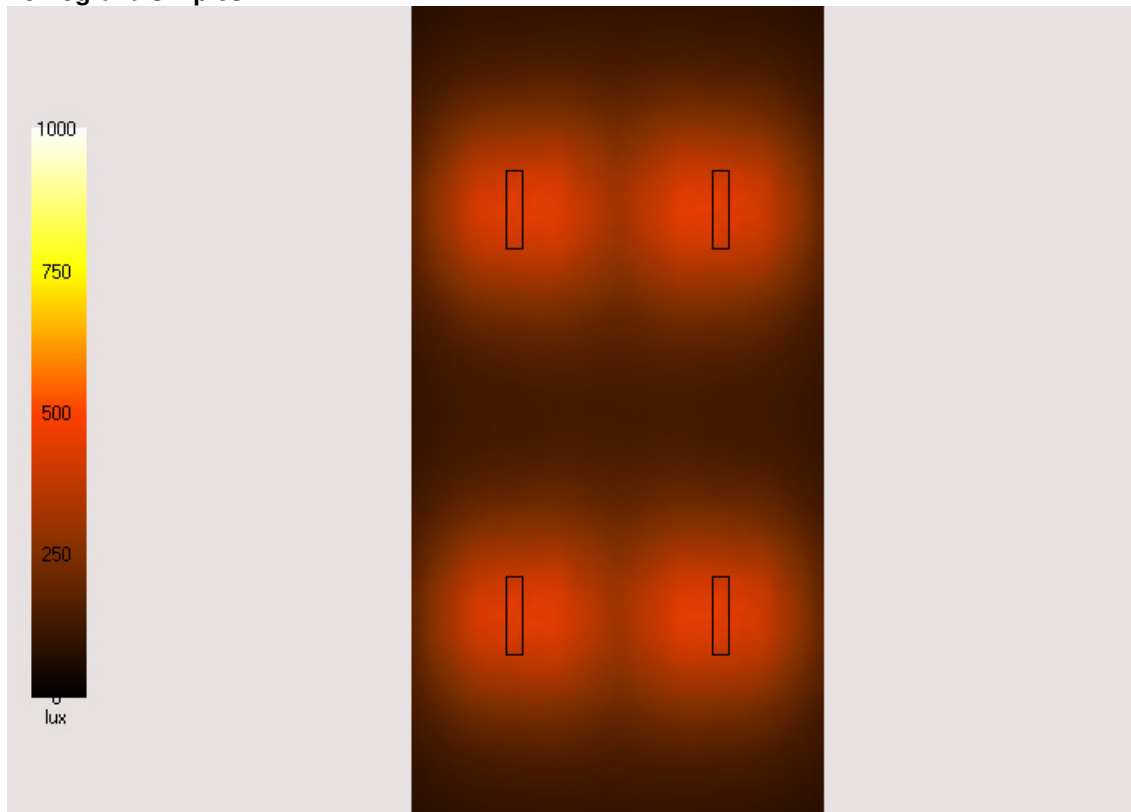
---

**Modelo da luminária: .... FAA02-S228**

**Quantidade: 4 luminárias.**

**Iluminância média calculada: 226,25 lux.**

### Tomografia simples

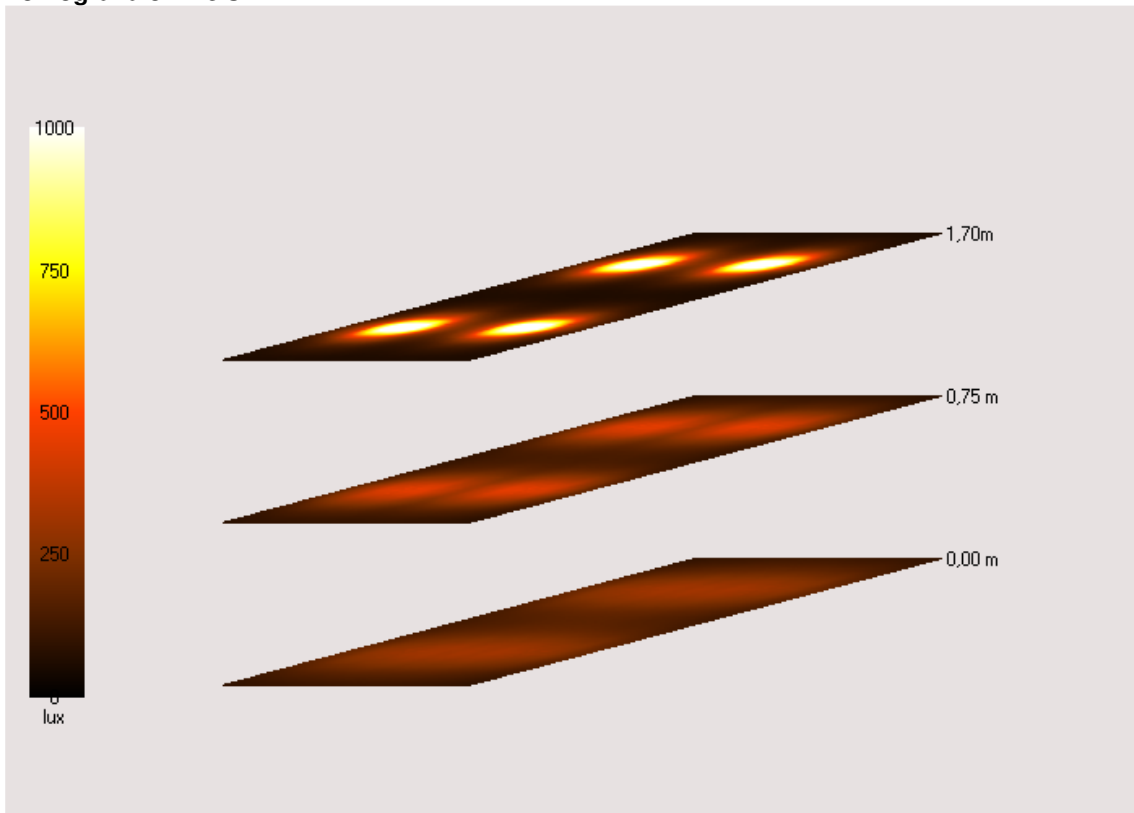


### Grid de iluminância

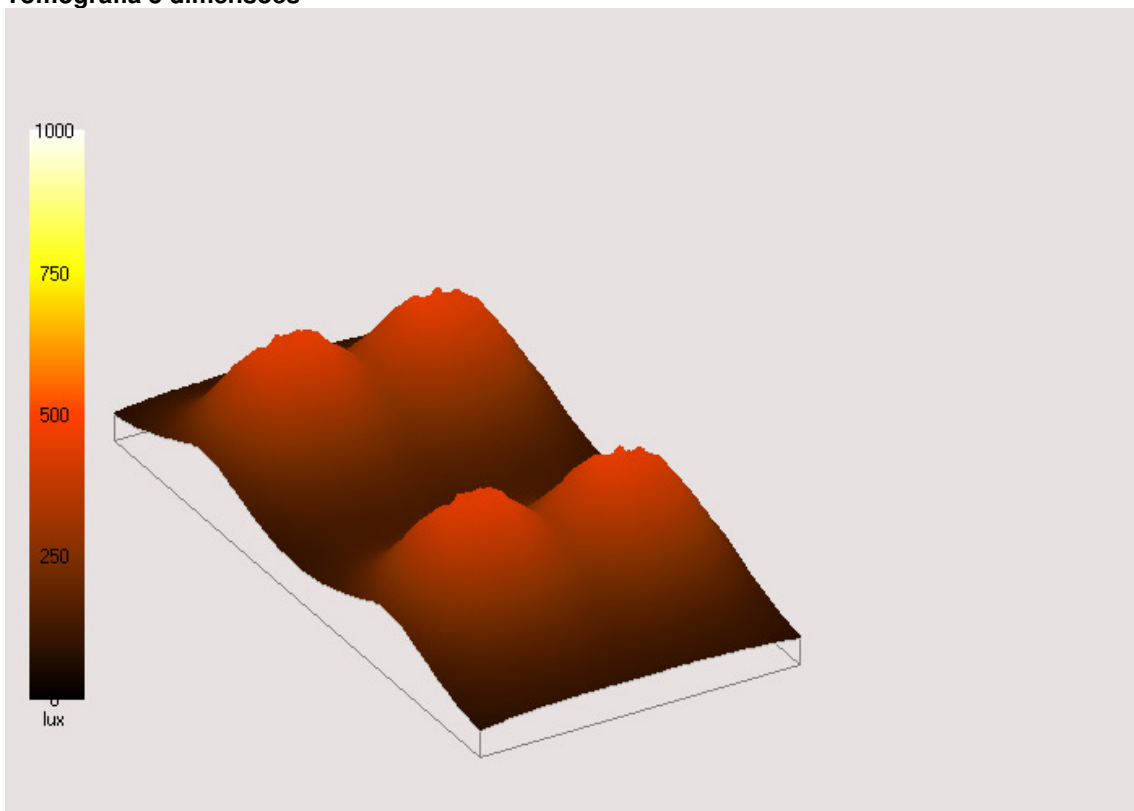
	0,0m	0,6m	1,3m	1,9m	2,5m	3,1m	3,8m	4,4m	5,0m	5,6m	6,3m
0,0m	80	90	95	98	101	98	99	97	95	91	80
1,2m	117	156	177	188	184	169	183	186	180	158	116
2,5m	179	297	376	392	345	291	350	392	378	292	177
3,7m	176	294	377	386	351	291	348	391	371	298	180
4,9m	122	165	191	200	193	181	195	200	190	163	124
6,2m	100	121	131	136	140	137	141	137	130	120	101
7,4m	123	164	186	199	196	181	194	197	190	167	122
8,6m	179	298	377	394	346	292	351	393	380	293	178
9,9m	176	293	376	386	349	290	347	389	370	297	179
11,1m	116	156	181	190	182	170	183	189	181	154	117
12,4m	80	91	96	97	99	98	101	99	95	89	80



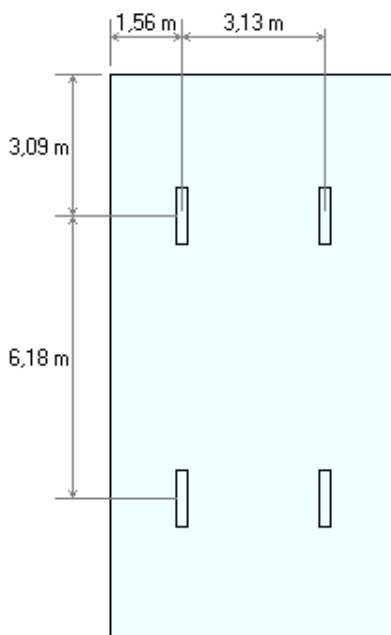
### Tomografia 3 níveis



### Tomografia 3 dimensões



### Esquema de montagem



### CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

#### Ambientes: salas E104 / E304

Largura do ambiente: ..... 6,25 m

Comprimento do ambiente: ..... 9,75 m

Altura do ambiente: ..... 2,95 m

Altura de instalação das luminárias: ..... 2,95 m

Plano de trabalho considerado: ..... 0,75 m

Índice de reflexão: Teto: ..... 70,0%

Parede: ..... 70,0%

Chão: ..... 30,0%

Fator de perda: ..... 0,85

Fluxo utilizado no cálculo: ..... 5.800 lúmens/luminária.

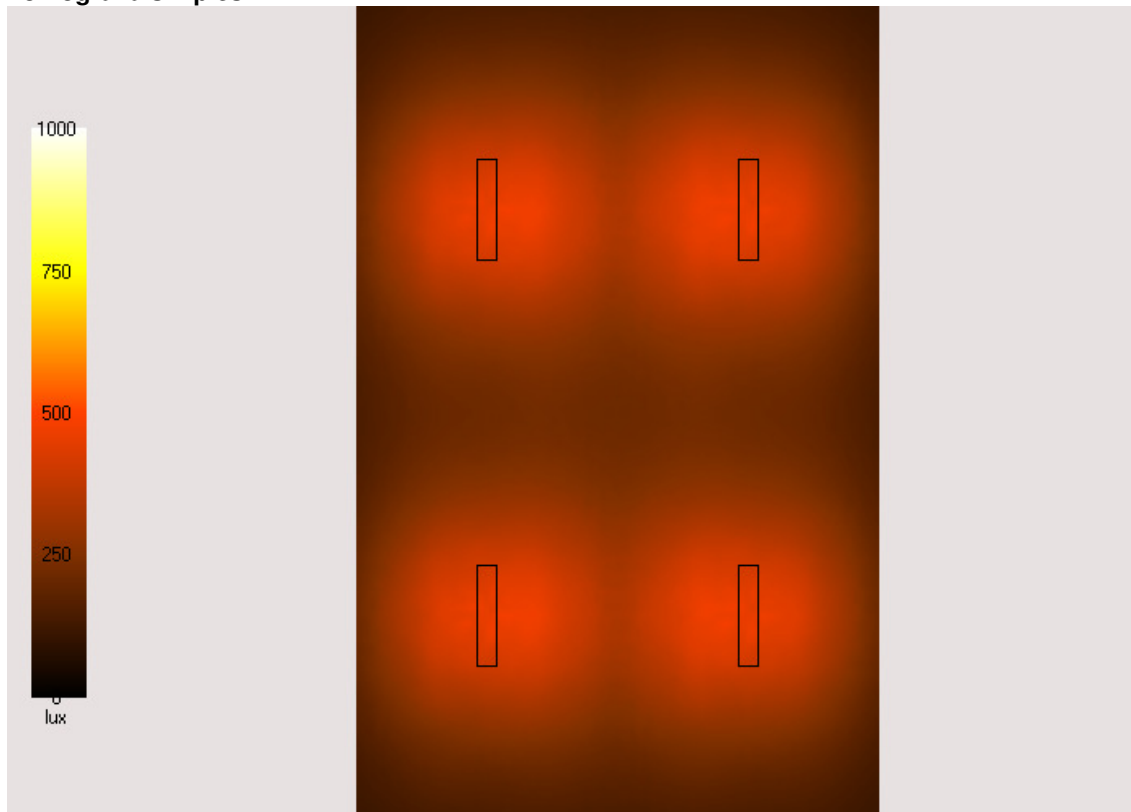
---

**Modelo da luminária: .... FAA02-S228**

**Quantidade: 4 luminárias.**

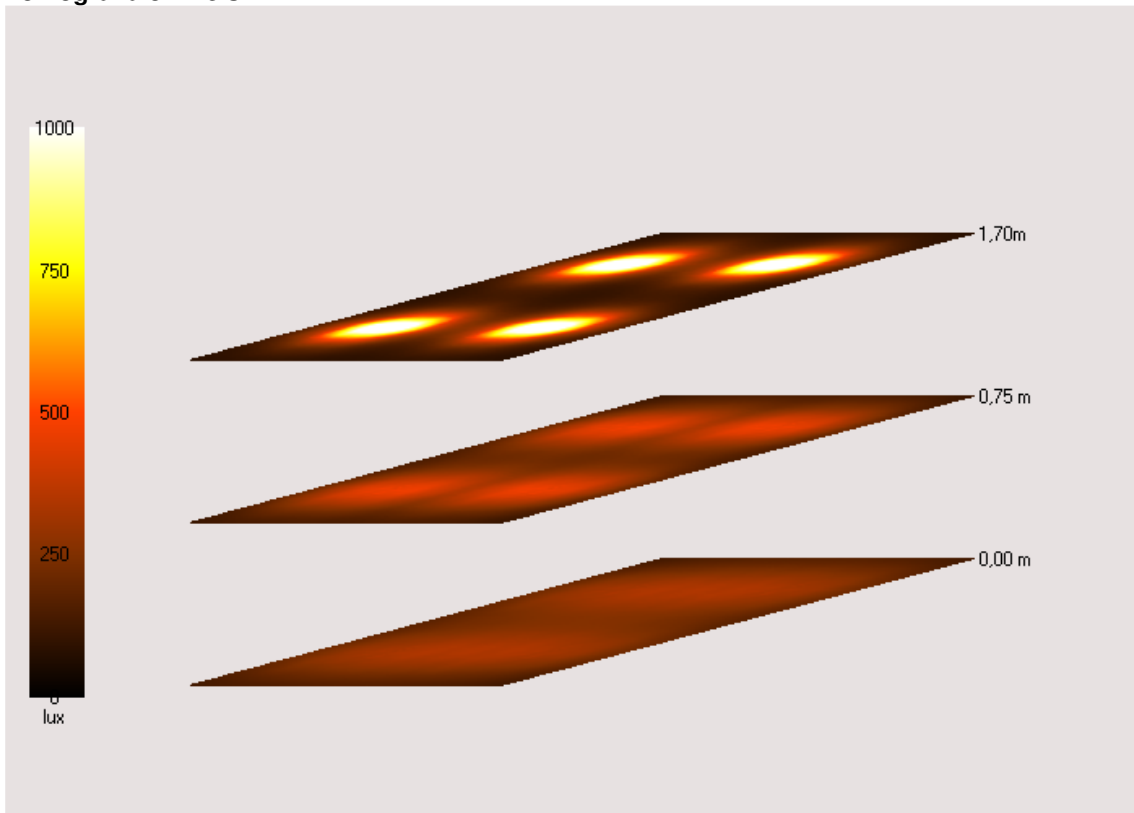
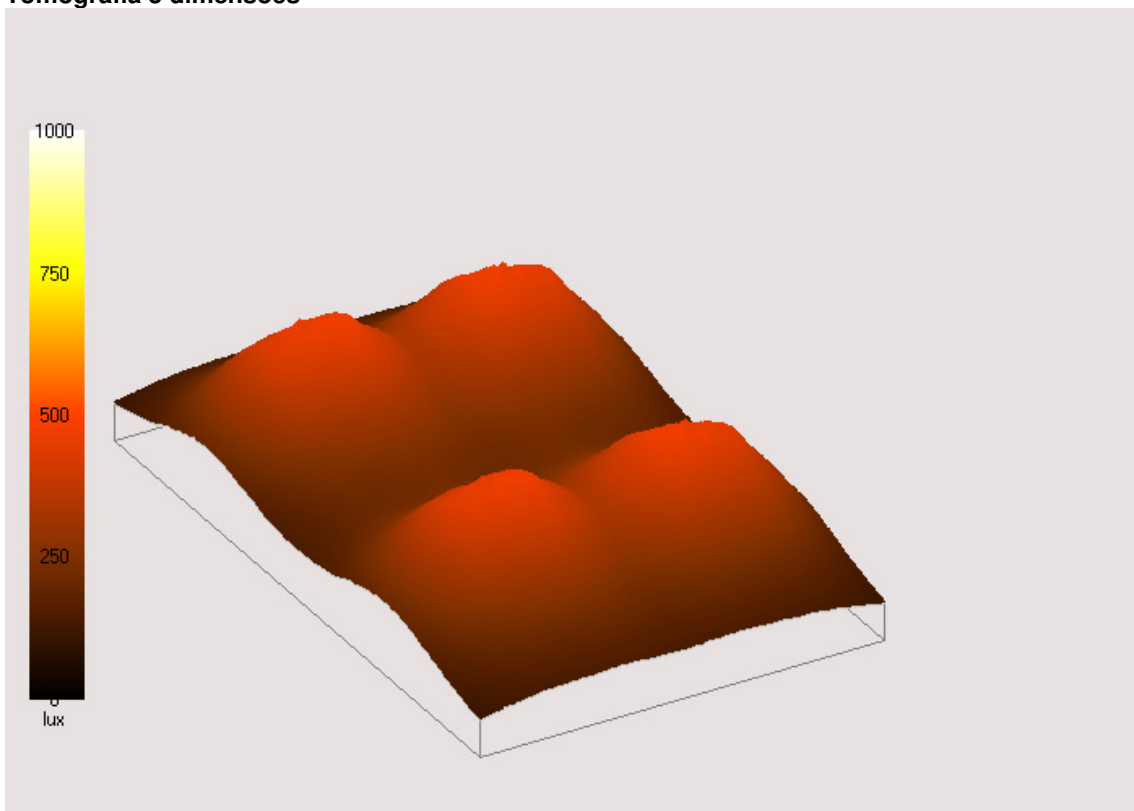
**Iluminância média calculada: 280,82 lux.**

### Tomografia simples

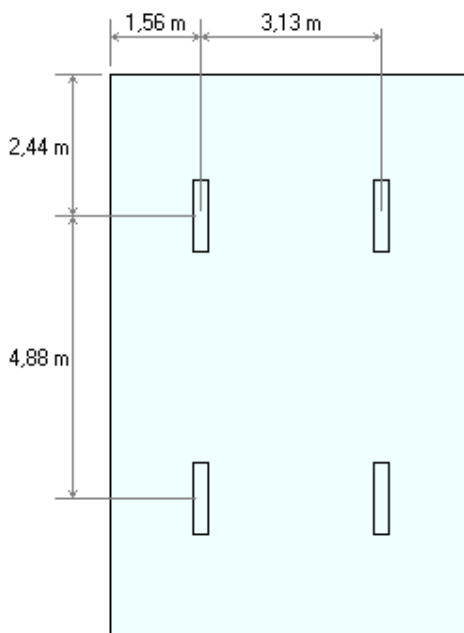


### Grid de iluminância

	0,0m	0,6m	1,3m	1,9m	2,5m	3,1m	3,8m	4,4m	5,0m	5,6m	6,3m
0,0m	112	132	143	148	147	145	149	148	142	130	111
1,0m	148	209	247	256	244	218	242	258	247	210	151
2,0m	203	331	405	425	381	321	384	420	411	326	200
2,9m	207	331	426	436	394	332	387	441	420	338	208
3,9m	167	233	272	287	273	249	275	284	274	232	164
4,9m	148	188	209	219	221	214	221	219	209	188	147
5,9m	163	231	273	284	274	248	271	286	273	232	166
6,8m	208	337	411	434	390	331	393	427	419	333	205
7,8m	202	324	418	429	385	323	378	432	413	331	203
8,8m	151	211	246	259	244	219	246	255	248	210	149
9,8m	112	131	142	147	149	144	147	147	142	133	111

**Tomografia 3 níveis****Tomografia 3 dimensões**

### Esquema de montagem



### CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

#### Ambiente: sala E107

Largura do ambiente: ..... 9,60 m

Comprimento do ambiente: ..... 9,20 m

Altura do ambiente: ..... 2,95 m

Altura de instalação das luminárias: ..... 2,95 m

Plano de trabalho considerado: ..... 0,75 m

Índice de reflexão: Teto: ..... 70,0%

Parede: ..... 70,0%

Chão: ..... 55,0%

Fator de perda: ..... 0,85

Fluxo utilizado no cálculo: ..... 5.800 lúmens/luminária.

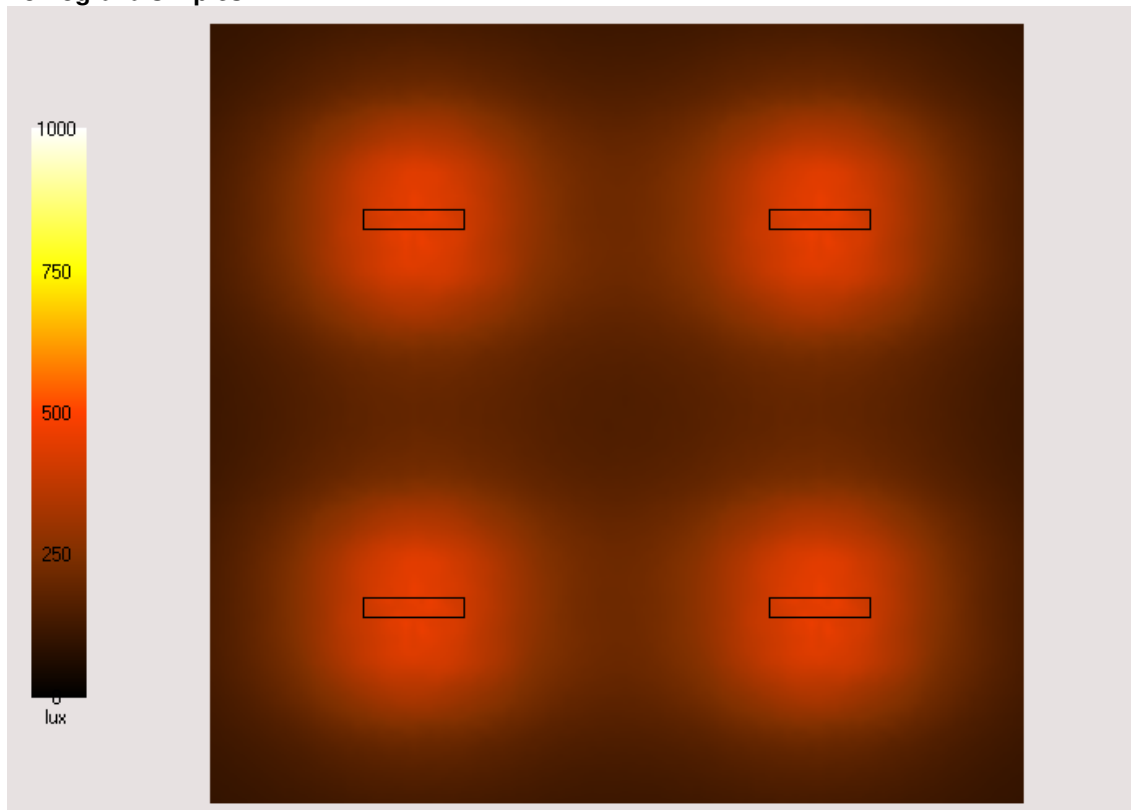
---

**Modelo da luminária: .... FAA02-S228**

**Quantidade: 4 luminárias.**

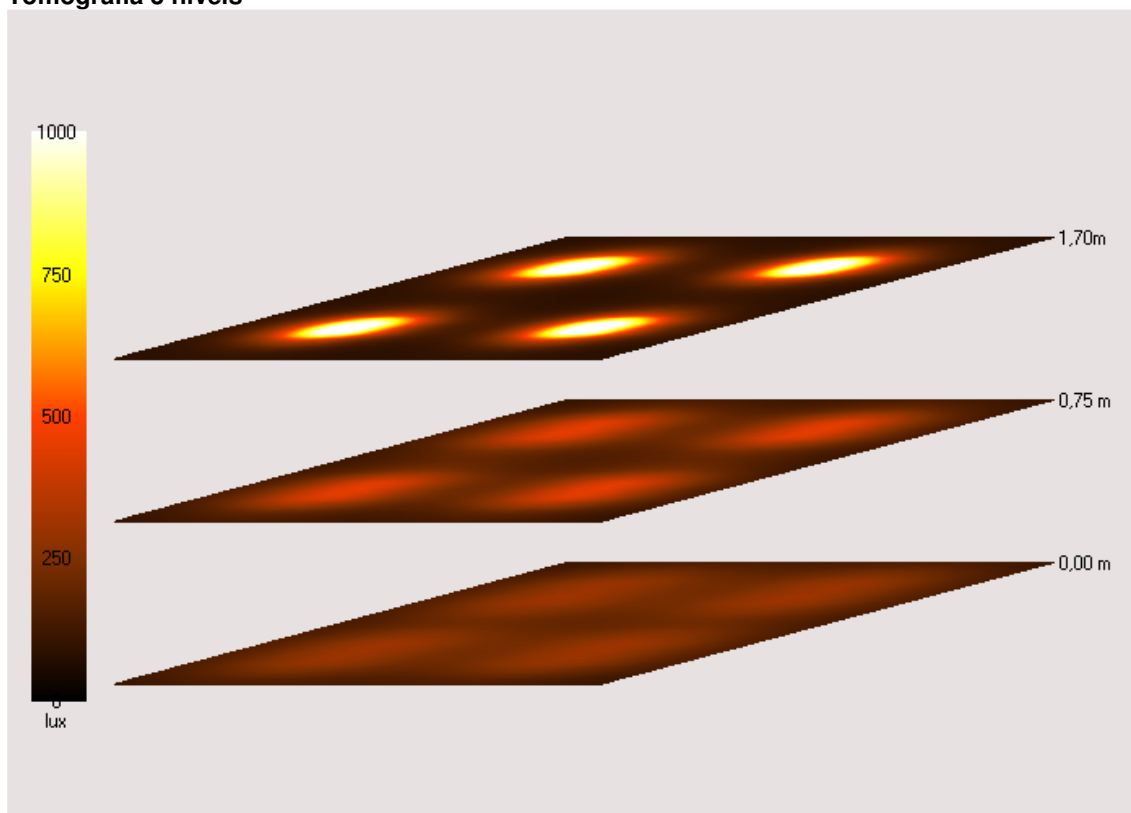
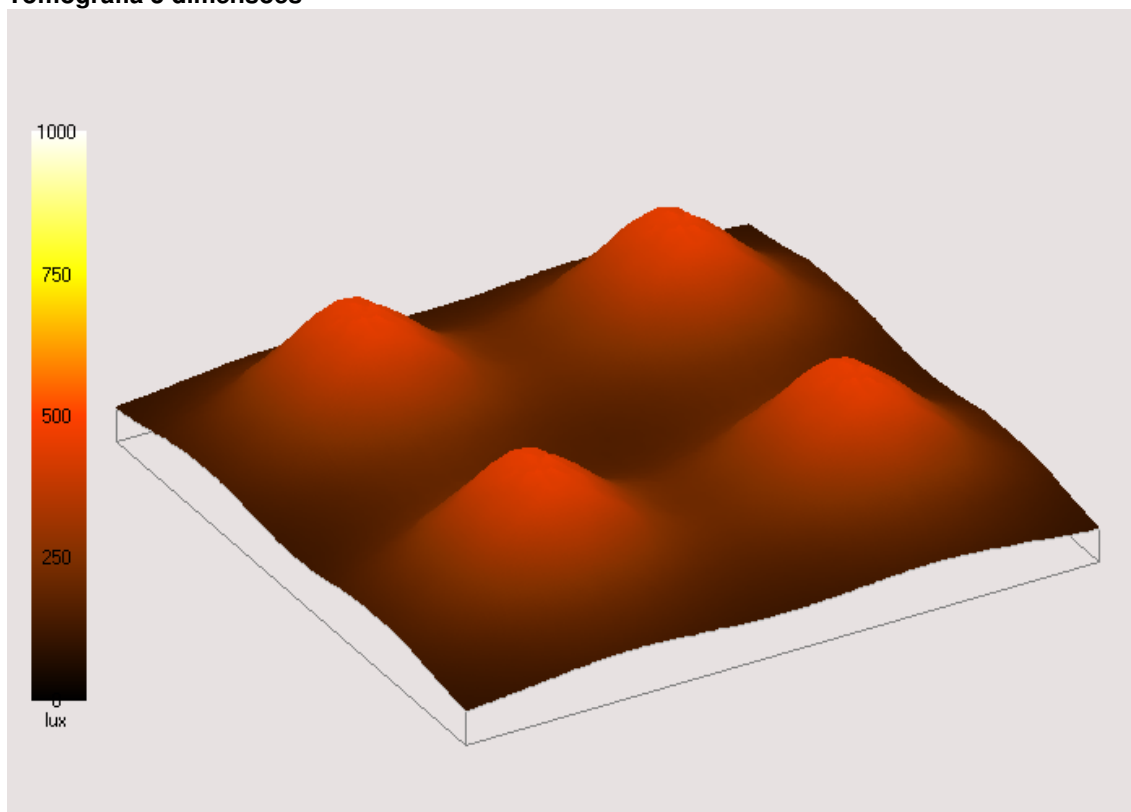
**Iluminância média calculada: 233,23 lux.**

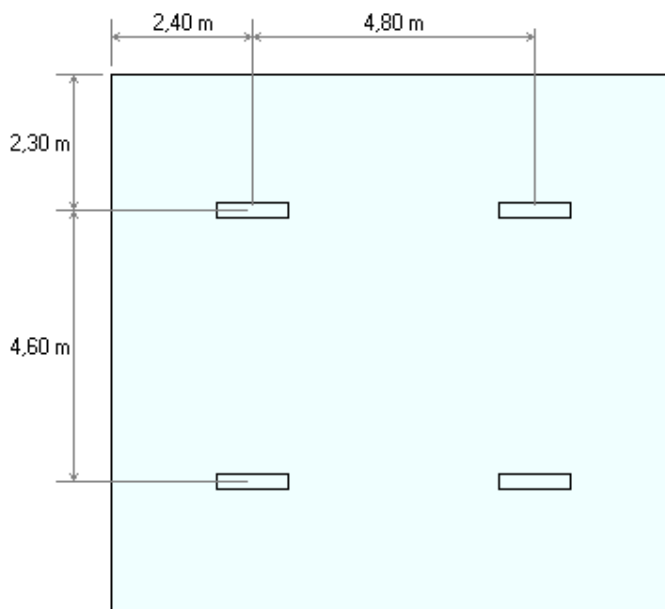
### Tomografia simples



### Grid de iluminância

	0,0m	1,0m	1,9m	2,9m	3,8m	4,8m	5,8m	6,7m	7,7m	8,6m	9,6m
0,0m	100	118	134	138	125	118	127	138	135	117	99
0,9m	122	170	241	245	187	162	188	246	239	170	121
1,8m	145	245	401	406	271	208	269	408	400	246	144
2,8m	146	246	399	412	271	212	272	406	404	246	147
3,7m	128	180	256	264	204	177	201	262	258	183	130
4,6m	118	154	189	194	171	154	171	195	188	154	117
5,5m	129	180	256	262	202	176	202	263	255	181	127
6,4m	147	248	404	410	274	211	273	411	403	248	146
7,4m	144	244	396	408	267	209	268	402	401	244	145
8,3m	122	169	239	247	190	164	187	245	242	172	123
9,2m	99	117	136	137	127	118	125	139	134	119	99

**Tomografia 3 níveis****Tomografia 3 dimensões**

**Esquema de montagem****CÁLCULO LUMINOTÉCNICO****Ambiente: sala E307**

Largura do ambiente: ..... 9,60 m

Comprimento do ambiente: ..... 9,20 m

Altura do ambiente: ..... 2,95 m

Altura de instalação das luminárias: ..... 2,95 m

Plano de trabalho considerado: ..... 0,75 m

Índice de reflexão: Teto: ..... 70,0%

Parede: ..... 70,0%

Chão: ..... 30,0%

Fator de perda: ..... 0,85

Fluxo utilizado no cálculo: ..... 5.800 lúmens/luminária.

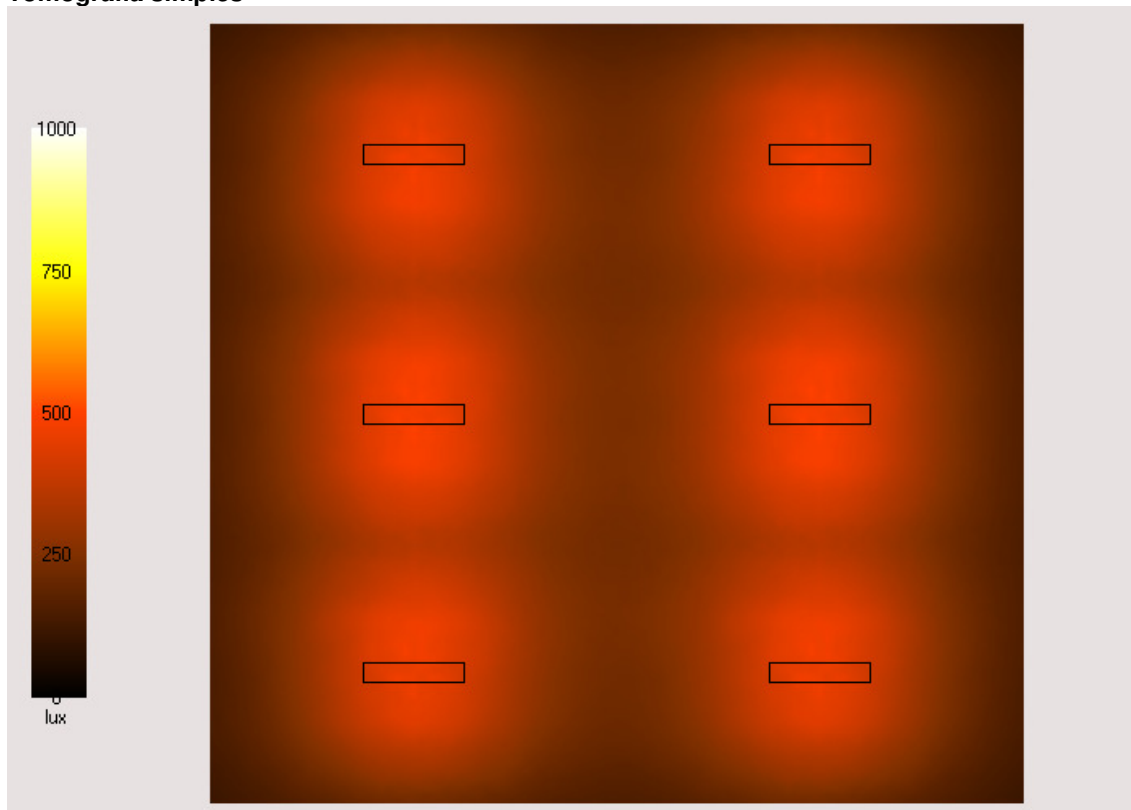
**Modelo da luminária: .... FAA02-S228**



**Quantidade: 6 luminárias.**

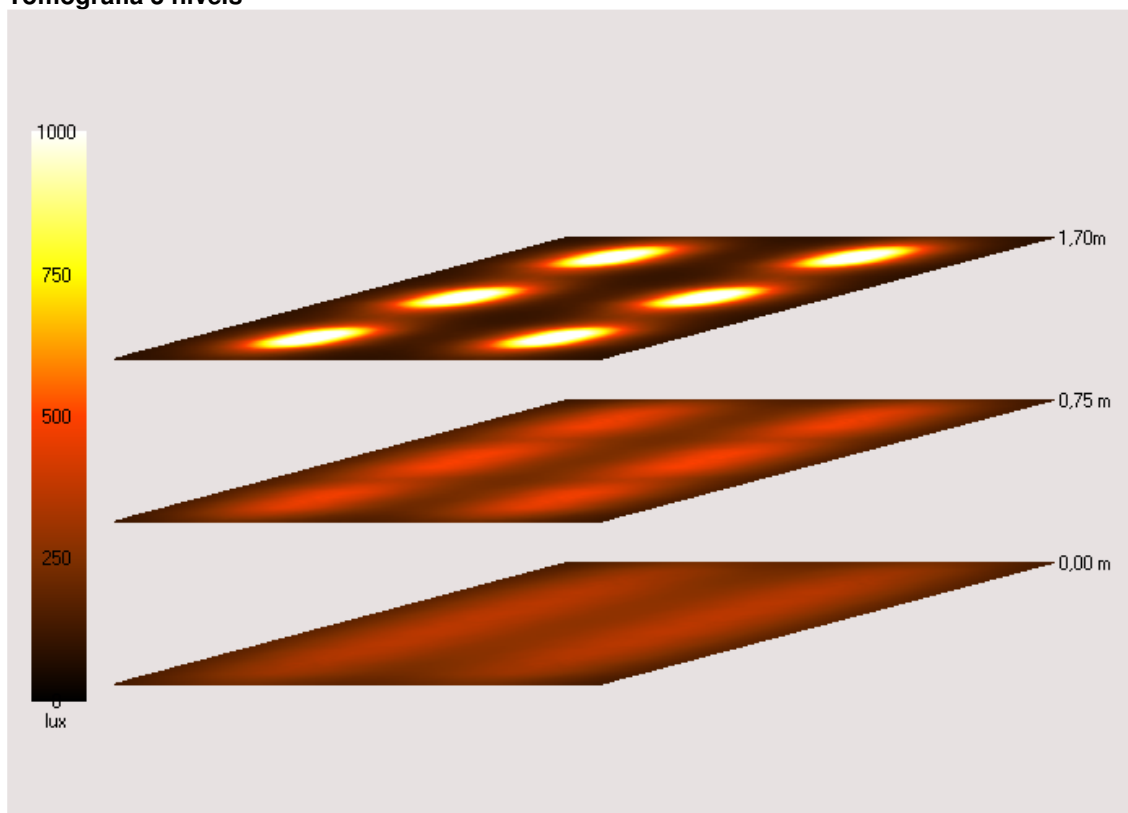
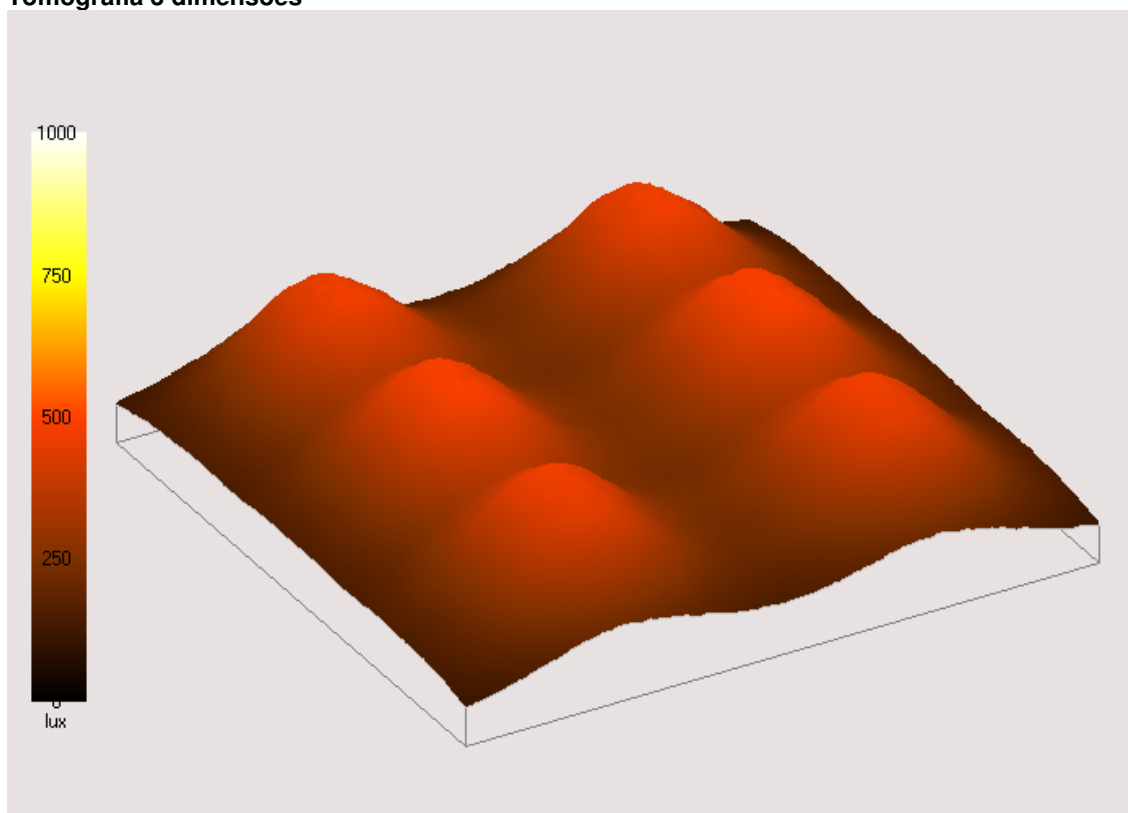
**Iluminância média calculada: 297,65 lux.**

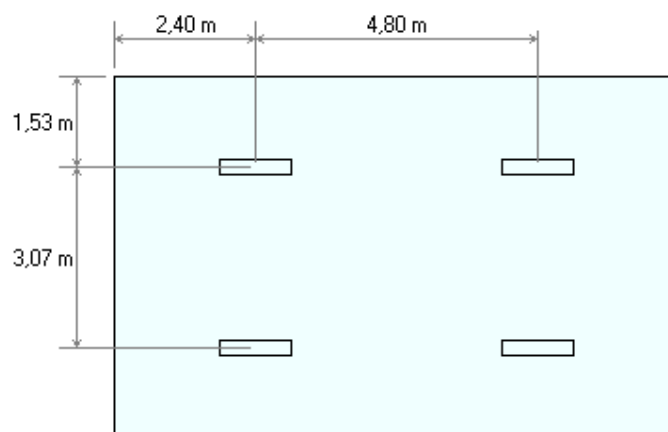
### Tomografia simples



### Grid de iluminância

	0,0m	1,0m	1,9m	2,9m	3,8m	4,8m	5,8m	6,7m	7,7m	8,6m	9,6m
0,0m	114	158	205	213	171	152	175	211	208	154	115
0,9m	143	236	399	400	265	210	262	407	393	239	143
1,8m	155	269	435	441	295	231	299	443	432	264	153
2,8m	153	244	367	376	271	228	275	378	366	238	152
3,7m	158	260	392	409	290	237	293	402	400	257	156
4,6m	158	274	444	448	305	240	307	453	438	272	159
5,5m	156	260	400	405	293	236	293	410	396	259	157
6,4m	151	243	366	376	275	228	275	376	365	244	153
7,4m	153	264	439	434	298	232	295	448	426	267	156
8,3m	144	242	391	402	265	209	268	398	394	238	142
9,2m	114	155	207	209	174	150	172	213	204	157	113

**Tomografia 3 níveis****Tomografia 3 dimensões**

**Esquema de montagem**

## Apêndice 6

### VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E CIRCUITOS ELÉTRICOS DAS SALAS DE AULA DA UTFPR

<b>SALA E101</b>	
<b>ITEM</b>	<b>ATIVIDADE</b>
<b>1</b>	<b>Investimentos</b>
1.1.	Substituição luminárias R\$ 217,52 Total para 6 luminárias R\$ 1.305,12
1.2.	Substituição de lâmpadas R\$ 18,89 Total para 12 lâmpadas R\$ 226,68
1.3.	Mão de obra troca de luminária R\$ 75,00 <b>R\$ 1.606,80</b>
1.4.	Fim vida útil das lâmpadas (CATÁLOGO FABRICANTE) 12 R\$ 18,89 Total da troca lâmpadas (4o ano) R\$ 226,68
1.5.	Mudança de Circuito <b>R\$ 180</b> Material R\$ 30 Mão de obra R\$ 150
<b>2</b>	<b>Consumo atual</b>
2.1.	Potência instalada atual (W) 1.504
2.2.	Consumo atual/ano (kWh) 5.343
2.3.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
2.4.	Consumo Total R\$ 1.122
<b>3</b>	<b>Consumo eficiente</b>
3.1.	Potência instalada Classificação A (W) 384 Consumo eficiente (kWh) 949
3.2.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
3.2.	Consumo Total R\$ 199

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa no tempo <i>t</i>	-1.786,80	922,74	964,26	1.007,66	826,32	1.100,38
Valor presente no tempo <i>t</i>	-1.786,80	838,09	795,46	755,01	562,34	680,16
Saldo em <i>t</i>	-1.786,80	-948,71	-153,24	601,76	1.164,10	1.844,26
<i>Período de payback descontado pelo valor presente (meses)</i>		12,0	12,0	2,4		

<b>SALA E104</b>	
<b>ITEM ATIVIDADE</b>	
<b>1</b>	<b>Investimentos</b>
1.1.	Substituição luminárias R\$ 217,52 Total para 4 luminárias R\$ 870,08
1.2.	Substituição de lâmpadas R\$ 18,89 Total para 8 lâmpadas R\$ 151,12
1.3.	Mão de obra troca de luminária R\$ 50,00 <b>R\$ 1.071,20</b>
1.4.	Fim vida útil das lâmpadas (CATÁLOGO FABRICANTE) 8 R\$ 18,89 Total da troca lâmpadas (4o ano) R\$ 151,12
1.5.	Mudança de Circuito <b>R\$ 130</b> Material R\$ 30 Mão de obra R\$ 100
<b>2</b>	<b>Consumo atual</b>
2.1.	Potência instalada atual (W) 752
2.2.	Consumo atual/ano (kWh) 2.667
2.3.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
2.4.	<b>Consumo Total R\$ 560</b>
<b>3</b>	<b>Consumo eficiente</b>
3.1.	Potência instalada Classificação A (W) 256 Consumo eficiente Kwh 424
3.2.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
3.2.	<b>Consumo Total R\$ 89</b>

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa no tempo <i>t</i>	-1.201,20	471,03	492,23	514,38	386,40	561,71
Valor presente no tempo <i>t</i>	-1.201,20	427,82	406,06	385,41	262,96	347,20
Saldo em <i>t</i>	-1.201,20	-773,38	-367,32	18,09	281,05	628,25
<i>Período de payback descontado pelo valor presente (meses)</i>		12,0	12,0	11,4		

<b>SALA E107</b>	
<b>ITEM ATIVIDADE</b>	
<b>1</b>	<b>Investimentos</b>
1.1.	Substituição luminárias R\$ 217,52 Total para 4 luminárias R\$ 870,08
1.2.	Substituição de lâmpadas R\$ 18,89 Total para 8 lâmpadas R\$ 151,12
1.3.	Mão de obra troca de luminária R\$ 50,00 <b>R\$ 1.071,20</b>
1.4.	Fim vida útil das lâmpadas (CATÁLOGO FABRICANTE) 8 R\$ 18,89 Total da troca lâmpadas (4o ano) R\$ 151,12
1.5.	Mudança de Circuito <b>R\$ 180,00</b> Material R\$ 30,00 Mão de obra R\$ 150,00
<b>2</b>	<b>Consumo atual</b>
2.1.	Potência instalada atual (W) 1.128
2.2.	Consumo atual/ano (kWh) 2.667
2.3.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
2.4.	Consumo Total R\$ 560
<b>3</b>	<b>Consumo eficiente</b>
3.1.	Potência instalada Classificação A (W) 256 Consumo eficiente Kwh 458
3.2.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
3.2.	Consumo Total R\$ 96

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa no tempo <i>t</i>	-1.251,20	463,89	484,77	506,58	378,26	553,20
Valor presente no tempo <i>t</i>	-1.251,20	421,34	399,90	379,56	257,42	341,94
Saldo em <i>t</i>	-1.251,20	-829,86	-429,96	-50,40	207,02	548,96
<i>Período de payback descontado pelo valor presente (meses)</i>		12,0	12,0	12,0	2,3	

<b>SALA E301</b>		
<b>ITEM ATIVIDADE</b>		
<b>1</b>	<b>Investimentos</b>	
1.1.	Substituição luminárias	R\$ 217,52
	Total para 4 luminárias	R\$ 870,08
1.2.	Substituição de lâmpadas	R\$ 18,89
	Total para 8 lâmpadas	R\$ 151,12
1.3.	Mão de obra troca de luminária	R\$ 50,00
		<b>R\$ 1.071,20</b>
1.4.	Fim vida útil das lâmpadas (CATÁLOGO FABRICANTE)	8
		R\$ 18,89
	Total da troca lâmpadas (4o ano)	R\$ 151,12
1.5.	Mudança de Circuito	<b>R\$ 180,00</b>
	Material	R\$ 30,00
	Mão de obra	R\$ 150,00
<b>2</b>	<b>Consumo atual</b>	
2.1.	Potência instalada atual (W)	1.504
2.2.	Consumo atual/ano (kWh)	5.343
2.3.	<b>Tarifa média COPEL</b>	<b>R\$ 0,21000</b>
2.4.	Consumo Total	R\$ 1.122
<b>3</b>	<b>Consumo eficiente</b>	
3.1.	Potência instalada Classificação A (W)	256
	Consumo eficiente Kwh	537
3.2.	<b>Tarifa média COPEL</b>	<b>R\$ 0,21000</b>
3.2.	Consumo Total	R\$ 113

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa no tempo <i>t</i>	-1.251,20	1.009,26	1.054,68	1.102,14	1.000,61	1.203,56
Valor presente no tempo <i>t</i>	-1.251,20	916,68	870,05	825,80	680,95	743,93
Saldo em <i>t</i>	-1.251,20	-334,52	535,53	1.361,32	2.042,28	2.786,21
<i>Período de payback descontado pelo valor presente (meses)</i>		12,0	4,6			

**SALA E304****ITEM ATIVIDADE**

<b>1</b>	<b>Investimentos</b>	
1.1.	Substituição luminárias	R\$ 217,52
	Total para 4 luminárias	R\$ 870,08
1.2.	Substituição de lâmpadas	R\$ 18,89
	Total para 8 lâmpadas	R\$ 151,12
1.3.	Mão de obra troca de luminária	R\$ 50,00
		<b>R\$ 1.071,20</b>
1.4.	Fim vida útil das lâmpadas (CATÁLOGO FABRICANTE)	8
		R\$ 18,89
	Total da troca lâmpadas (4o ano)	R\$ 151,12
1.5.	Mudança de Circuito	<b>R\$ 130,00</b>
	Material	R\$ 30,00
	Mão de obra	R\$ 100,00
<b>2</b>	<b>Consumo atual</b>	
2.1.	Potência instalada atual (W)	752
2.2.	Consumo atual/ano (kWh)	2.667
2.3.	<b>Tarifa média COPEL</b>	<b>R\$ 0,21000</b>
2.4.	Consumo Total	R\$ 560
<b>3</b>	<b>Consumo eficiente</b>	
3.1.	Potência instalada Classificação A (W)	256
	Consumo eficiente Kwh	424
3.2.	<b>Tarifa média COPEL</b>	<b>R\$ 0,21000</b>
3.2.	Consumo Total	R\$ 89

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa no tempo <i>t</i>	-1.201,20	471,03	492,23	514,38	386,40	561,71
Valor presente no tempo <i>t</i>	-1.201,20	427,82	406,06	385,41	262,96	347,20
Saldo em <i>t</i>	-1.201,20	-773,38	-367,32	18,09	281,05	628,25
<i>Período de payback descontado pelo valor presente (meses)</i>		12,0	12,0	11,4		



<b>SALA E307</b>	
<b>ITEM ATIVIDADE</b>	
<b>1</b>	<b>Investimentos</b>
1.1.	Substituição luminárias R\$ 217,52 Total para 6 luminárias R\$ 1.305,12
1.2.	Substituição de lâmpadas R\$ 18,89 Total para 8 lâmpadas R\$ 226,68
1.3.	Mão de obra troca de luminária R\$ 75,00 <b>R\$ 1.606,80</b>
1.4.	Fim vida útil das lâmpadas (CATÁLOGO FABRICANTE) 12 R\$ 18,89 Total da troca lâmpadas (4o ano) R\$ 226,68
1.5.	Mudança de Circuito <b>R\$ 180,00</b> Material R\$ 30,00 Mão de obra R\$ 150,00
<b>2</b>	<b>Consumo atual</b>
2.1.	Potência instalada atual (W) 1.128
2.2.	Consumo atual/ano (kWh) 4.133
2.3.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
2.4.	<b>Consumo Total R\$ 868</b>
<b>3</b>	<b>Consumo eficiente</b>
3.1.	Potência instalada Classificação A (W) 384 Consumo eficiente Kwh 458
3.2.	<b>Tarifa média COPEL R\$ 0,21000</b>
3.2.	<b>Consumo Total R\$ 96</b>

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5
Fluxo de caixa no tempo <i>t</i>	-1.786,80	771,75	806,48	842,77	654,01	920,33
Valor presente no tempo <i>t</i>	-1.786,80	700,95	665,30	631,46	445,08	568,86
Saldo em <i>t</i>	-1.786,80	-1.085,85	-420,55	210,92	656,00	1.224,86
<i>Período de payback descontado pelo valor presente (meses)</i>		12,0	12,0	8,0		